

Санкт-Петербургский государственный университет

МИШЕНКОВА Ирина Николаевна

Выпускная квалификационная работа

Минералогия родонитовых пород Гагарского месторождения

(Средний Урал)

Магистратура

Направление *05.04.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *ВМ.5515.2017*

Профиль «Геммология и экспертиза камня»

Научный руководитель:
Заведующий кафедрой
минералогии, д. г.-м. н,
проф. А. И. Брусницын.

Рецензент: с. н. с.
Института минералогии
УрО РАН, к г.-м. н.
Жуков И. Г.

Санкт-Петербург
2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Родониты Урала.....	5
1.1 Общие сведения об уральском самоцвете — родоните	5
1.2 История открытия и изучения уральских месторождений родонита.....	6
1.3 География и геология месторождений родонита	10
Глава 2. Общие сведения о Гагарском месторождении	15
2.1 География и история изучения	15
2.2 Позиция месторождения в структурах региона	16
2.3 Геологическое строение месторождения.....	24
Глава 3. Петрография родонитовых пород Гагарского месторождения.....	25
Глава 4. Минералогия родонитовых пород Гагарского месторождения	32
4.1 Общие сведения	32
4.2 Характеристика минералов	34
Глава 5. Обсуждение результатов	52
Заключение	54
Список литературы	55
Приложения 1-2. Условные обозначения к геологической карте.....	58
Приложение 3. Минеральный состав родонитовых пород Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа	60
Приложения 4-18. Результаты рентгенофазового анализа.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Ювелирно-поделочный камень родонит (орлец) относится к традиционно уральским самоцветам. Родонитовые вазы и торшеры украшают залы известных музейных экспозиций Эрмитажа, Павловского дворца, Московского Кремля. Изготовленные из яркого розового или малинового орлеца ювелирные украшения и предметы декоративно-прикладного искусства неизменно пользуются спросом у любителей камня и по сей день.

Основным источником родонита в нашей стране служат месторождения Среднего Урала, расположенные в окрестностях Екатеринбурга. Исторически первым было открыто и разрабатывалось Малоседельниковское месторождение поделочного родонита. Своей неповторимой сочной арбузно-малиновой окраской орлец прекрасно дополнил цветовую гамму уже известных к XVIII веку русских самоцветов: синего байкальского лазурита, ярко-зеленого гумешевского малахита, желтой, коричневой и пестрой южноуральской яшмы.

Гагарское месторождение родонита было открыто в 1874 г. крестьянами из с. Белоярского. В 1878 г. проведена разведка месторождения горными инженерами Екатеринбургской гранитной фабрики, которые пришли к заключению, что «здесь орлец по своему сложению, цвету и способности принимать палитру не уступает орлецу из деревни Малой Седельниковой». Но про Гагарское месторождение скоро забыли, так как родонита Малоседельниковского месторождения хватало для нужд фабрики.

Родонит Гагарского месторождения до недавнего времени не вызывал должного интереса специалистов-минералогов. Основное внимание исследователей было направлено на выявление особенностей геологического строения и петрографии родонитовых месторождений. Минералогия же данных объектов, оставалась слабоизученной, и многие аспекты их генезиса остаются дискуссионными.

Данная работа имеет целью изучение минералогии родонитовых пород современными аналитическими методами с целью восполнения пробела в вопросах минералогического состава марганцевых пород Гагарского месторождения, образованных в условиях амфиболитовой фации метаморфизма и сопоставление полученных данных с минералогией других родонитовых месторождений Среднего Урала, для того чтобы установить сходство или различие родонитовых пород, образованных в условиях зеленосланцевой и амфиболитовой фаций метаморфизма.

Задачами исследования являлись:

1. Изучение материалов работ предыдущих исследователей.
2. Петрографическое описание родонитовых пород Гагарского месторождения.
3. Диагностика главных, второстепенных и акцессорных минералов родонитовых пород Гагарского месторождения современными аналитическими методами.
4. Обобщение и интерпретация полученных данных о минералогии родонитовых пород.
5. Сопоставление полученных данных с данными о минералогии других родонитовых месторождений Среднего Урала, для того чтобы установить сходство или различие родонитовых пород, образованных в условиях зеленосланцевой и амфиболитовой фаций метаморфизма.

При исследовании использовался комплекс методов: оптическая микроскопия в проходящем свете, электронная микроскопия, порошковый рентгенофазовый анализ.

Изучение 10 плоскополированных шлифов проводилось с помощью оптического микроскопа на кафедре минералогии СПбГУ.

Исследование химического состава минералов выполнено методами количественного и полуколичественного анализа. Количественный анализ выполнен на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N в ресурсном центре «Геомодель» Научного парка СПбГУ. Полуколичественный анализ был выполнен на настольном растровом электронном микроскопе-микроанализаторе Hitachi TM 3000 в образовательном ресурсном центре микроскопии и микроанализа Научного парка СПбГУ. В качестве исследуемого материала использовались прозрачные полированные шлифы с углеродным напылением.

Рентгенофазовый анализ проводился на дифрактометре Rigaku «MiniFlex II» в ресурсном центре «Рентгенодифракционные методы исследования» Научного парка СПбГУ. Пробы для анализа были отобраны с помощью алмазного бура и растерты в порошок в агатовой ступке. Используемое излучение — $\text{CuK}\alpha$, режим работы рентгеновской трубки — 30 кВ, 15 мА. Условия съемки: скорость $2^\circ/\text{мин}$, шаг съемки $0,02^\circ$, диапазон углов сканирования 2θ 3° - 70° . Обработка и количественный фазовый анализ полученных дифрактограмм производилась с помощью пакета программ PDXL.

