



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-101-111>
УДК 553.824



ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ МИНЕРАЛОВ РУБИНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СНЕЖНОЕ, МУЗКОЛ- РАНГУЛЬСКИЙ АНТИКЛИНОРИЙ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПАМИР

А.К. ЛИТВИНЕНКО^{1,*}, Ш.А. ОДИНАЕВ^{2,3}

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия

² Институт геохимии Гуанчжоу Китайской Академии наук
ул. Кехуа, г. Гуанчжоу, 511, Китай

³ Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной академии наук
Таджикистана
267, ул. Айни, г. Душанбе 734063, Таджикистан

АННОТАЦИЯ

Введение. Минеральная ассоциация рубина на месторождении Снежное представлена 7 породообразующими и 19 аксессуарными минералами. Все минералы месторождения имеют переменный состав, связанный с изоморфизмом. На основе парагенетического анализа, проведенного с минералами рубиноносных залежей, залегающих внутри мраморов, выделено четыре группы пород. Три из них по доминирующему минералу разделены на серии: плагиоклазовую, скаполитовую и слюдитовую, а четвертая группа — мономинеральная рубиновая. В их составе установлено 16 парагенезисов: двух-, трех- и четырехминеральных. Разнообразие и неравномерное проявление парагенезисов определяется изменчивым химическим составом протолита (бокситоподобного осадка), метаморфогенное преобразование которого привело к возникновению месторождения Снежное и др. Использование парагенетического анализа для исследования метаморфогенных месторождений рубина в мраморах получило эффективный результат, проверенный на объектах Музкол-Рангкульского антиклинория.

Целью представленного исследования является выявление парагенетических соотношений между породообразующими минералами рубиноносных залежей.

Материалы и методы. Обозначенная цель исследования решалась методом парагенетического анализа, основы которого были разработаны Д.С. Коржинским. Из реальных минеральных и химических составов рубиноносных залежей месторождения Снежное и других рубиноносных объектов музкольской серии были выбраны три группы инертных элементов: 1 — Si; 2 — Al и 3 — сумма Ca, Mg, Na, K. Составы минералов были пересчитаны на 100% и нанесены на треугольные диаграммы. Затем на основе наблюдений в образцах и шлифах на диаграммах парагенезисы были соединены коннодами и проанализированы.

Результаты. На основе парагенетического анализа, проведенного с минералами рубиноносных залежей, залегающих внутри мраморов месторождения Снежное, нами выделено четыре группы пород. Три из них по преобладающему минералу разделены на серии: плагиоклазовую, скаполитовую и слюдитовую, а четвертая группа — мономинеральная рубиновая. В их составе установлено 16 парагенезисов: двух-, трех- и четырехминеральных. Разнообразие и неравномерное проявление парагенезисов определяется изменчивым химическим составом протолита (бокситоподобного осадка), метаморфогенное преобразование которого привело к возникновению месторождения Снежное.

Заключение. Использование парагенетического анализа для исследования метаморфогенного месторождения рубина дало эффективный результат, проверенный на близлежащих месторождениях и проявлениях. Полученные материалы могут быть использованы при поисках и разведке новых месторождений в контурах мраморов музкольской метаморфической серии.

Ключевые слова: Центральный Памир, Музкол-Рангкульский антиклинорий, месторождение рубина Снежное, парагенезисы, рубин, плагиоклаз, скаполит, мусковит, флогопит, маргарит

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Литвиненко А.К., Одинаев Ш.А. Парагенетические соотношения минералов рубинового месторождения Снежное, Музкол-Рангульский антиклинорий, Центральный Памир. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2024;66(4):101—111. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-101-111>

Статья поступила в редакцию 22.10.2024

Принята к публикации 13.12.2024

Опубликована 23.12.2024

* Автор, ответственный за переписку

PARAGENETIC RELATIONS OF MINERALS IN THE SNEZHNOYE RUBY DEPOSIT, MUZKOL-RANGKUL ANTICLINORIUM, CENTRAL PAMIR

ANDREY K. LITVINENKO^{1,*}, SHARIFJON A. ODINAEV^{2,3}

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences
Kehua str., Guangzhou, 511, China*

³ *Institute of Geology, Earthquake Engineering and Seismology, National Academy of Sciences of Tajikistan
267, Ayni str., Dushanbe 734063, Tajikistan*

ABSTRACT

Background. The mineral association of ruby in the Snezhnoye deposit is represented by 7 rock-forming and 19 accessory minerals. Here, all minerals vary in their composition due to isomorphism. The conducted paragenetic analysis of minerals from marble-hosted ruby deposits identified four groups of rocks. Out of them, three groups are divided into series according to the dominant mineral: plagioclase, scapolite, and mica associations. The fourth group comprises monomineralic ruby. The studied minerals exhibit 16 parageneses, including two-, three-, and four-mineral forms. The diversity and uneven manifestation of paragenesis is determined by the variable chemical composition of protolith (bauxite-like sediment), the metamorphogenic transformation of which led to the emergence of Snezhnoye and other deposits.

Aim. To identify paragenetic relations between rock-forming minerals of ruby-bearing deposits.

Materials and methods. The methods of paragenetic analysis, the foundations of which were developed by D.S. Korzhinsky, were used. Three groups of inert elements were selected from the actual mineral and chemical compositions of the Snezhnoye ruby deposits and other ruby-bearing objects of the Muzkol series: (1) Si, (2) Al, and (3) the sum of Ca, Mg, Na, and K. Mineral compositions were calculated in terms of 100% and plotted on triangular diagrams. Then, on the basis of observations in samples and sections on the diagrams, the parageneses were connected by tie-lines for analysis.

