

Роль пустот в образовании кристаллов на месторождении благородной шпинели Кухи-Лал, Юго-Западный Памир

А.К.ЛИТВИНЕНКО, Е.И.РОМАНОВА (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ–РГГРУ); 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23)

Месторождение благородной шпинели Кухи-Лал образовалось в процессе регионального метаморфизма гранулитовой и амфиболитовой фаций в докембрии и эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой в кайнозойе. Во всех составляющих его минеральных ассоциациях установлено развитие пустот, которые по форме подразделяются на две группы: 1) щелевидной формы, длиной до десятков сантиметров и степенью раскрытия до 10 см; 2) изометричной формы, с выполнением, объёмом до 8 см³, с новообразованными минералами (хлоритом, доломитом, арагонитом), растущими от стенок. Образование пустот связано с регрессивной стадией второго цикла метаморфизма (при T от 700° до 660°С и P от 800 до 350 МПа). Образование пустот рассматривается как одна из стадий развития месторождения Кухи-Лал.

Ключевые слова: Кухи-Лал, Нуристан-Памирский срединный массив, пустоты, магнезиально-скарновая формация, благородная шпинель, форстерит, клиногумит, флогопит, тальк, магнезит, доломит, арагонит, брусит, хлорит, термодинамические условия.

Литвиненко Андрей Кимович
доктор геолого-минералогических наук



akl1954@yandex.ru

Романова Екатерина Ивановна

romanovaei@mgri.ru

The role of cavities in crystal formation at Kukhi-Lal noble spinel deposit, southwestern Pamir

A.K.LITVINENKO, E.I.ROMANOVA (Federal State Budgetary Higher Education Institution S.Ordzhonikidze Russian State Geological Prospecting University (MGRI–RGGRU))

Kukhi-Lal noble spinel deposit formed during regional metamorphism of granulite and amphibolite facies in the Precambrian and epidote-amphibolite in the Cenozoic. In all of its constituent mineral associations, cavities are developed, which are divided into two groups: the 1st group has slit-like shape, its length is tens cm and the degree of disclosure is up to 10 cm; 2nd group has isometric shapes, its performance is up to 8 cm³, and newly formed minerals (chlorite, dolomite, aragonite), growing from the walls. The cavities formation is related to the regressive stage of the 2nd metamorphism cycle (temperature ranges are 700° to 660°C, and pressure ranges are 800 to 350 MPa). The cavities formation is regarded as the Kukhi-Lal deposit development stage.

Key words: Kukhi-Lal, Nuristan-Pamir median massif, the cavities, magnesian-skarn formation, noble spinel, forsterite, clinohumite, phlogopite, talc, magnesite, dolomite, aragonite, brucite, chlorite, thermodynamic conditions.

Общие сведения о месторождении и постановка исследовательской задачи. Месторождение Кухи-Лал локализовано в верхней части разреза горанской метаморфической серии (AR₂), расположенной в юго-западной части Юго-Западного Памира – фрагменте Нуристан-Памирского срединного массива (AR₂–PR₁)

в составе Афгано-Южнопамирской киммерийской горно-складчатой области [8].

Месторождение Кухи-Лал специализировано на драгоценные камни: благородную шпинель, клиногумит, форстерит и высокомагнезиальное нерудное сырьё. Оно сформировалось в течение трёх метаморфических

циклов: двух – в условиях гранулитовой и амфиболитовой фаций регионального метаморфизма, состоявшихся в докембрии, и третьего – в условиях эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фации, в кайнозое [9]. В результате образовались маложелезистые минералы магнезиальных скарнов: шпинель, форстерит, энстатит, флогопит и др. [7]. Вещественную основу месторождения составляют магнезиально-скарновая формация [5], а также тальковые, гранитные и жедрит-кварц-кианит-графитовые породы с кордиеритом и сапфирином. Они расположены внутри магнезитовых мраморов мощностью 0,5 и протяжённостью 1,2 км [3, 5], контактирующих с силлиманитовыми гнейсами. Геологами экспедиции «Памир-кварц-самоцветы» околонулено тело, названное Главной зоной магнезиальных скарнов, длиной около одного километра и мощностью до 85 м [3] и разделённое на три участка (№ 2, 3, 5, рис. 1). Небольшие залежи магнезиальных скарнов с ювелирной шпинелью сконцентрированы вблизи северо-западного контакта с гнейсами и кристаллическими сланцами (участки 1 и 7), в центральной части магнезитовых мраморов (участок 6) и на юге, в магнезитовой линзе, 280×50 м, внутри гнейсов (участок 4).

Докембрийские метаморфические процессы с термодинамическими условиями T 700°–900 °С и P 800–1100 МПа [1, 2] создали плотные горные породы без пустых пространств.