Работы проведены с использованием аналитических возможностей ресурсных центров СПбГУ «Геомодель», «Микроскопии и микроанализа» и «Рентгенодифракционные методы исследования».

ГЛАВА 1. РОДОНИТЫ УРАЛА

1.1 Общие сведения об уральском самоцвете — родоните

Родонит — известный поделочный камень розово-красного цвета — относится к традиционно уральским самоцветам. На территории нашей страны впервые найден на Среднем Урале, в окрестностях Екатеринбурга в середине XVIII века. Долгое время родонит был известен под названием «орлец». Свою популярность «орлец» завоевал благодаря яркому малиновому оттенку, а также мягким сочетаниям и цветовым переходам розовых, бурых и серых окрасок, часто разделенных черными прожилками.

Первое упоминание в специальной литературе об уральском «орлеце» датируется 1798 годом. В своих «Первых основаниях минералогии или естественной истории ископаемых тел» академик В. М. Севергин пишет об орлеце: «алой, прекрасную палитру принимающий, просвечивающий с черными марганцевыми дендритами», встречающийся в Екатеринбургском округе. Он отнес «алой орлец» к разновидности «красного марганца» (Брусницын, 2000)

Термин «родонит» (от греч. ροδον — роза) появился в 1819 г. в работах немецкого минералога Яше. Уральский минерал впервые был определен как родонит другим немецким ученым, Густавом Розе, опубликовавшем в 1837 году в Берлине свои дневниковые записи в виде двухтомной монографии «Минералогическо-геогностическое путешествие по Уралу, Алтаю и Каспийскому морю». Таким образом, лишь спустя 40 лет после обнаружения уральский «орлец» обрел привычное для нас название в трактате немецкого минералога. (Брусницын, 2000)

Используя термин «родонит», надо различать родонит как минерал, представляющий собой цепочечный силикат марганца $\text{CaMn}_4(\text{Si}_5\text{O}_{15})$, и родонит как породу или точнее, моно- или полиминеральный агрегат, от скрытокристаллической до крупнозернистой структуры, образуемый ассоциацией минералов: кварца, родонита, спессартина, тефроита, родохрозита и других марганцовых минералов. В природных условиях обычно находится в виде сплошных плотных или зернистых агрегатов, кристаллы встречаются редко.

Родонит известен благодаря большому количеству камнерезных изделий, изготовленных из него. Первые изделия из твердых пород и минералов появились в 20-х годах XVIII века на Урале. Из малахита, родонита, яшмы, агатов были изготовлены

искусно выполненные «горки» минералов, натюрморты, накладки из камней. Вырезывание фруктов и ягод из разных твердых минералов и пород — так называемая объемная мозаика — было особой специальностью екатеринбургских кустарей. (Голомзик, 1983)

Популярны были и малые архитектурные формы. Родонитовые вазы и торшеры украшают залы Эрмитажа и Павловского дворца, Московского Кремля и других ансамблей. (Брусницын, 2000)

Камень широко применялся придворной ювелирной фирмой Фаберже. Из родонита изготавливались различные небольшие декоративные изделия: шкатулки, пепельницы, пресс-бювары, которые можно встретить в частных коллекциях. Изготовленные из яркого розового или малинового орлеца ювелирные украшения неизменно пользуются спросом.

Одно из предназначений камня — использование его для увековечения человеческой памяти о выдающихся людях, близких, друзьях. Родонит, сочетающий розово-красный и черный тона, больше чем любой другой камень соответствует траурной символике. В Петропавловском соборе находится саркофаг императрицы Марии Александровны (жены императора Александра II), изготовленный камнерезами Екатеринбургской и Петергофской гранильных фабрик из монолита родонита массой 45,6 тонн. (Голомзик, 1983)

Еще одно направление применения уральских самоцветов - использование их как средства художественного оформления общественных зданий и сооружений. Примером может служить созданный советскими архитекторами и художниками интерьер станции «Маяковская» Московского метрополитена. Пластинами прекрасного малинового орлеца отделаны колонны на платформе станции — камень великолепно гармонирует с серо-алмазным блеском стальных колонн. В пилонах станции сосредоточена самая богатая в мире коллекция уральского родонита — камни всех возможных сочетаний цветов и их интенсивности демонстрируют художественные особенности этого представителя царства минералов.

1.2 История открытия и изучения уральских месторождений родонита

Начало развития камнерезного дела на Урале было вызвано общим подъемом жизни российского государства в царствование Петра I. В 1720 году В. Н. Татищев, который считается основоположником казенной горнодобывающей уральской промышленности, получил поручение отправиться «в Сибирской губернии на Кунгуре и в прочих местах, где обшщутся удобные места, построить заводы и из руд серебро и медь

плавить». В том числе под руководством Татищева велись поиски драгоценных и поделочных камней. Царь задался целью не только поднять хозяйство и мощь России, но и продемонстрировать этот подъем художественными способами. Было решено украсить новую столицу Санкт-Петербург всеми возможными средствами, и в первую очередь монументальными сооружениями, прекрасными зданиями, палаты которых следовало убирать цветными камнями.

Но для того чтобы воздвигать колонны и обелиски, вырезать из цветного камня детали каминов, облицовывать каменными плитами стены дворцов и зданий и украшать их канделябрами и вазами, требовалось создать настоящую культуру камня. (Голомзик, 1983)

С сороковых годов XVIII века начинается подъем русского прикладного искусства, связанный с началом царствования Елизаветы Петровны, известной своей любовью к роскоши и блеску и стремящейся удивить Европу богатством русского двора. В архитектуре и строительстве, для облицовки и украшения интерьера стал использоваться природный камень. Особенно богато украшались царские резиденции и дворянские особняки. Для удовлетворения спроса на цветной камень были собраны поисковые экспедиции в различные уголки Российской Империи, в том числе и на Урал, ведь камень для облицовки фасадов и изготовления декоративных изделий должен быть непременно русский для подчеркивания богатства страны.