Results. The conducted paragenetic analysis of minerals from marble-hosted ruby deposits identified four groups of rocks. Out of them, three groups are divided into series according to the dominant mineral: plagioclase, scapolite, and mica associations. The fourth group comprises monomineralic ruby. The studied minerals exhibit 16 parageneses, including two-, three-, and four-mineral forms. The diversity and uneven manifestation of paragenesis is determined by the variable chemical composition of protolith (bauxite-like sediment), the metamorphogenic transformation of which led to the emergence of Snezhnoye and other deposits.

Conclusion. The use of paragenetic analysis when investigating the metamorphogenic ruby deposit under study produced reliable results, which were further tested at nearby deposits and occurrences. The obtained materials can be used when prospecting new marble-hosted deposits of the Muzkol metamorphic series.

Keywords: Central Pamir, Muzkol-Rangkul anticlinorium, Snezhnoye ruby deposit, paragenesis, ruby, plagioclase, scapolite, muscovite, phlogopite, margarite

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the study was not sponsored.

For citation: Litvinenko A.K., Odinaev Sh.A. Paragenetic relations of minerals in the Snezhnoye ruby deposit, Muzkol-Rangkul anticlinorium, Central Pamir. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2024;66(4):101—111. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2024-66-4-101-111>

Manuscript received 22 October 2024

Accepted 13 December 2024

Published 23 December 2024

* Corresponding author

Постановка задачи

Месторождение рубина Снежное является самым крупным на Памире и отнесено к рубин-карбонатной [9], рубин-мраморной камнесамоцветной формации метаморфического генезиса [10]. Этот тип месторождений получил название «рубин в мраморах» [6, 14, 19]. Снежное является типоморфным к крупнейшим месторождениям рубина: Лук Ен (Вьетнам), Могок (Мьянма), Таплиджунг (Непал), Нангмали (Пакистан), Джегдаллек (Афганистан) [12, 16, 17].

Месторождения рубина на Центральном Памире, включая месторождение Снежное, локализованы в мраморах сарыджилгинской свиты, входящей в музкольскую серию (PR₁) [18, 20]. Она является вещественной основой Музкол-Рангульского антиклинория, являющегося фундаментом кимерийской тектонической зоны Центрального Памира. Эта зона одна из четырех (Северный, Центральный, Юго-Западный и Юго-Восточный Памир), составляющих горно-складчатое сооружение Памир [1, 4].

В 300 метрах к западу от месторождения Снежное находятся месторождение Надежда и проявления рубина Корунд-4 и Корунд-7, в 80 метрах к северу — Тимоша, в 3 км к востоку — Трика, к югу и юго-востоку — еще 4 проявления (Лагерное, Аленушка, Корунд-1 и Корунд-2) с недооцененными кондициями. Рассматриваемые рубиноносные объекты формируют минерагеническую структуру широтного простираения — Туракуломинскую зону протяженностью около 12 и шириной 0,6 км [9, 20]. Рубиновая минерализация месторождения Снежное и других объектов региона локализована стратиформно в кальцитовых мраморах, с которыми об-

разовалась одновременно. В раннем докембрии это были прослои бокситоподобных, глинистых пород в известняках. В процессе полициклического метаморфизма они превратились в рубиноносные залежи в мраморах. На этом основании возраст рубиновой минерализации синхронизируется с возрастом докембрийских мраморов [12].

Рубиноносные залежи характеризуются резкими колебаниями гранулометрического и минерального состава, мощности, протяженности и содержания рубина. Минеральная ассоциация рубина на рассматриваемом месторождении представлена 7 породообразующими и 19 аксессуарными минералами. Все минералы месторождения имеют переменный состав, связанный с изоморфизмом [12]. Отдельные участки залежей формируются разными группами минеральных ассоциаций (парагенезисов), которые располагаются на первый взгляд хаотично: рубин в них то присутствует, то отсутствует, поэтому при разведке оно было отнесено (фондовые материалы экспедиции «Памиркварцсамоцветы») к четвертой группе сложности и разведка была объективно ограничена категорией C₂.

Геологические особенности месторождения

Подробные сведения о геологическом строении месторождения Снежное приведены ранее [9, 12]. Для решения нашей задачи необходимо отметить основные геологические особенности месторождения.

Месторождение локализовано в кальцитовых мраморах раннепротерозойского возраста [13]. Они полициклически метаморфизованы в P—T-условиях высокотемпературной амфиболитовой

Таблица 1. Химические составы рубиноносных залежей месторождения Снежное, в мас. %
Table 1. Chemical compositions of ruby deposits of the Snezhnoye deposit, in wt%

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	47,19	48,61	53,53	52,26	43,00	47,41	43,60	30,67	16,08	3,61
TiO ₂	1,84	2,43	2,22	3,11	1,17	2,63	1,87	2,70	0,90	0,44
Al ₂ O ₃	39,30	25,55	28,75	28,17	45,54	30,64	36,40	50,10	66,36	91,40
FeO	0,40	0,30	0,35	0,39	0,17	0,84	2,03	0,86	2,77	0,06
MnO	-	-	-	-	-	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03
MgO	0,09	0,41	0,92	1,27	0,26	0,96	0,84	0,05	2,05	0,36
CaO	4,55	9,73	4,85	4,99	4,30	5,32	3,81	8,31	3,27	1,17
K ₂ O	0,97	0,88	5,09	5,67	0,75	5,08	3,84	2,75	5,17	1,09
Na ₂ O	4,70	11,48	3,35	2,91	4,20	2,10	3,36	4,04	2,31	0,38
P ₂ O ₅	0,07	0,27	0,10	0,31	0,15	0,08	0,14	0,07	0,04	0,01
Cr ₂ O ₃	0,65	0,18	0,17	0,14	0,07	0,05	0,05	0,35	0,08	0,43
Сумма	99,76	99,84	99,33	99,22	99,46	95,12	95,96	99,91	99,02	98,98