Исследованиями авторов статьи было установлено широкое развитие пустот и образование в них и по их стенкам кристаллов различных минералов. Выявление закономерностей образования кристаллов с чётко выраженными элементами (грани, рёбра, вершины, среди высокобарических минеральных ассоциаций месторождения Кухи-Лал) является главным объектом представленного исследования.

Материалы и методы исследования. Образцы для исследования были отобраны из штольни и отвалов на участке № 5 (см. рис. 1) во время полевых работ в 2012–2015 гг. Штуфы с пустотами просмотрены под биноклем, замерены размеры пустот и кристаллов. Диагностика минералов выполнена авторами с помощью петрографического микроскопа в шлифах, рентгенофазовым анализом во МГРИ-РГГРУ им.С. Орджоникидзе (аналитик А.В. Фёдоров) и на микрозонде в ГЕОХИ АН (аналитик Н.Н. Кононкова).

Характеристика пустот и их расположение. Пустоты наблюдались во всех минеральных ассоциациях магнезиальных скарнов: в шпинелевых, форстеритовых, клиногумитовых, флогопитовых, пиритовых и тальковых агрегатах. Пустоты представлены двумя группами.

Пустоты *первой группы* имеют щелевидную форму со степенью зияния (раскрытия) до одного сантиметра (обычно 1–2 мм), длиной до десятков сантиметров.

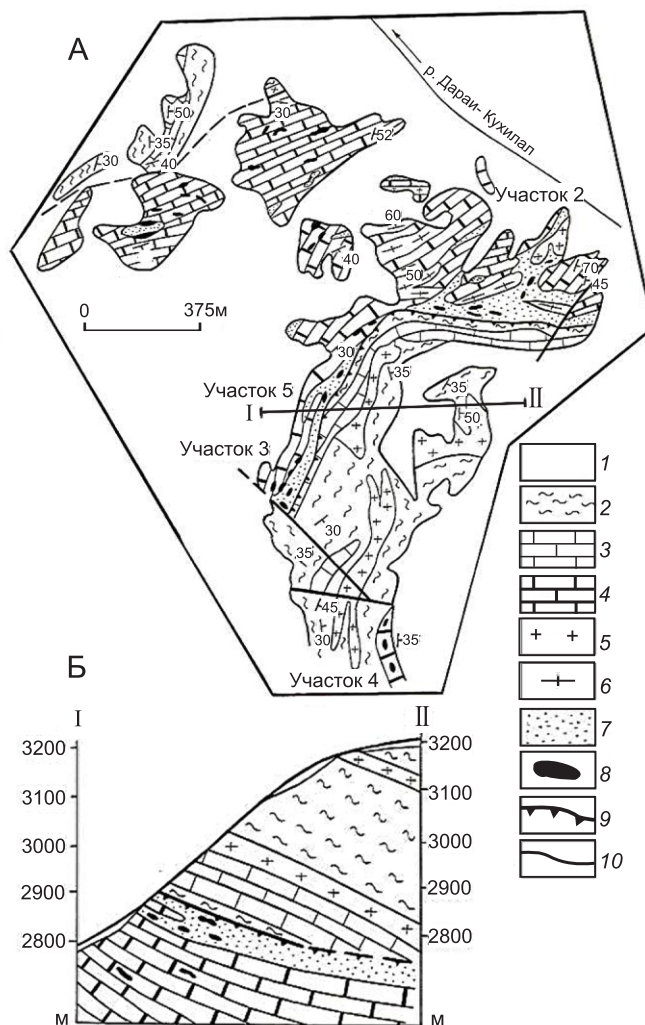


Рис. 1. Схематическая геологическая карта (А) и разрез (Б) месторождения Кухи-Лал. Составитель Я.А.Гуревич, с дополнениями и изменениями авторов:

- 1 – делювиальные отложения; 2 – гнейсы и мигматиты; 3, 4 – мраморы: 3 – кальцитовые, 4 – магнезитовые; 5 – граниты, плагиограниты, пегматиты, аплиты; 6 – изменённые гнейсы; 7, 8 – скарны: 7 – энстатитовые с залежами талька и жедрит-кианитовых пород; 8 – шпинель-форстеритовые; 9 – надвиги; 10 – разломы

Пустоты расположены в сильно трещиноватых участках. Стенки пустот сформированы нарастающими на раздробленную массу кристаллами того же минерала. Пустоты первой группы наблюдались в следующих ассоциациях магнезиальных скарнов:

1. В шпинелевых сильно трещиноватых агрегатах, с полостями, имеющими щелевидную форму. В них от стенок внутрь растут правильные кристаллы с гладкими, ровными, блестящими гранями октаэдра,