Для того чтобы не перевозить камень на дальние расстояния и обрабатывать его вблизи мест добычи в 1751 году в Екатеринбурге была основана гранильная фабрика, которая должна была разгрузить мастеров Петергофа. С этого момента все месторождения уральских самоцветов были переданы под управление Екатеринбургской гранильной фабрики, и сырье добывалось в соответствии с ее потребностями.

В 1765 году Екатерина II издала указ о создании экспедиции «для сыскивания разных сортов камней» и «дабы тамошние жители, какого б звания ни были, ежели знают или сыщут хорошие камни разных видов, в употребление годные, в таких местах Российской империи, кои еще донныне не сведомы», сообщали об этом. За это обещалось денежное вознаграждение. Так появилось множество месторождений, первооткрывателями которых были местные жители.

Принято считать, что уральский цветной камень вошел в русское прикладное искусство и архитектуру в 70-80х годах XVIII века. К этому времени разведано немало месторождений самоцветов и организована их пусть и не систематическая добыча.

Первое упоминание об уральском орлеце содержится в «Описи месторождений цветных камней по Уралу 1792-1797 гг.», хранящейся в Государственном архиве

Свердловской области (Голомзик, 1983). В этом документе, в частности, сообщается, что крестьянином дер. Седельниковой Никитой Партиным управляющему Екатеринбургской гранильной фабрики заявлен «шпат или орлец малинового цвета с черными железистыми прожилками и пятнами, изредка желтыми». Находка была сделана «при сосновом и березовом лесу на ровном месте» близ дер. Малой Седельниковой, расположенной в 27 верстах к югу от Екатеринбурга. Так было открыто знаменитое ныне Малоседельниковское месторождение, которое более 150 лет было единственным в России разрабатываемым месторождением поделочного родонита. (Брусницын, 2000) Месторождение отрабатывалось тремя небольшими карьерами (Большая и Малая Орлецовые копи и Орлецовая яма), работы на которых проводились не постоянно, а лишь по мере необходимости в орлеце. При этом, согласно указанию петербургского начальства, мастеровые старались извлекать камень бережно и как можно в больших кусках, для чего расчистку залежей проводили вручную и лишь в особо редких случаях использовали пороховые взрывы. Малоседельниковское месторождение долгое время перекрывало потребности гранильной фабрики в орлеце, поэтому в поиске и разведке новых месторождений не было нужды.

К началу XX века уже упоминается о находках орлеца около деревень Бородулиной и Курганово, в районе современного Александровского рудопроявления, под Верх-Нейвинским заводом и на Южном Урале (Кусимовский рудник). (Аринштейн и др., 1986)

Таким образом, во второй половине XIX — начале XX в. на Среднем Урале были открыты еще четыре родонитовых месторождения Гагарское (Баженовское), Александровское, вблизи деревень Курганово и Бородулино. И хотя, по свидетельству очевидцев, самоцвет вновь открытых месторождений был «весьма хорош», тогда эти находки не привлекли к себе значительного внимания, поскольку запасы и качество малоседельниковского камня вполне удовлетворяли собственника и основного потребителя уральского орлеца – русский императорский двор. Поэтому все четыре месторождения были в свое время «забыты» и «утрачены». (Брусницын, 2000)

В XIX и начале XX веков геологическое изучение района связано с именами Александра Гумбольдта, Родерика Мурчисона, академика А. П. Карпинского. После 1917 г. интерес к родониту значительно снизился, и примерно до 30-х годов его добывали нерегулярно и в небольшом количестве, применяя главным образом для мелких поделок. В советское время появилась первая геологическая карта района. Опубликованы монографии В. И. Станкевича и А. Г. Бетехтина, посвященные марганцевым месторождениям, с которыми связаны орлецовые тела. Началась планомерная геологическая съемка, геофизические исследования.

В предвоенные годы и во время Великой Отечественной войны поделочный родонит не добывался, так как значительный интерес представлял марганец как компонент высокосортной броневой стали. На Среднем Урале поисково-оценочными работами на марганец руководили Н. Елишевич (1918), М. Гордиенко (1928, 1931), К. Власов и Е. Кутукова (1938), А. Водяников и Е. Кожевников (1941, 1942), Ю. Асанов (1945). Тогда в ходе ревизии известных проявлений марганцевой минерализации реликты родонита были установлены на Октябрьском и Афанасьевском месторождениях, дополнительно были обследованы окрестности деревень Малой Седельниковой, Курганово, Бородулино, а также район Александровского месторождения. Поскольку искали необходимые для металлургии оксидные марганцевые руды, карбонатно-силикатные залежи (родонитовые породы) остались нетронутыми. Тем ни менее они были зафиксированы в геологических отчетах и единичных научных публикациях, а в дальнейшем, в 1950-1980-х годах, послужили отправными точками при поисках месторождений поделочного орлеца.