Примечание. Породы по цвету и минеральному составу: 1 — светлая (рубин—плагиоклаз—слюды); 2—5 — темная (рубин—скаполит—слюды); 6—9 — ярко-зеленая (рубин—слюды); 10 — красная, почти мономинеральная рубиновая. Анализы проб 1—5, 10 выполнены в ГЕОХИ РАН И.А. Рошчиной рентгенофлуоресцентным методом; 6, 7 — в ФХМИ ИГГ Уро РАН Н.П. Горбуновой на рентгеновском спектрометре СРМ-18; 8, 9 — в химической лаборатории ИГ АН Таджикистана химическим анализом, Н.И. Талалуевой.
Note. Rocks by color and mineral composition: 1 — light (ruby—plagioclase—mica); 2—5 — dark (ruby—scapolite—mica); 6—9 — bright green (ruby—mica); 10 — red, almost monomineral ruby. Analyses of samples 1—5, 10 were performed at the Geochemical Institute of the Russian Academy of Sciences by I.A. Roshchina using the X-ray fluorescence method; 6, 7 — at the Faculty of Art and Chemistry of the Institute of Chemical Chemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences of N.P. Gorbunova on the SRM-18 X-ray spectrometer; 8, 9 — in the chemical laboratory of the IG of the Academy of Sciences of Tajikistan by chemical analysis, N.I. Talalueva.

фации ($T = 750\text{—}780^\circ$, $P = 7\text{—}9$ кбар) — первый цикл (докембрийский) [5] и эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций — второй цикл (мезо-кайнозойский) регионального метаморфизма [2, 3]. Мощность мраморов около 150 м, протяженность ~ 12 км. Они согласно подстилаются и перекрываются высокоглиноземистыми кристаллическими сланцами кварц-плагиоклаз-биотитового состава с гранатом и кианитом. Рубин и его минеральная ассоциация формируют согласные залежи, приуроченные к поверхности напластования, которую мы рассматриваем как главную структуру, контролирующую их размещение [12]. Залежи протягиваются на несколько метров при мощности до 0,5, средняя — 0,15 м. Затем они выклиниваются и через пустые интервалы от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров вновь появляются. Эту поверхность мы рассматриваем как локальное стратиграфическое несогласие внутри апоизвестняковых мраморов. К этой структуре приурочены также месторождение Надежда и проявления рубина Корунд-4 и Трика. Разнообразие химических составов рубиноносных залежей отражено в таблице 1. Структурные особенности месторождения и химические составы рубиноносных

залежей позволили нам ранее [8] предположить в качестве прототипа для них бокситоподобные осадки.

Нами выделено пять основных структурно-текстурных признаков пород, составляющих месторождение.

1. Контуры рубиноносных залежей совпадают с литологическими границами мрамора: мрамор — залежь с рубином — мрамор (рис. 1).

2. Породы рубиноносных залежей характеризуются крайней изменчивостью структуры. На небольшой площади наблюдаются лепидобластовая, гломеробластовая, гетеробластовая, граноматобластовая и их различные вариации, смены и переходы одна в другую (рис. 2а).

3. В залежах наблюдаются сланцеватость, будинаж и плейчатость. По форме их можно представить в форме протяженного маломощного слоя с волнистыми зальбандами, иногда с плоскостями скольжения.

4. Продуктивные тела характеризуются резкой изменчивостью мощности и внутреннего строения, а также распределением содержания рубина. Он образует вкрапленно-гнездовую форму (рис. 2б).

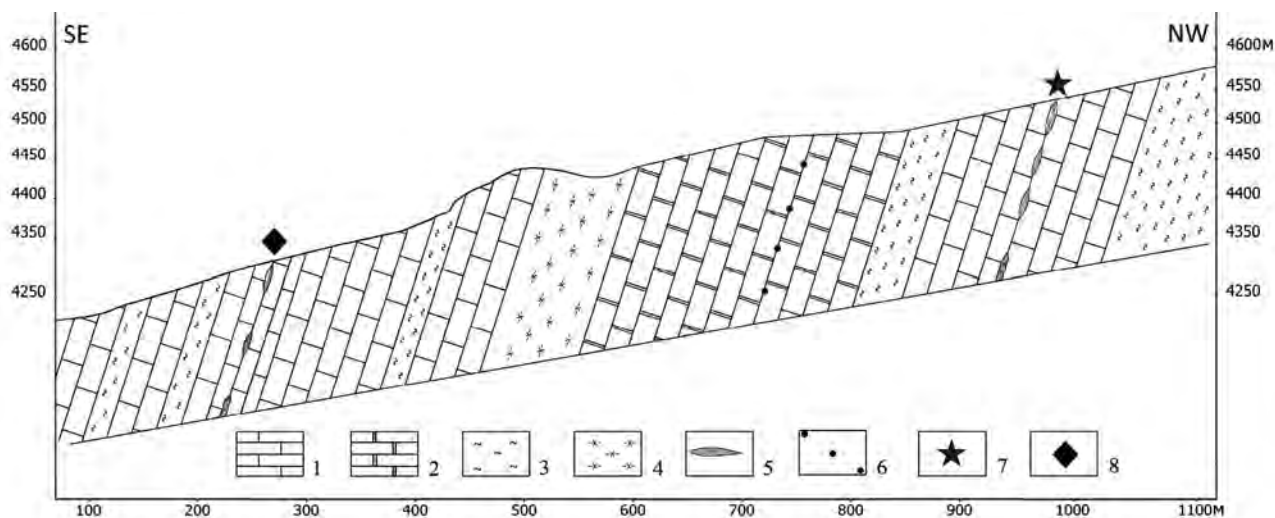


Рис. 1. Разрез мраморной пачки по меридиану через месторождение Снежное: 1, 2 — мраморы: 1 — кальцитовые, 2 — доломитовые; 3 — кристаллические сланцы с гранатом и кианитом; 4 — скаполит-диопсидовые скарноиды; 5 — рубиноносные залежи (вне масштаба); 6 — мономинеральная рубиновая минерализация (проявление Лагерное); 7 — Снежное; 8 — проявление Аленушка