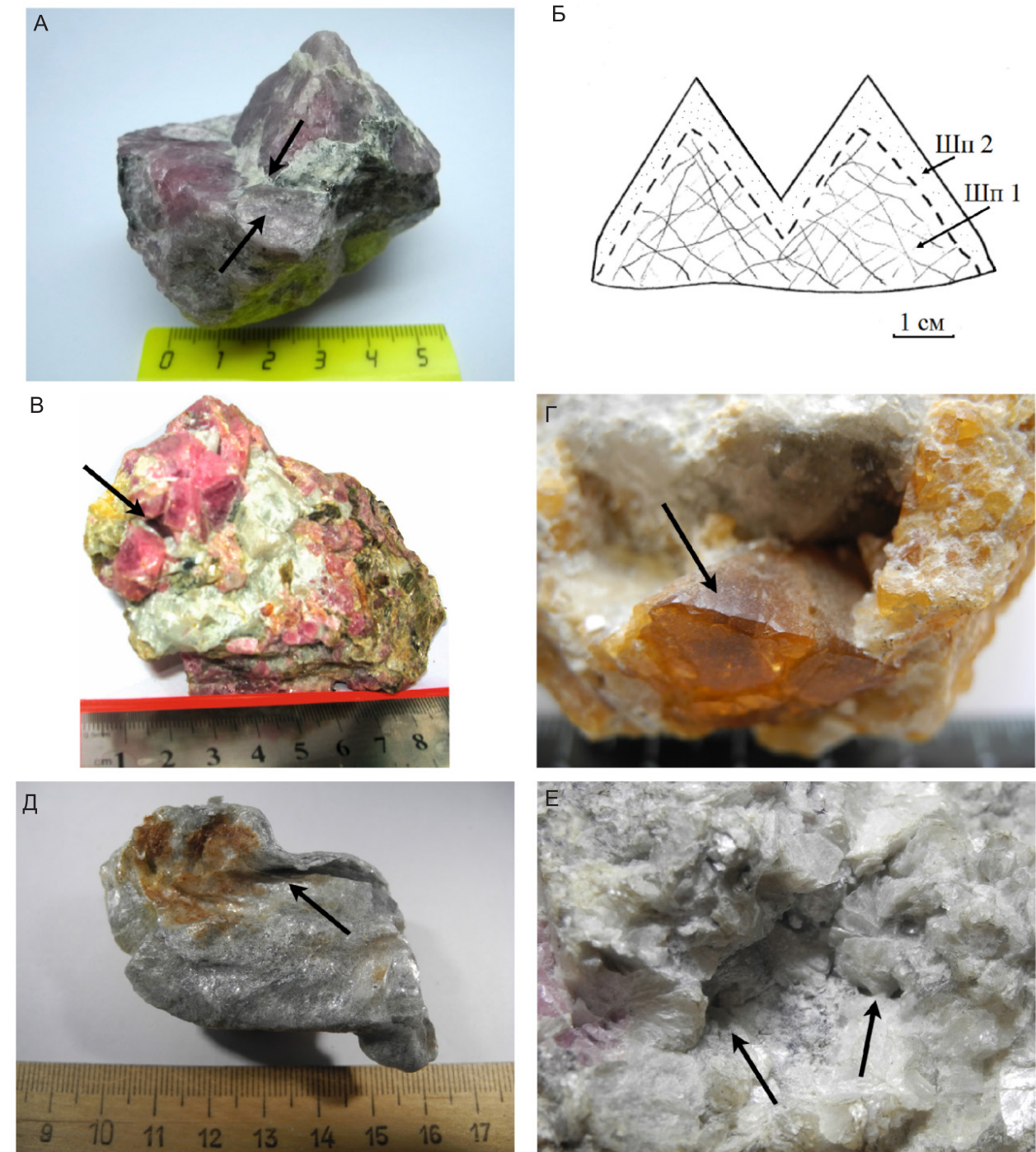


Рис. 2. Первая группа пустот:

А – кристаллы шпинели со стенки полости (стрелки на одной из регенированных граней); Б – схематическая реконструкция рис. А: Шп 1 – сильно трещиноватая шпинель (ранняя), Шп 2 – регенированные грани (поздняя шпинель); В – сросток кристаллов шпинели с пустоткой; Г – регенированный кристалл клиногумита (показан стрелкой) на трещиноватой клиногумитовой основе; Д – агрегат талька с щелевидной пустоткой (показана стрелкой); Е – группа пустоток до 0,5 см в поперечнике (стрелки) в форстеритовом агрегате

Химический состав минералов, составляющих стенки пустот и выполнения (в мас.%)