Новая страница в истории уральского родонита начинается в середине 1950-х годов, когда резко возросла необходимость в самом разнообразном камнесамоцветном сырье. Основные работы были сосредоточены на трех наиболее крупных месторождениях: Малоседельниковском, Кургановском и Бородулинском. В период с 1955 по 1989 г. геологами Уральского ТГУ, а затем ПГО «Уралкварцсамоцветы» было проведено систематическое изучение районов с известной ранее родонитовой минерализацией. В этот период были, по сути дела, заново открыты и разведаны Кургановское, Бородулинское, Октябрьское и некоторые другие месторождения. Впервые было проведено детальное исследование Малоседельниковского месторождения (Г. Скворцов, 1955-1956; Л. Семенов, 1959-1960; А. Голдобин, 1961-1962 и 1970-1972; Исетская ГРП, 1971-1976 и 1982-1985; М. Аринштейн, 1973-1980; А. Серков, 1984-1989). Надо отдать справедливость уральским геологам — они мастерски сделали свое дело: месторождения были найдены и разведаны, выявлены важнейшие закономерности геологии, петрографии и генезиса поделочных родонитовых пород. (Брусницын, 2000) В результате признаны перспективными и заслуживающими дальнейшего изучения Горнощитская группа проявлений (Горнощитское, Дмитриевское и Змеиногорское), а также Афанасьевское, Бородулинское — I и II, Октябрьское, Полдневское, Александровское и Барановское проявления.

Но вместе с тем в эпоху социалистической экономики индустрия цветного камня развивалась по тем же правилам, что и отрасли черной металлургии. План на самоцветное сырье выдавался тоннами, существовали жесткие ГОСТы на качество добываемой «продукции» (по которым, кстати, орлец из залов Эрмитажа оказался бы браком), при

работе широко использовались взрывы, нередко переводившие высококачественное сырье в цветную щебенку. В результате такой деятельности запасы среднеуральского родонита были в значительной мере исчерпаны. (Брусницын, 2000)

В настоящее время Малоседельниковское месторождение считается выработанным, оставшиеся несколько десятков тонн родонита нерентабельны для добычи. Однако государственным балансом запасов учтены запасы 4 среднеуральских месторождений родонита: Малоседельниковского, Кургановского, Бородулинского и Октябрьского, всего около 2 000 т сортового родонита. (Государственный баланс..., 2018)

1.3 География и геология месторождений родонита

Всего на Среднем Урале известно 11 родонитовых месторождений и проявлений (рис. 1). Помимо этого, родонит обнаружен на Южном и Приполярном Урале.



Рис. 1 Схема размещения месторождений родонитовых пород на Среднем Урале. (Брусницын, 2000). Номера на схеме: 1 – Малоседельниковское, 2 – Кургановское, 3 – Бородулинское-1, 4 – Бородулинское-2, 5 – Афанасьевское, 6 – Октябрьское, 7 – Дмитриевское, 8 – Горнощитское, 9 – Змеиногорское, 10 – Гагарское, 11 – Александровское.

На Южном Урале выявлены многочисленные месторождения родонита: Кожаевское, Тунгатаровское, Уразовское, Южно-Файзулинское, Кызыл-Таш, Кожаевское и другие. В отличие от среднеуральского южно-уральский родонит залегает в кварц-гематитовых породах яшмовой формации и часто непосредственно связан с яшмами. Например, в Южно-Файзулинском месторождении наряду с родонитом присутствуют

пироксмангит, родохрозит, гаусманит, кариопилит, тефроит, риббеит и кварц.

В республике Коми, на Полярном Урале между месторождениями Пай-Ёр и Рай-Из открыто Тышорское месторождение родонита. На Приполярном Урале на р. Парноко-Ю, левом притоке р. Лемвы, открыто Парнокское месторождение родонита и родохрозита. Здесь, в родохрозите встречаются прожилки с кристаллами родонита размером до 4 см.

Родонитовые породы Приполярного и Южного Урала имеют более низкую степень метаморфизма и более блеклый, нежно-розовый оттенок, по сравнению со среднеуральским. Всего на Урале насчитывается около 25 месторождений и проявлений орлеца. (Аринштейн и др., 1986; Буканов, 2008)

Месторождения родонита на Урале не являются уникальными, похожие по геологическому строению месторождения встречаются и в других регионах (рис. 2). Родонит хорошего качества добывается в Австралии (шт. Новый Южный Уэльс) месторождения Данглемах, Брокен Хилл. В США наиболее известны родониты калифорнийских месторождений Уиллер, ранчо Уорда и Розомонд.

На Уральских месторождениях не встречаются крупные кристаллы или друзы родонита, какие можно встретить, например, на месторождении Брокен Хилл, однако уральский родонит отличается высокой плотностью из-за скрытокристаллической структуры родонитовых пород. (Киевленко, Сенкевич, 1983)

В России родонит, кроме того, обнаружен на Енисейском кряже, Забайкальском крае и на Дальнем Востоке в Приморье.

На Украине, на границе Черновицкой и Ивано-Франковская обл., родонит-родохрозитовая порода встречается на Прилуцком (Прилукском) месторождении. Прилуцкое (Прилукское) — это крупнейшее украинское месторождение родонита. Оно находится в мезо-палеозойских породах Чивчинских гор Мармарошского массива Карпат. Родонит на месторождении малинового цвета, встречается в виде мелких зёрен, гнёзд и прожилков. Запасы кондиционного сырья составляют 668 тонн, а общие запасы родонит-содержащих пород – 15910 тонн.