Fig. 1. Section of a marble pack along the meridian through the Snezhnoye deposit: 1, 2 — marbles: 1 — calcite, 2 — dolomite; 3 — crystalline schists with garnet and kyanite; 4 — scapolite-diopside skarnoids; 5 — ruby deposits (out of scale); 6 — monomineral ruby mineralization (Lagernoye manifestation); 7 — Snezhnoye; 8 — the manifestation of Alyonushka

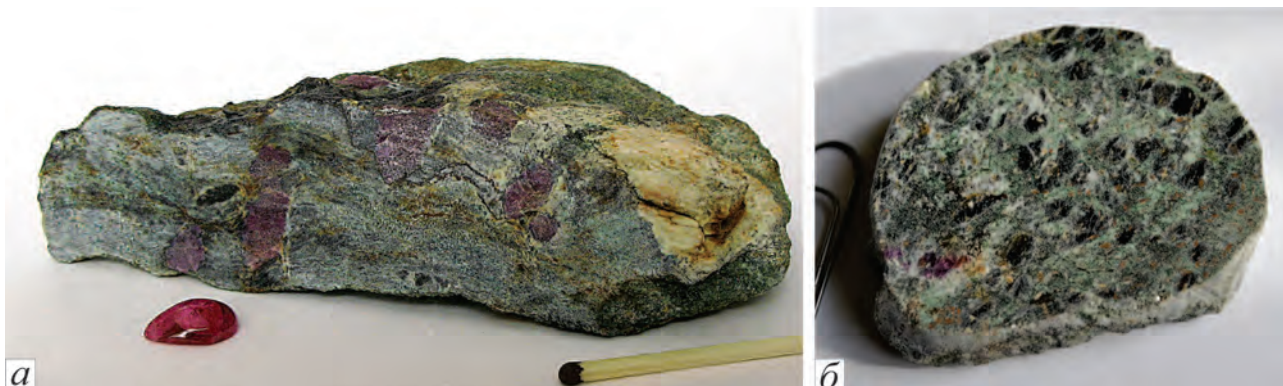


Рис. 2. Фрагменты полиминеральных залежей: а — различные сочетания структур в одном штупфе (третья группа пород). Черная линзочка — титанит, белый агрегат — скаполит. Рубиновый кабашон изготовлен из кристаллосырья этой группы пород; б — первая группа рубиноносных пород. Черные порфиробласты — скаполит, зеленые — хромосодержащие мусковит, флогопит, маргарит (нерасделенные), розовый — рубин, желтый — титанит

Fig. 2. Fragments of polymineral deposits: a — different combinations of structures in one stuff (the third group of rocks). The black lens is titanite, the white aggregate is scapolite. Ruby kabachon is made of crystalline raw materials of this group of rocks; b — the first group of ruby-bearing rocks. Black porphyroblasts are scapolite, green porphyroblasts are chromium-containing muscovite, phlogopite, margarite (undivided), pink porphyroblasts are rubies, and yellow porphyroblasts are titanite

5. Резко изменчиво качество рубина. Эти изменения наблюдаются на микро- и макроуровнях, в кристаллах и внутри залежей, по простиранию и падению, а также на всей площади месторождения. Это свойство рассмотрено ранее [11, 15].

Минеральный и химический состав, условия залегания, структура и текстура минеральных ассоциаций позволяют предположить, что первичным веществом рубиноносных залежей месторождения Снежное являлись бокситоподобные осадки [8, 12].

Парагенезисы рубина

Рубиноносные породы характеризуются весьма переменным по простиранию и по падению минеральным составом и различными по размеру и форме минералами. В залежах нами выделено пять минеральных ассоциаций, которые формируют обособленные участки с трех- и двухминеральными парагенезисами (табл. 2).

I. В первой группе пород выделяются три парагенезиса:

- 1) рубин + мусковит + маргарит,
- 2) рубин + скаполит (основной) + маргарит,
- 3) рубин + скаполит (основной) + флогопит (высокоглиноземистый).

Эту группу пород можно определить как скаполитовую серию. Скаполит здесь выступает как типоморфный минерал. В этой группе пород не отмечается парагенезис рубина с плагиоклазом, скаполитом среднего состава и низкоглиноземистым флогопитом (рис. 3а). Для третьего парагенезиса характерен флогопит с самым высоким содержанием глинозема и основной скаполит с 74% мариалитовой молекулы. Особенностью этой группы пород является флогопит, который образует парагенезисы со всеми минералами, кроме маргарита (рис. 3а).

II. Во второй группе пород наблюдается два парагенезиса:

- 4) рубин + плагиоклаз (кислый) + мусковит,
- 5) рубин + плагиоклаз (средний) + маргарит.

Эту группу пород можно определить как плагиоклазовую серию. Плагиоклаз

является типоморфным минералом. В этой группе отсутствует скаполит (рис. 3б).

Первая и вторая группы пород залежей благодаря скаполиту и плагиоклазу обладают гломеробластовой и/или гетеролепидобластовой структурой.