Минерал	Число определений	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	F	Cr ₂ O ₃	V ₂ O ₃	CoO	NiO	Сум- ма
Шпинель	60	0,04	0,02	70,82	0,18	0,01	28,27	0,01	0,01	–	0,26	0,10	0,12	0,09	0,02	0,02	99,97
Форстерит	35	43,75	0,03	0,02	0,16	0,01	54,48	–	0,01	–	0,37	0,14	0,01	0,06	0,01	0,02	99,07
Тальк	8	60,80	0,08	1,57	0,73	0,01	30,84	0,86	0,19	0,05	0,11	0,41	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	95,53
Флогопит	11	41,82	0,36	16,58	0,01	0,01	27,67	–	1,10	8,81	–	1,44	–	0,10	Н.о.	0,02	97,92
Хлорит	41	29,02	0,05	23,40	0,13	–	32,13	0,01	0,07	0,01	0,50	0,26	0,03	0,04	0,02	0,05	85,72
Клиногумит	6	37,12	2,81	0,15	0,05	–	55,75	–	–	0,01	–	3,97	0,05	0,03	–	–	99,94
Серпентин	5	40,02	0,03	0,08	0,12	–	35,25	0,11	0,09	0,04	0,28	0,16	0,21	0,03	–	0,05	76,47

Примечание. Н.о. – элемент не определялся; «–» – нулевые значения.

ромбододекаэдра и других более сложных кристаллических форм, размером до 10 и более сантиметров по ребру (рис. 2, А, В). Сильно раздробленный шпинелевый агрегат (с разнонаправленными трещинами) со стороны пустого пространства покрыт гранями почти не затронутыми трещинами. Они имеют ровные гладкие поверхности. От них внутрь кристаллов на глубину до 0,5 см шпинель почти не затронута трещинами. Эти монообласти являются более прозрачными и резко контрастируют с раздробленной массой внутренних зон кристаллов (см. рис. 2, Б).

Шпинель редко содержит мелкие твёрдые (апатит, циркон, корунд, графит и пирит) и газово-жидкие включения. Среди последних выделяются преимущественно хлоридные разности [12]. Химический состав шпинели в различных кристаллах почти постоянен. Минерал содержит (в мас.%): FeO 0,18; Cr₂O₃ 0,12; V₂O₃ 0,09; CoO и NiO по 0,02 (см. таблицу).

С этой группой пустот авторы статьи связывают образование самого крупного кристалла шпинели весом 5880 грамм и размером 15×17×20 см, обнаруженного на месторождении в 1985 г.

2. Среди мономинеральных катаклазированных участков белого форстеритового агрегата встречаются щелевидные полости со степенью раскрытия 2–3 мм и протяжённостью десятки сантиметров. Сильно передробленная (до 0,1–0,3 см между трещинами) масса зёрен форстерита на стенках пустот покрыта ровными зеркальными гранями (5–7) длиной и шириной до 3 см. Грани крупных кристаллов нарастают на мелкие угловатые зоны, составляющие ядерные (внутренние) участки минерального индивида. В 3–5 мм от поверхности граней к центру кристалла они почти лишены трещин, также как в шпинели, описанной выше (см. рис. 2, Б). В форстерите установлено низкое содержание FeO, а также хром, ванадий, кобальт и никель (см. таблицу). Для него характерны редкие, мелкие твёрдые и флюидные включения.

3. В крупных скоплениях пирита до 40 и более сантиметров в поперечнике наблюдаются щелевидные пустоты со степенью раскрытия до нескольких сантиметров. Кристаллы пирита размером до 5 см образуются на стенках пустот, часто срастаясь в друзы. Они обладают сильным металлическим блеском и ярким латунно-жёлтым цветом. Формы кристаллов – куб и пентагон-дodeкаэдр. Их внутренние части также представляют собой сильно трещиноватый агрегат.

4. В клиногумитовом, сильно передробленном агрегате, в щелевидных полостях небольшого раскрытия (3–5 мм) наблюдаются новообразования граней крупных кристаллов и мелкие прозрачные кристаллы более тёмного, чем раздробленная подложка, клиногумита (см. рис. 2, Г). Для химического состава клиногумита характерно (в мас.%): повышенное содержание TiO₂ до 2,81 и F до 3,97 и низкое FeO 0,05,

а также наличие хрома и ванадия, соответственно, до 0,05 и 0,03 (см. таблицу).

5. В линзах талька мощностью более 10 и протяжённостью более 180 м, развитых восточнее участков № 3 и 5, во фрагментах микроскладчатости, в местах перегибов (замков) наблюдаются вытянутые пустоты $3 \times 1 \times 1,5$ см с гладкими и ровными стенками (см. рис. 2, Д). Тальк крупночешуйчатый, маложелезистый, максимальное значение FeO составляет 0,73 мас.%. В нём установлено повышенное содержание алюминия и фтора, соответственно, 1,57 и 0,41 мас.%. (см. таблицу).