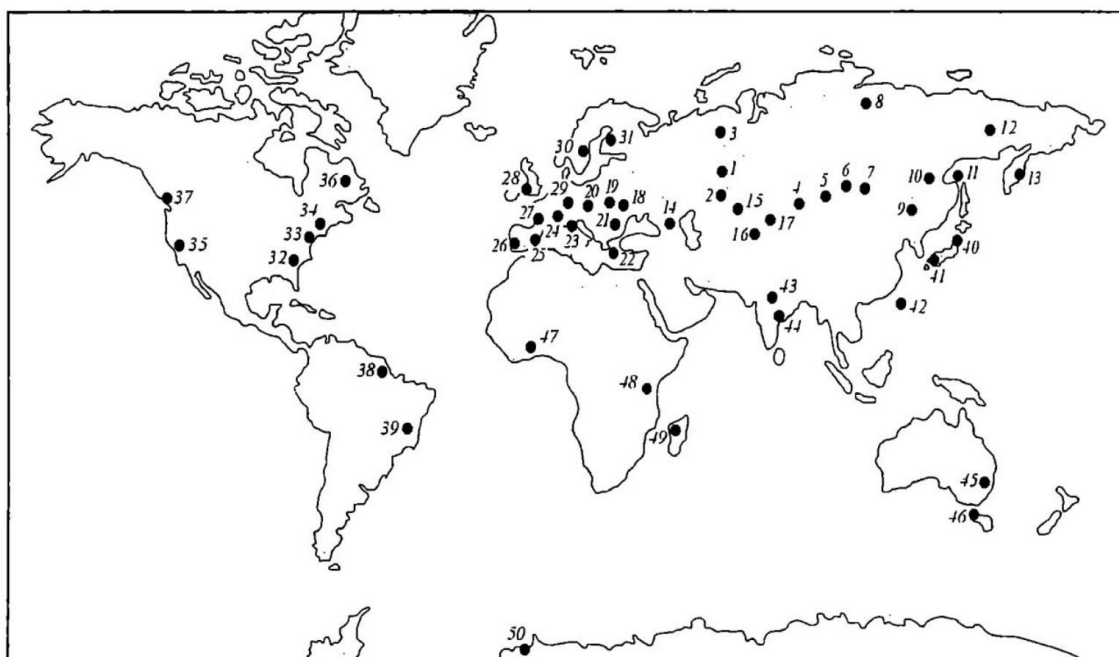


Рис. 2 Месторождения родонитовых пород (Брусницын, 2000). Номера на схеме: 1—14 — Россия: 1— Бородулинское и др. (Ср.Урал), 2— Кызыл-Таш и др. (Южный Урал), 3 — Парнокское (Пол. Урал), 4 — Чекмарь (Руд. Алтай), 5 — Хадыпскос (Тува), 6 — Большегрмячинское, 7 — Икатское (Забайкалье), 8 — м-е Анабарского массива, 9— м-е Малого Хингана, 10— Джагдинское, 11— Шантарское, 12 — Хаканджинское, 13 — Корель, 14 — м-е Северного Кавказа, 15 — Караджал и др. (Казахстан); 16— Султан-Уиз-Даг (Узбекистан); 17— м-е хребта Иныльчск (Киргизия); 18— Прилуцкое (Украина); 19—Быстрый Поток (Словакия); 20— Свалетике (Чехия); 21— Глоу-Рэу (Румыния); 22— Рнза-Вори (Греция); 23— Валь-Гравеглия (Италия); 24— Валь-Скерцен (Швейцария); 25— м-я Каталонии (Испания); 26— Соловьери (Португалия); 27 — м-я Верхних Пиреней (Франция); 28— Трсыборланд (Англия); 29 — м-я Гарца (Германия); 30— Лонгбан и др. (Швеция); 31 — Витгинке (Финляндия), 32— 35 — США: 32 — Балд Киоб, 33 — Франклин и др., 34 — м-я штата Массачусетс, 35 — Вильям Лейк; 36 и 37— Канада: 36— Вабуш, 37— м-я острова Ванкувер; 38 и 39 — Бразилия: 38— м-я территории Амапа, 39— Лафаете и др.; 40 и 41— Япония: 40 — Надо Тамагава и др., 41 — Фукумаки и др.; 42— Сантзан Ривер (Тайвань); 43 и 44 — Индия: 43— Саусар и др., 44— Визианагар и др.; 45— Хоскинс и др. (Австралия); 46— м-я острова Тасмания; 47— Биримская система (Кот-д'Ивуар); 48— Дагасета (Танзания); 49 — м-е острова Мадагаскар; 50 — м-с гор Радан (Антарктида).

В Таджикистане известно полиметаллическое месторождение Алтын-Топкан с линзами родонитовых скарнов нежно-розового цвета от содержащихся в них прожилков и сферолитов родонита.

В Финляндии на месторождении Симсио родонит добывался из линз в родонитовых кварцитах, а также попутно на руднике Виттинга как виттингит. В Швеции, в области Верmland, на руднике Лонгбан родонит находили в скарнах, а на месторождении Харстиг, у Пайсберга, в виде кристаллов ювелирного качества.

В Танзании, на северо-востоке страны в районе горы Килиманджаро, в 1960-е гг.

открыто россыпное месторождение Дагазета с прекрасным поделочным родонитом, с выходом полупрозрачного ювелирного сырья. Кроме того, родонит добывался здесь на руднике Чамбонго. На Мадагаскаре, на юге острова у Ампанихи, известно месторождение Безоза с высококачественным родонитом.

В Японии, поделочный родонит и пригодные для огранки его кристаллы, находили в метаморфизованных марганцевых месторождениях Таки, Куиси, Фукумаки и руднике Нода-Тамагава, префектура Ивате.

Хороший родонит поступает на мировой рынок из Австралии (штат Новый Южный Уэльс). Наиболее известны эксплуатирующиеся месторождения Данглемах и Брокен-Хилл. На месторождении Данглемах линза родонита залегает в кремнисто-сланцевой толще. На полиметаллическом Pb-Zn месторождении Брокен-Хилл, наряду с зернистыми массами жильного родонита, встречаются прозрачные его кристаллы красного цвета размером до 7 см.