III. В третьей группе выделены два трехминеральных парагенезиса:

- 6) рубин + мусковит + маргарит,
- 7) рубин + флогопит (высокоглиноземистый) + маргарит.

Эту группу пород можно определить как безплагиоклазовую и безскаполитовую серию (рис. 3в). Местные геологи их называют слюдитами. В них с рубином в парагенезисе не отмечаются одновременно мусковит, флогопит и маргарит. Слюдиты с рубином имеют средне-, крупнозернистую лепидобластовую структуру с фрагментами гломеропорфировой (рис. 4б). Слюдиты различного размера: от первых миллиметров до первых сантиметров в поперечнике, гранонематобластовой или гетеробластовой структуры. Их парагенетические соотношения показаны на диаграмме (рис. 3в).

IV. В этой группе мы выделяем мономинеральные кристаллы, желваки, сростки рубина на поверхности напластования (рис. 5а). Она определяется двухминеральным парагенезисом:

- 8) рубин + кальцит.

Четвертая группа отличается разнообразием форм и размеров рубина. Самоцвет является самым крупным и самым богатым кристалломорфологическими формами среди минералов месторождения (рис. 5б). В музее

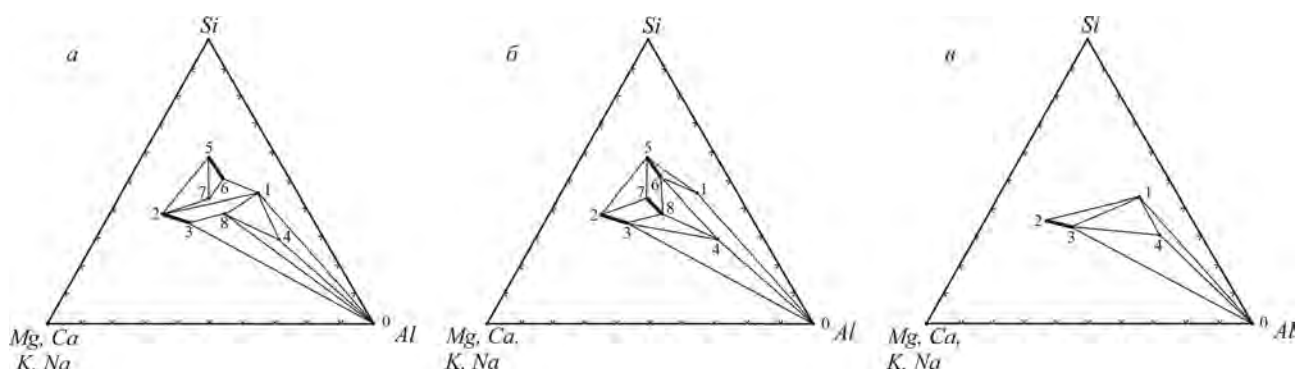


Рис. 3. Парагенетические диаграммы минеральных ассоциаций рубиноносных залежей трех групп пород:

а — первой; б — второй; в — третьей. Жирные линии — минералы переменного состава. Цифры: 0 — рубин; 1 — мусковит (фуксит); 2—3 — флогопиты: 2 — низкоглиноземистый, 3 — высокоглиноземистый; 4 — маргарит; 5—6 — плагиоклазы: 5 — кислый, 6 — средний; 7—8 — скаполиты: 7 — средний, 8 — основной

Fig. 3. Paragenetic diagrams of mineral associations of ruby-bearing deposits of three groups of rocks: а — first; б — second; в — third. Bold lines are minerals of variable composition. Numbers: 0 — ruby; 1 — muscovite (fuchsite), 2—3 — phlogopites: 2 — low alumina, 3 — high alumina; 4 — margarita, 5—6 — plagioclase: 5 — acidic, 6 — medium, 7—8 — scapolites: 7 — medium, 8 — basic

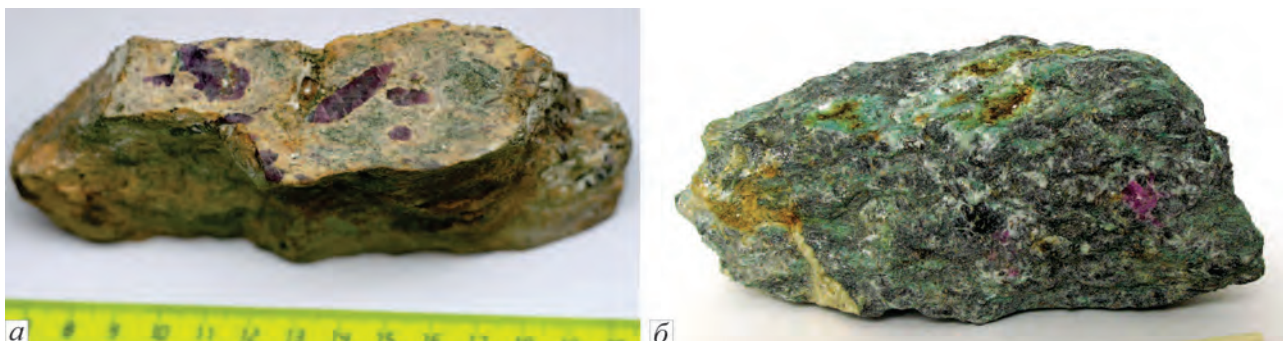


Рис. 4. Образцы из разных участков рубиноносных залежей: а — рубин, окруженный белым плагиоклазом (вторая группа рубиноносной породы); б — третья группа рубиноносных пород с поздней гидротермальной скаполитовой жилкой слева

Fig. 4. Samples from different parts of ruby deposits: а — ruby surrounded by white plagioclase (the second group of the ruby rock); б — the third group of ruby-bearing rocks with a late hydrothermal scapolite vein on the left