6. Серии мелких пустот до 1 см в поперечнике наблюдались в крупночешуйчатых скоплениях бесцветного флогопита среди крупных порфиробластов овальной формы сильно трещиноватой розовой шпинели и белого форстерита до 5 см в поперечнике (см. рис. 2, Е). Флогопит в этих участках обладает отчётливыми кристалломорфологическими очертаниями в отличие от шпинели и форстерита. Он также характеризуется низким содержанием FeO до 0,01 мас.% и высокими F до 1,41 мас.% (см. таблицу).

Вторая группа пустот является более выразительной с разнообразными формами: от близкой к изометричной до щелевидной. На их поверхностях сформированы кристаллы различных минеральных видов, разнообразие которых представлено ниже.

1. В агрегатах пирита чёрного цвета размером до нескольких десятков сантиметров в поперечнике, расположенных среди форстеритового агрегата, встречаются пустоты размером $5 \times 4 \times 3,5$ см (рис. 3, А). Чёрный цвет пирита обусловлен тончайшей сетью жилок сульфата железа (FeO 40,5 и SO_3 54,6 мас.%). Мощность жилок составляет сотые доли, а расстояние между ними – 1–2 мм. Они пересекаются, образуя микроштокверк, и придают чёрный цвет крупным агрегатам пирита.

Поверхность пустот обладает извилистой формой и сплошь покрыта белыми кристаллами магнезита и кальцита сферической формы до 3 мм в диаметре (см. рис. 3, А).

2. Среди крупнокристаллических обособлений доломита до 5 см в поперечнике внутри катаклазированного агрегата форстерита наблюдаются редкие пустоты до 2 см в поперечнике. Одни из них содержат прозрачные бесцветные чешуйчатые кристал-

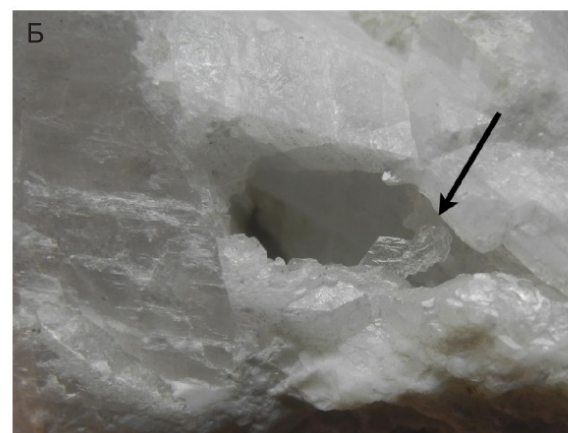


Рис. 3. Вторая группа пустот:

А – пустотка в агрегате пирита, со сферолитами кальцита и магнезита (стрелка); Б – уплощённые бесцветные кристаллы хлорита 5 мм (стрелка) в полости длиной около 1,5 см в крупнокристаллическом доломите; В – призматические кристаллы доломита длиной до 1,5 мм (стрелка) в пустотке более 1 см в поперечнике между клиногумитом и магнезитом; Г – радиально-лучистый сферолит арагонита диаметром 5 мм (стрелка) в пустотке среди крупнокристаллического доломита

лы магнезиального хлорита (см. рис. 3, Б), а другие – радиально-лучистые, игольчатые бесцветные кристаллы арагонита (см. рис. 3, В). Главные линии на рентгенограмме хлорита представлены: 14,196 (60); 7,117 (100); 4,744 (60); 3,550 (80); 2,843 (55); 2,029 (16). Цифры перед скобками – межплоскостные расстояния в ангстремах, а цифры в скобках – интенсивности. Химический состав минерала характеризуется (в мас.%): низкими содержаниями FeO до 0,13, повышенными P₂O₅ до 0,5 и F до 0,26, а также наличием хрома, ванадия, кобальта и никеля, соответственно, 0,03, 0,04, 0,02 и 0,05 (см. таблицу).

3. В клиногумитовых обособлениях встречаются пустоты до 1,5 см в поперечнике, стенки которых покрыты прозрачными кристаллами клиногумита до 1 см и бесцветного, прозрачного доломита длиной до 3 мм, призматической формы (см. рис. 3, Г). Главные линии на рентгенограмме доломита представлены следующими значениями: 2,879 (100); 2,662 (20); 2,532 (20); 2,188 (40); 2,012 (20); 1,801 (50). В ряде пустот были установлены чётко образованные кристаллы брусита, арагонита и доломита [6].

4. В кальцит-доломитовых агрегатах встречены пустоты, выполненные радиально-лучистыми сростками кристаллов арагонита размером около 6 мм (см. рис. 3, Г, Д). Арагонит был определён методом рентгенофазового анализа. Главные линии на рентгенограмме арагонита представлены следующими значениями: 3,398 (100); 3,275 (30); 2,702 (45); 2,484 (55); 2,372 (50); 1,977 (70).