В США, в Нью-Джерси, на месторождениях Стерлинг-Хилл и Франклин, в окрестности Сассекс, в скарнах встречается фоулерит в виде крупных ярко-розовых пластинчатых кристаллов размером до 20x5 см. В Калифорнии, на месторождении Розамонд, округ Лос-Анжелес и в Массачусетсе на месторождении Куммингтон (Плэнфилд) родонит розового и малиново-красного цвета в блоках до 400 кг добывался из россыпей. В Нью-Мексико родонит обнаружен в скарнах на месторождениях Принцесс и Стар, район Гранте. На юго-западе Аляски, в заливе Сильвер-Бей на о. Бараноф, в районе Ситки, родонит найден в золотоносной кварцевой жиле.

В Бразилии месторождения родонита имеются в штате Амапа и Минас-Жерайс, где наряду с поделочным родонитом встречаются его прозрачные кристаллы. Найденные в Перу друзы пластинчатых кристаллов родонита до 6 см известны как прекрасный коллекционный материал. (Киевленко, Сенкевич, 1983; Буканов, 2008)

Промышленно-генетические типы. Месторождения ювелирно-поделочного родонита связаны с известковыми скаRNAми, а также с некоторыми гидротермальными образованиями, несущими золото-серебряную и свинцово-цинковую (полиметаллическую) минерализацию. На таких месторождениях родонит извлекается попутно с рудами металлов. Основным источником ювелирно-поделочного родонита служат метаморфизованные вулканогенно-осадочные месторождения марганца, находящиеся среди кремнисто-сланцевых пород. Практическое значение иногда имеют элювиально-делювиальные россыпи родонита. Хотя родонит во вторичном залегании быстро разрушается, в районах без развитых кор химического выветривания возможно формирование крупноглыбовых элювиальных и элювиально-делювиальных россыпей-

развалов, в которых сохраняются только плотные камни высокого качества, так как монолитные глыбы родонитовых пород покрыты окисленной коркой, предохраняющей их внутреннюю часть от дальнейшего выветривания (табл. 1).

Таблица 1. Промыленно-генетические типы месторождений ювелирно-поделочного родонита (по Киевленко, Сенкевичу, 1983 с уточнениями)

Генетический класс	Тип месторождения	Промышленное значение	Примеры месторождений
Скарновый	В известковых родонитоносных скарнах	Небольшое. Попутная добыча с рудами полиметаллов	Алтын-Топкан (Таджикистан), Центральный рудный район (шт. Нью-Мексико, США), копи Франклин (шт. Нью-Джерси, США)
Гидротермальный поствулканический	В кварцевых жилах серебряно-золоторудной формации	Небольшое	Сильвер-Бей (шт. Аляска, США), Брокен-Хилл (шт. Новый Южный Уэльс, Австралии)
Метаморфогенный	В метаморфизованных вулканогенно-осадочных породах	Большое. Основной источник ювелирно-поделочного родонита	Малоседельниковское и др. месторождения на Среднем Урале (Россия), Данглемах и др. (Австралия), Уилер, Ранчо Уорда (шт. Калифорния, США), Индия
Россыпей	Элювиально-делювиальные россыпи	Отрабатываются совместно с коренными месторождениями	Розомонд (шт. Калифорния, США), Куммингтон (шт. Массачусетс, США), Танзания

ГЛАВА 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГАГАРСКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

2.1 География и история изучения

Гагарское месторождение (другие названия Баженовское, Черемшанское, Усть-Черемшанское, Пушкархинское) расположено на восточном склоне Среднего Урала в Свердловской области, в 40 км восточнее г. Екатеринбурга. В административных границах городского округа Заречный, на берегу от Белоярского водохранилища (р. Пышма). В отдалении от основной группы среднеуральских родонитовых месторождений. Гагарское месторождение сильно залесено и не имеет естественных обнажений. Рельеф района низкорослый, слегка всхолмленный. Средняя высота над уровнем моря 230-290 м.

Первое упоминание о находке самоцветов в указанном районе относится к 1874 году, когда на Екатеринбургскую фабрику пришли белоярские крестьяне и рассказали, что при поисках хромистого железняка они наткнулись на выходы орлеца, образцы которого и принесли с собой, причем камни оказались отличного качества. Показали крестьяне и место находки: около речки Пушкархи — правого притока Пышмы, неподалеку от деревень Гагарской и Курманки.

Первая разведка Гагарского месторождения не принесла особых результатов. Сделали только несколько неглубоких раскопов и, не обнаружив значительных запасов камня, дальнейшую работу прекратили. Так как потребности Екатеринбургской гранильной фабрики с лихвой покрывались камнем, поступавшим из ломок Малоседельниковского, месторождения, развернуть поисковые работы в новом районе из-за скудности средств не удалось. Был лишь пройден слой богатого слюдой песка на глубину около двух метров до толщи плотных пород. Значительных запасов орлеца не нашли и работы прекратили, не сделав никаких сообщений о новом месторождении.

Спустя три с половиной года сюда пришла партия рабочих из 12 человек. Расчистили самые глубокие ямы, расширили поисковую канаву и проникли в слой плотных пород. Через неделю работы руководитель партии Г. Г. Лебедев делает вывод: «Здесь орлец по своему сложению, цвету и способности принимать политуру не уступает орлецу из деревни Малой Седельниковой». (Голомзик, 1983; Аринштейн и др., 1986; Брусницын, 2000)

По данным местных жителей, в XIX веке это месторождение разрабатывалось на родонит как самоцвет (орлец). Затем оно было забыто и только в 1937 году после

длительных поисков было вновь найдено. (Власов, Кутукова, 1940)