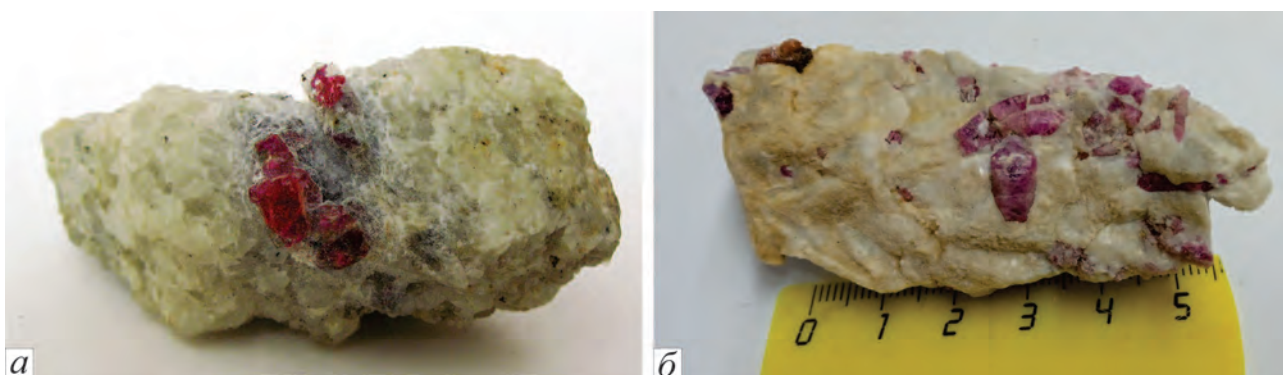


Рис. 5. Участки мономинеральных залежей рубина: а — порфиробласты (безгранные) рубина в мраморе; б — кристаллы рубина в мраморе

Fig. 5. Areas of monomineral ruby deposits: а — porphyroblasts (faceless) ruby in marble; б — ruby crystals in marble

экспедиции «Памиркварцсамоцветы» экспонировались три обломка кристаллов длиной 23 см и поперечником более 10 см каждый. Почти мономинеральные скопления рубина могут достигать 50×20×20 см, весом более 50 кг.

Эта группа представляет главный промышленный интерес. С ней связаны самые крупные и наиболее прозрачные кристаллы самоцвета. Его качественные кондиции рассмотрены в [11].

V. В залежах часто наблюдаются «пустые» участки, без рубина (рис. 6). Они представлены восемью парагенезисами (четырёх-, трёх- и двухминеральными):

9) флогопит (низкоглиноземистый) + скаполит (средний) + плагиоклаз (средний) + мусковит,

10) флогопит (разного состава) + скаполит (основной) + мусковит,

11) скаполит (средний) + плагиоклаз (разного состава),

12) флогопит (низкоглиноземистый) + скаполит (средний) + плагиоклаз (кислый),

13) флогопит (разного состава) + скаполит (разного состава),

14) скаполит (разного состава) + плагиоклаз (разного состава),

15) флогопит (разного состава) + мусковит,

16) флогопит (высокоглиноземистый) + маргарит + мусковит.

Общая картина парагенезисов на месторождении Снежное сведена в таблицу 2.

Характерной особенностью всех минералов, находящихся в парагенезисе с рубином, является изоморфная примесь хрома и ванадия от сотых долей до первых процентов [11].

Текстура рубиносодержащих пород является такситовой (неоднородной). В них очень слабо выражена либо отсутствует сланцеватость. Обычно слюды ориентированы разнонаправленно,



Рис. 6. Безрубиновый слюдит с многочисленными тонкими чешуйками графита
Fig. 6. Ruby-free mica with numerous thin graphite flakes

Таблица 2. Парагенезисы минералов в рубиноносных залежах месторождения Снежное
Table 2. Paragenesis of minerals in the ruby-bearing deposits of the Snezhnoye deposit

Рубиноносные породы	Парагенезисы с рубином	Парагенезисы без рубина
Скаполитовые	рубин + скаполит (осн) + маргарит	скаполит (осн) + мусковит + маргарит
		скаполит (осн) + мусковит + флогопит
	рубин + скаполит (осн) + флогопит (низкогл)	скаполит (ср) + мусковит + флогопит (низкогл) + плагиоклаз (кис)
		флогопит (низкогл) + скаполит (ср) + плагиоклаз (кис)
		скаполит (ср) + плагиоклаз
Плагиоклазовые	рубин + плагиоклаз (ср) + мусковит + маргарит	плагиоклаз (ср) + скаполит (осн) + маргарит
		плагиоклаз (кис) + скаполит (ср) + флогопит (низкогл)
		плагиоклаз + мусковит
Слюдитовые	рубин + мусковит + маргарит	мусковит + маргарит + флогопит (высокогл)
	рубин + маргарит + флогопит (высокогл)	мусковит+флогопит
Кальцитовые	рубин + кальцит	

Примечание. Осн — основной, ср — средний, кис — кислый, низкогл — низкоглиноземистый, высокогл — высокоглиноземистый.
Note. Осн — basic, ср — medium, кис — acidic, низкогл — low alumina, высокогл — high alumina.

хаотично. Сланцеватые участки рассекаются кристаллами рубина.

Рубиноносные породы непрерывно протягиваются на несколько метров при мощности до 0,5 м и выклиниваются. Через десятки сантиметров они могут появиться вновь. Их контакты с мраморами резкие, иногда осложнены зеркалами скольжения площадью до 10 см², т.е. разрывы являлись мелкими, локальными.