Генезис пустот. Процессам образования пустот предшествовали два цикла докембрийского метаморфизма, сопровождавшиеся высоким литостатическим давлением 1100–800 МПа. Оно привело к сильному уплотнению минералов магнезиальных скарнов: шпинели, форстерита, энстатита. Данные минералы относятся к самой ранней генерации. Термодинамические процессы этих циклов лежат в поле между линиями I–II (рис. 4).

Подобное уплотнение проявилось в сильнейшем дроблении минералов и создании разнообразного катакластического рисунка: параллельных, перпендикулярных, диагональных трещин, а также мелкой складчатости. После снятия максимального давления, на регрессивной стадии метаморфизма, они явились каналами для движения метаморфогенно-гидротермальных растворов, которые частично растворили периферические участки кристаллов. Минералы потеряли первоначальные кристалломорфологические очертания.

Трещины отрыва способствовали ещё большему, но локальному падению давления по механизму декомпрессии. Они послужили главной причиной образования пустых пространств. В них создавались благоприятные условия для регенерации кристаллических форм минералов первой генерации, которые авторы

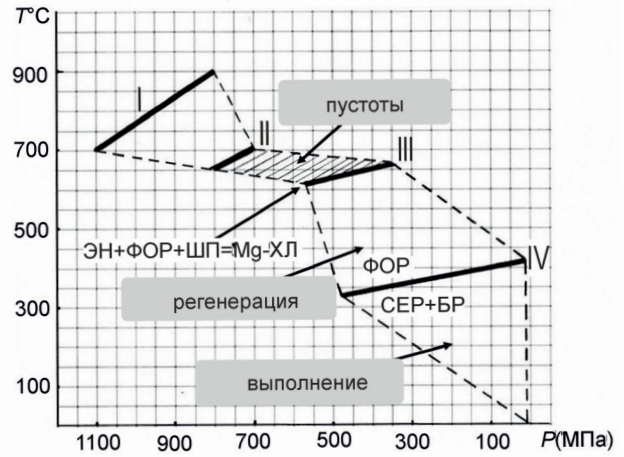


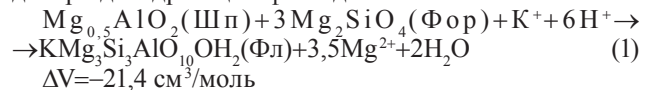
Рис. 4. Образование пустот в эволюции термодинамических условий метаморфизма месторождения Кухи-Лал:

I – верхняя граница 1-го цикла метаморфизма; II – верхняя граница 2-го цикла по [1]; III – моновариантная реакция: энстатит+форстерит+шпинель=магнезиальный хлорит, при P воды 1 МПа, по [10]; IV – моновариантная реакция: форстерит=серпентин+брусит, при P воды 0,3 МПа по [10]; заштриховано поле P–T-условий образования пустот; ЭН – энстатит, ФОР – форстерит, ШП – шпинель, Mg-ХЛ – магнезиальный хлорит, СЕР – серпентин, БР – брусит

наблюдали на многочисленных образцах (см. рис. 2). В трещинах раздробленные и частично растворённые кристаллы явились основой для нарастающих на них новых генераций граней и вершин (см. рис. 2).

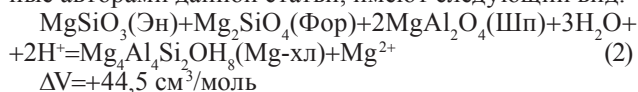
Регенерация осуществлялась в широком поле температур и давлений между линиями моновариантных реакций III и IV (см. рис. 4). Регенерацию авторы рассматривают как изохимическую стадию метаморфогенного минералообразования.

На этой стадии происходило метасоматическое преобразование шпинели, форстерита и энстатита, которое можно описать с помощью реакций (1–3). Например, образование флогопита (Фл) по шпинели (Шп) и форстериту (Фор). Данная реакция, протекавшая с отрицательным объёмным эффектом, могла проходить с привнесением калия и водорода и выносом магния и воды при дегидратации флюида.