В 1970-х годах геологами ПГО «Уралкварцсамоцветы» месторождение признано неперспективным на ювелирно-поделочное сырье. (Брусницын, 2000) В 1976-1978 гг. на Гагарском месторождении проводились поисково-оценочные работы. По их результатам сделан вывод о небольшом размере родонитового тела и отсутствие оруденения на глубине, что относит его к неперспективным. Однако, в минералогическом плане, наоборот, проявление представляет интерес, поскольку залегает в толщах претерпевших более высокую степень метаморфических преобразований, нежели другие среднеуральские месторождения родонита детально исследованные в работе А. И. Брусницына «Родонитовые месторождения Среднего Урала». (Прибавкин и др., 2016)

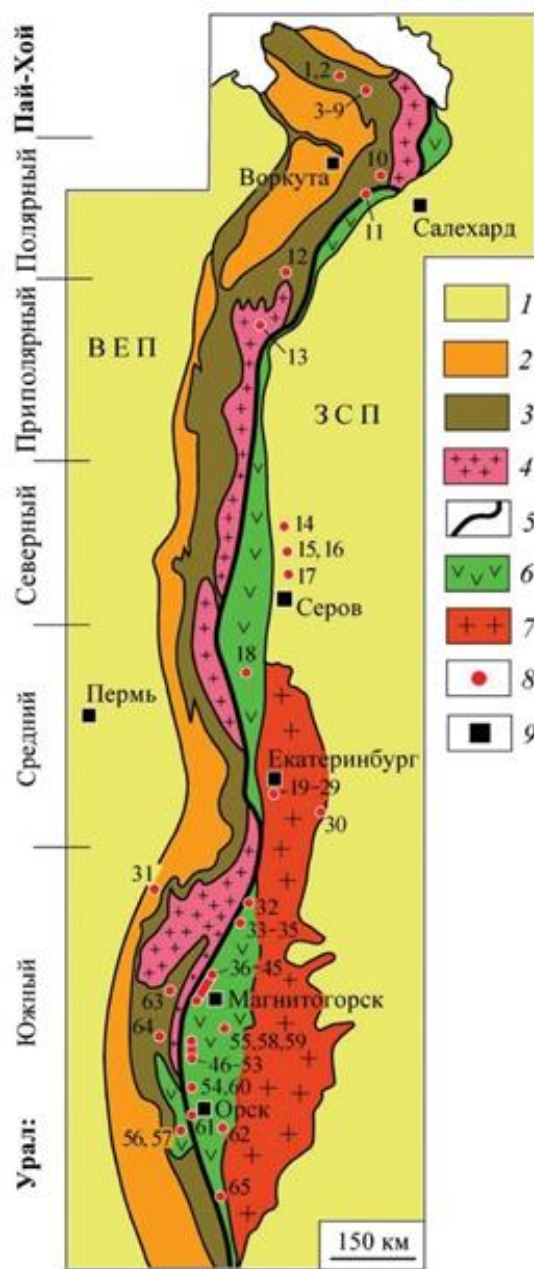
2.2 Позиция месторождения в структурах региона

Гагарское месторождение, как и другие среднеуральские месторождения родонита, расположено в Восточно-Уральской зоне Уральской складчатой системы. Согласно современным представлениям, Уральский складчатый пояс образовался в ходе развития подвижной области, заложенной на докембрийском фундаменте в кембрии–ордовике, стабильно развивавшейся в ордовике-девоне и деформированной в период карбон-триасовой коллизии. Пояс имеет зональное строение (рис. 3). В нём выделяются два крупных сектора – Западный, палеоконтинентальный, и Восточный, палеоокеанический.

Западный сектор является фрагментом пассивной окраины Восточно-Европейского палеоконтинента.

Восточный сектор представляют собой фрагменты активной палеоконтинентальной окраины, сочетающей в себе формации океанического дна, энсиматических островных дуг, междуговых бассейнов и блоков микроконтинентов. Восточный сектор состоит из Тагило-Магнитогорской зоны, в строении которой преобладают палеозойские островодужные вулканы и вулканогенно-осадочные породы; и Восточно-Уральской зоны, представляющей собой чередование поднятых массивов метаморфических пород докембрия (микроконтинентов) и прогибов, выполненных вулканогенными и осадочными толщами силура–девона, аналогичными по составу породам Тагило-Магнитогорской мегазоны. Кроме того, здесь широко развиты пермские интрузии гранитоидов.

Границей между западным и восточным секторами служит Главный уральский разлом – падающий на восток крупный надвиг (сутура), трассирующийся массивами офиолитов и меланж-олистоострововыми комплексами. (Брусницын и др., 2016)



- 1 – чехол Восточно-Европейской платформы (ВЕП) и Западно-Сибирской плиты (ЗСП);
- 2–7 – структурно-формационные (палеогеодинамические) зоны:
 - 2 – Предуральский краевой прогиб (молассовая формация),
 - 3 – Западно-Уральская зона (осадочные формации пассивной континентальной окраины),
 - 4 – Центрально-Уральская зона (основание складчатой системы: метаморфогенные формации),
 - 5 – Главный Уральский глубинный разлом (офиолитовая формация),
 - 6 – Тагило-Магнитогорская зона (вулканогенные формации океанической коры и островодужных систем),
 - 7 – Восточно-Уральская зона (метаморфогенные формации микроконтинетов, островодужные вулканыты, орогенные интрузивы);
- 8 – месторождения марганцевых пород;
- 9 – города.

Рис. 3 Схема геологического строения Урала и размещения главных месторождений марганцевых пород Урала. (Брусницын и др., 2016)

На Среднем Урале вмещающими для родонитовых пород являются метаморфизованные вулканогенно-осадочные толщи, прорванные верхнепалеозойскими интрузивами основного и кислого составов (рис. 4 и 5).