Кондиционные кристаллы самоцвета находятся среди хромсодержащих слюд или в белых мраморах без рудно-графитовой смеси минералов. Во втором случае прозрачность самоцвета связана с тем, что при его росте окружающее его пространство оказалось без рудно-графитовой «пыли». Ее мы часто наблюдаем в рубиноносных породах и обрамляющих их темно-серых мраморах (рис. 3, 4а).

Повышение прозрачности самоцвета возрастает с уменьшением количества минералов в составе залежей и во вмещающих мраморах [11], поэтому самой промышленно ценной является четвертая минеральная ассоциация (рис. 3).

Выводы

1. На основе парагенетического анализа [7], проведенного с минералами рубиноносных залежей, залегающих внутри мраморов месторождения Снежное, нами выделены четыре группы пород. Три из них по преобладающему минералу разделены на серии: плагиоклазовую, скаполитовую и слюдитовую, а четвертая группа — мономинеральная рубиновая. В их составе установлено 16 парагенезисов: двух-, трех- и четырехминеральных.

2. Разнообразие и неравномерное проявление парагенезисов определяются изменчивым химическим составом протолита (бокситоподобного осадка), метаморфогенное преобразование которого привело к возникновению месторождения Снежное.

3. Использование парагенетического анализа для исследования метаморфогенного месторождения рубина получило эффективный результат, проверенный на конкретных объектах: рубиноносных залежах Снежного и других. Полученные материалы могут быть использованы при поисках и разведке новых месторождений в контурах мраморов музкольской метаморфической серии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бархатов Б.П. Тектоника Памира. Л.: ЛГУ, 1963. 241 с.
2. Буданова К.Т. Метаморфические формации Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1991. 336 с.
3. Буданов В.И. Эндогенные формации Памира. Душанбе: Дониш, 1993. 299 с.
4. Геологическая карта Таджикской ССР и прилегающих территорий. Масштаб 1:500 000. Под редакцией Н.Г. Власова, Ю.А. Дьякова, Е.С. Черева. М.: ВСЕГЕИ, 1989.
5. Глебовицкий В.А., Седова И.С., Дюфур М.С. Эволюция метаморфических поясов альпийского типа. Л.: Наука, 1981. 304 с.
6. Дмитриев Э.А. Типы корундовой минерализации в докембрийских мраморах Музкол-Рангкульского антиклинория. Геология, поиски и разведка цветных камней Таджикистана. Душанбе: Дониш, 1987. С. 34—36.
7. Коржинский Д.С. Теоретические основы анализа парагенезисов минералов. М.: Наука, 1973. 288 с.
8. Литвиненко А.К. Реконструкция бокситоподобных осадков в раннепротерозойских метаморфитах Центрального Памира. Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории Земли. Екатеринбург, 2008. Т. 1. С. 428—430.
9. Литвиненко А.К. Нуристан-Южнопамирская провинция докембрийских самоцветов. Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 4. С. 305—312.
10. Литвиненко А.К. Минерагенная драгоценных камней Нуристан-Южнопамирской провинции. Germany: Palmarium academic publishing, 2012. 325 с.
11. Литвиненко А.К., Насриддинов З.З. Геммологические свойства рубинов из месторождения Снежное, Центральный Памир. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2014. № 4. С. 22—26.
12. Литвиненко А.К. Геология месторождения рубина Снежное, Центральный Памир. М.: Горная книга, 2020. 103 с.
13. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. Под ред. Р.Б. Баратова. Душанбе: Дониш, 1976. 267 с.
14. Россковский Л.Н., Коноваленко С.И., Ананьев С.А. Условия образования рубина в мраморах. Геология рудных месторождений. 1982. № 2. С. 57—66.
15. Сорокина Е.С., Ожогина Е.Г., Якоб Д.Е., Хофтмейстер В. Некоторые особенности онтогенеза корунда и качество рубина месторождения Снежное, Таджикистан (Восточный Памир). Записки Всероссийского минералогического общества. 2012. № 6. С. 100—108.
16. Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A.E., Groat L., Fagan A.G. The geology and genesis of gem corundum deposits. In *Geology of Gem Deposits*, 2nd ed.; Groat L.A., Ed.; Mineralogical Association of Canada: Tucson, AZ, USA, 2014. P. 29—112.
17. Giuliani G., Groat L.A., Fallick A.E., Pignatelli I., Pardiou V. Ruby Deposits: A review and Geological Classification. *Minerals*. 2020. Vol. 10. P. 597—681. <https://doi.org/10.3390/min10070597>
18. Litvinenko A.K., Sorokina E.A., Häger T., Kostitsyn Y.A., Botcharnikov R.E., Somsikova A.V., Ludwig T.,