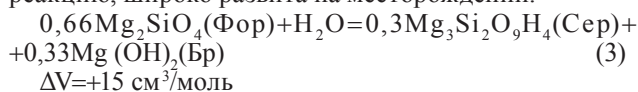
Вероятно, именно эта реакция могла способствовать образованию пустот. Она коррелируется с образованием других водо- и карбоксилсодержащих минералов: магнезиального хлорита и гидроталькита. Например, реакция энстатит (Эн) + форстерит (Фор) + шпинель (Шп) = магнезиальный хлорит (Mg-хл), наблюдаемая на месторождении, экспериментально рассчитана [10, 11]. Её параметры соответствуют ли-

нии III (см. рис. 4). Расчёты этой реакции, протекавшей с положительным объёмным эффектом, сделанные авторами данной статьи, имеют следующий вид:



$$\Delta V = +44,5 \text{ см}^3/\text{моль}$$

В P - T -условиях ниже линии IV, в пустотах начали откладываться карбонаты: доломит, кальцит и водосодержащие минералы (серпентин, брусит и др.). При дальнейшем понижении температуры и давления выполнение пустот осуществлялось минералами свободного роста (см. рис. 3). Их значения соответствуют полю ниже линии IV (см. рис. 4) с P - T параметрами $410^\circ\text{--}330^\circ\text{C}$ и $480\text{--}20$ МПа. Данная пограничная линия соответствует моновариантной реакции: форстерит (Фор)+вода=серпентин (Сер)+брусит (Бр) [10, 11]. Минеральная ассоциация, представляющая данную реакцию, широко развита на месторождении.



$$\Delta V = +15 \text{ см}^3/\text{моль}$$

Серпентин и брусит – одни из самых поздних минералов месторождения. Они наблюдаются как в пустотах, так и в межзерновом пространстве, в интерстициях шпинели, форстерита и энстатита.

Образование пустот, регенерацию минералов первой стадии, а затем появление водо- и карбоксилсодержащих ассоциаций можно рассматривать как переходный этап в эволюции минеральных комплексов месторождения Кухи-Лал.

По представленным материалам можно сделать следующие **выводы**. На месторождении Кухи-Лал обнаружены две группы пустот: с регенерацией первичных и образованием новых (вторичных) минералов, представляющих определённую стадию в развитии минеральной ассоциации магнезиальных скарнов (см. рис. 4).

С первой группой пустот связано образование новой генерации граней кристаллов шпинели, форстерита, клиногумита, флогопита и др. Обрастание гранями минералов магнезиальных скарнов авторы рассматривают как регенерацию первичных передробленных кристаллов. Она происходила в освободившемся пространстве трещин. Регенерация привела к образованию новых граней и восстановлению облика кристаллов, первичные формы которых были разрушены деформациями и растворением.

Регенерация была обусловлена двумя причинами. Первая: образование трещин отрыва привело к возникновению пустого пространства. Вторая: одновременно с ней происходили локальные метасоматические реакции, протекавшие с отрицательным объёмным эффектом. Формирование пустот происходило

на регрессивной стадии второго тектоно-метаморфического цикла (см. рис. 4).

Со второй группой пустот связано выполнение их кристаллами минералов, которых нет в составе степок. Образование минералов происходило при T ниже $410^\circ\text{--}330^\circ\text{C}$ и P $480\text{--}20$ МПа и осуществлялось на заключительном отрезке эндогенной активности региона в третьем цикле регионального метаморфизма. Он был обусловлен альпийской эпохой орогенеза.

Рассмотренный процесс способствовал образованию коллекционного кристаллосырья: шпинели, форстерита, клиногумита и др., часть которых является регенерированной (в первой группе пустот), а другая образовалась из растворов (вторая группа).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Буданов В. И., Буданова К. Т. Геолого-петрологическая характеристика обнажённого кристаллического фундамента // Земная кора и верхняя мантия Таджикистана. – Душанбе: Дониш, 1983. – С. 56–112.
2. Буданов В. И. Эндогенные формации Памира. – Душанбе: Дониш, 1993. – 299 с.
3. Гуревич Я. А. Особенности геологического строения и разведки месторождения благородной шпинели Кухи-Лал // Геология поиски и разведка месторождений цветных камней Таджикистана. – Душанбе, 1987. – С. 17–20.
4. Елисеев Н. А. Метаморфизм. – М.: Недра, 1963. – 427 с.
5. Киселёв В. И., Буданов В. И. Месторождения докембрийской магнезиально-скарновой формации Юго-Западного Памира. – Душанбе: Дониш, 1986. – 217 с.
6. Колесникова Т. А. Благородная шпинель, клиногумит и манассеит месторождения Кухилал (Памир) // Драгоценные и цветные камни. – М.: Наука, 1980. – С. 181–198.
7. Литвиненко А. К. Генетическая позиция благородной шпинели в магнезиальных скарнах Юго-Западного Памира // Записки Российского минералогического общества. – 2003. – Ч. СXXXII, № 1. – С. 76–82.
8. Литвиненко А. К. Нуристан-Южнопамирской провинция докембрийских самоцветов // Геология рудных месторождений. – 2004. – Т. 46, № 4. – С. 305–312.
9. Литвиненко А. К. Минералогия драгоценных камней Нуристан-Южнопамирской провинции // Palmarium Academic Publishing. – 2012. – 315 с.
10. Маракушев А. А. Термодинамика метаморфической гидратации минералов. – М.: Наука, 1968. – 198 с.
11. Маракушев А. А. Петрология метаморфических горных пород. – М.: Изд-во московского университета, 1973. – 320 с.
12. Файзиев А. Р., Эльназаров С. А. Минералогические особенности и генезис Кухилалского месторождения благородной шпинели (ЮЗ Памир). – Душанбе: Дониш, 2016. – 135 с.

REFERENCES

1. *Budanov V.I., Budanova K.T.* Geologo-petrologicheskaya kharakteristika obnazhennogo kristallicheskogo fundamenta X [Geological and petrological characteristics of the exposed crystal Foundation], *Zemnaya kora i verkhnyaya mantiya Tadzhikistana*. Dushanbe, Donish Publ. 1983. P. 56–112.
2. *Budanov V.I.* Endogennye formatsii Pamira [Endogenous formations of the Pamir]. Dushanbe, Donish Publ. 1993. 299 p.
3. *Gurevich Ya.A.* Osobennosti geologicheskogo stroeniya i razvedki mestorozhdeniya blagorodnoi shpineli Kukhi-Lal [Features of the geological structure and exploration of the Kuhi-Lal noble spinel Deposit], *Geologiya poiski i razvedka mestorozhdenii tsvetnykh kamnei Tadzhikistana*. Dushanbe. 1987. P. 17–20.
4. *Eliseev N.A.* Metamorfizm [Metamorphism]. Moscow, Nedra Publ. 1963. 427 p.
5. *Kiselev V.I., Budanov V.I.* Mestorozhdeniya dokembriiskoi magnezial'no-skarnovoi formatsii Yugo-Zapadnogo Pamira [Deposits of the Precambrian magnesia-skarn formation of the Southwestern Pamir]. Dushanbe, Donish Publ. 1986. 217 p.
6. *Kolesnikova T.A.* Blagorodnaya shpinel', klinogumit i manasseit mestorozhdeniya Kukhilal (Pamir) [Noble spinel, clinohumite and manasseite from the Kukhilal Deposit (Pamir)], *Dragotsennye i tsvetnye kamni*. Moscow, Nauka Publ. 1980. P. 181–198.
7. *Litvinenko A.K.* Geneticheskaya pozitsiya blagorodnoi shpineli v magnezial'nykh skarnakh Yugo-Zapadnogo Pamira [Genetic position of noble spinel in magnesian skarns of the South-Western Pamir], *Zapiski Rossiiskogo mineralogicheskogo obshchestva*. 2003. No. 1. – P. 76–82.
8. *Litvinenko A.K.* Nuristan-Yuzhnopamirskoi provintsiya dokembriiskikh samotsvetov [Nuristan-South Pamir province of Precambrian gems]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii*. 2004. Vol. 46. No. 4. P. 305–312.
9. *Litvinenko A.K.* Minerageniya dragotsennykh kamnei Nuristan-Yuzhnopamirskoi provintsii [Mineralogy of precious stones of Nuristan-South Pamir province]. *Palmarium Academic Publ*. 2012. 315 p.
10. *Marakushev A.A.* Termodinamika metamorficheskoi gidratatsii mineralov [Thermodynamics of the metamorphic hydration of minerals]. Moscow, Nauka Publ. 1968. 198 p.
11. *Marakushev A.A.* Petrologiya metamorficheskikh gornnykh porod [Petrology of metamorphic rocks]. Moscow, MSU Publ. 1973. 320 p.
12. *Faiziev A.R., El'nazarov S.A.* Mineralogicheskie osobennosti i genezis Kukhilalskogo mestorozhdeniya blagorodnoi shpineli (YuZ Pamir) [Mineralogical features and Genesis of The kuhilal noble spinel Deposit (South-Western Pamir)], Dushanbe, Donish Publ. 2016. 135 p.

Требования к оформлению рисунков

Рисунки и другие графические материалы (не более 8) представляются в цветном или черно-белом варианте в электронном виде. Размер оригиналов рисунков не должен превышать формата страницы журнала (170x237 мм). Каждый рисунок помещается в отдельный файл в одном из следующих форматов: графический редактор Corel Draw, JPEG, TIFF (только для фото), диаграмма Microsoft Excel. Графика должна быть прямо связана с текстом и способствовать его сокращению. Оформление и содержание иллюстративного материала должны обеспечивать его читаемость после возможного уменьшения. Ксерокопии и сканированные ксерокопии не принимаются. Подрисуночные подписи печатаются на отдельной странице. Рисунки, не удовлетворяющие требованиям редакции, возвращаются автору.