- Romashova T.V. and Hofmeister W. Petrogenesis of the Snezhnoe ruby deposit, Central Pamir. Minerals. 2020. Vol. 10. No. 478. P. 478—500. <https://doi.org/10.3390/min10050478>
19. Kissin A.J. Ruby and Sapphire from the Southern Ural Mountains, Russia. Gem & Gemmology. 1994. Vol. 30. No. 4. P. 234—252.
20. Sorokina E.S., Litvinenko A.K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z.Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. Gem & Gemmology. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 160—175. <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.51.2.160>
- ### REFERENCES
1. Barkhatov B.P. Tektonika Pamira (Tectonics of the Pamirs). Leningrad: LGU, 1963. 241 p. (In Russ.).
 2. Budanova K.T. Metamorphic Formations of Tadjikistan. Dushanbe: Donish, 1991. 336 p. (In Russ.).
 3. Budanov V.I., Endogenous Formations of Pamirs. Dushanbe: Donish, 1993. 299 p. (In Russ.).
 4. Geological map of the Tajik SSR and adjacent territories. Scale 1:500 000. Ed. by N.G. Vlasov. Moscow: VSEGEI, 1989 (In Russ.).
 5. Glebovitsky V.A., Sedova I.S., Dufour M.S. Evolution of metamorphic belts of the alpine type. Leningrad: Nauka, 1981. 304 p. (In Russ.).
 6. Dmitriev, E.A. Types of corundum mineralization in the Precambrian marbles of the Muzkol-Rangkulsy anticlinorium. In Proceedings on Geology and Prospecting of the Gemstone Deposits of Tajikistan; Klimkin, A.V., Ed.; Donish: Dushanbe, Tajikistan, 1987. P. 34—36 (In Russ.).
 7. Korzhinsky D.S. Theoretical foundations of the analysis of mineral paragenesis. Moscow: Nauka, 1973. 288 p. (In Russ.).
 8. Litvinenko, A.K. The reconstruction of bauxite-like sediments in the Early Proterozoic metamorphites of the Central Pamir. In Proceedings of the Materials of the 5th All-Russian Lithologic Conference “the Types of Sedimentogenesis and Lithogenesis and Their Evolution in the History of the Earth”, Ekaterinburg, Russia, 14–16 October 2008. P. 428—430 (In Russ.).
 9. Litvinenko A.K. Nuristan-South Pamir province of Precambrian gems. Geology of ore deposits. 2004. Vol. 46. No. 4. P. 305—312 (In Russ.).
 10. Litvinenko A.K. Mineragenia of precious stones of the Nuristan-South Pamir province. Germany: Palmarium academic publishing. 2012. 325 p. (In Russ.).
 11. Litvinenko A.K., Nasriddinov Z.Z. Gemological properties of rubies from the Snezhnoye deposit, Central Pamir. Proceedings of Higher Educational Institutions. Geology and exploration. 2014. No. 4. P. 22—26 (In Russ.).
 12. Litvinenko A.K. Geology of Snezhnoe Ruby Deposit, Central Pamirs. Moscow. Gornaya kniga, 2020. 103 p. (In Russ.).
 13. Dismemberment of stratified and intrusive formations in Tajikistan. Dushanbe: Donish, 1976. 267 p. (In Russ.).
 14. Rossovski L.N., Konovalenko S.I., Ananjev S.A. Conditions of ruby formation in marbles. Geology of ore deposits. 1982. No. 2. P. 57—66 (In Russ.).
 15. Sorokina E.S., Ozhogina E.G., Jacob D.E., Hofmeister W. Some features of corundum ontogeny and the quality of ruby from Snezhnoe deposit, Tajikistan (the Eastern Pamirs). Zapiski RMO (Proc. Russ. Mineral. Soc.) 2012. No. 6. P. 100—108 (In Russ.).
 16. Giuliani G., Ohnenstetter D., Fallick A.E., Groat L., Fagan A.G. The geology and genesis of gem corundum deposits. In Geology of Gem Deposits, 2nd ed.; Groat, L.A., Ed.; Mineralogical Association of Canada: Tucson, AZ, USA, 2014. P. 29—112.
 17. Giuliani G., Groat L.A., Fallick A.E., Pignatelli I., Pardieu V. Ruby Deposits: A review and Geological Classification. Minerals. 2020. Vol. 10. P. 597—681. <https://doi.org/10.3390/min10070597>
 18. Litvinenko A.K., Sorokina E.A., Häger T., Kostitsyn Y.A., Botcharnikov R.E., Somsikova A.V., Ludwig T., Romashova T.V. and Hofmeister W. Petrogenesis of the Snezhnoe ruby deposit, Central Pamir. Minerals. 2020. Vol. 10. No. 478. P. 478—500. <https://doi.org/10.3390/min10050478>
 19. Kissin A.J. Ruby and Sapphire from the Southern Ural Mountains, Russia. Gem & Gemmology. 1994. Vol. 30. No. 4. P. 234—252.
 20. Sorokina E.S., Litvinenko A.K., Hofmeister W., Häger T., Jacob D.E., Nasriddinov Z.Z. Rubies and Sapphires from Snezhnoe, Tajikistan. Gem & Gemmology. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 160—175. <http://dx.doi.org/10.5741/GEMS.51.2.160>

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Литвиненко А.К. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Andrey K. Litvinenko — developed the concept and prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Одинаев Ш.А. — внес вклад в обработку и анализ геолого-петрохимических данных и в создании графической информации, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sharifjon A. Odinaev — contributed to the processing and analysis of geological and petrochemical data and to the creation of graphical information, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Литвиненко Андрей Кимович* — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

e-mail: akl1954@yandex.ru

тел.: +7(916)655-08-08

SPIN-код: 6127-2320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

Andrey K. Litvinenko* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Professor of the Department of Minerology and Gemmology Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

e-mail: akl1954@yandex.ru

tel.: +7(916)655-08-08

SPIN-code: 6127-2320

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1779-5391>

Одинаев Шарифджон Ахтамжонович — кандидат геолого-минералогических наук, докторант Института геохимии Гуанчжоу Китайской академии наук; старший научный сотрудник, Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии Национальной Академии наук Таджикистана ул. Кехуа, г. Гуанчжоу 511, Китай

267, ул. Айна, г. Душанбе 734063, Таджикистан

e-mail: Sharif.Geolog@mail.ru

тел.: +86 13054495854

SPIN-код: 1174-3786

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8849-206X>

Sharifjon A. Odinaev — Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), PhD student of Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences; senior Research, Institute of geology, earthquake engineering and seismology, National Academy of Sciences of Tajikistan

Kehud Str., Guangzhou 511, China

267, Ayni str., Dushanbe 734063, Tajikistan

e-mail: Sharif.Geolog@mail.ru

tel.: +86 13054495854

SPIN-code: 1174-3786

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8849-206X>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author