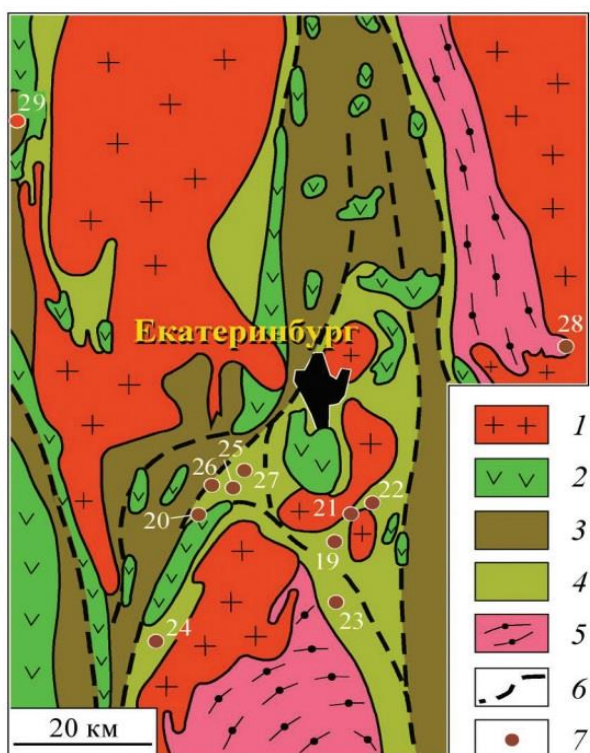
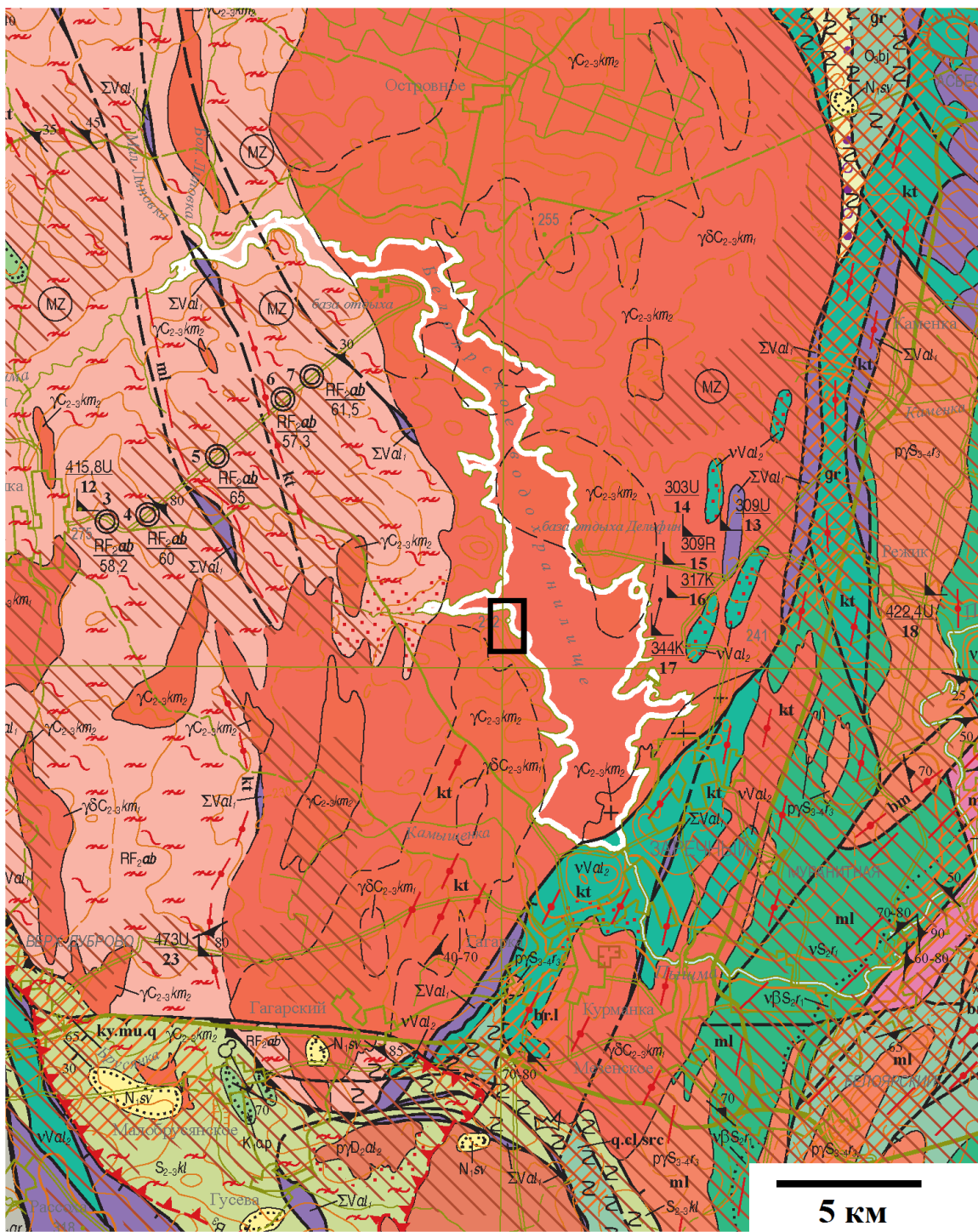


Рис. 4 Схема размещения месторождений родонитовых пород на Среднем Урале (Брусницын и др., 2016).

1 – граниты (PZ₃), 2 – апогаббровые амфиболиты (D₂₋₃), 3 – вулканы среднего состава (S–D), 4 – зелёные сланцы (O–S), 5 – гнейсы (PR), 6 – главные разломы, 7 – месторождения родонитовых пород. Месторождения: 19 – Малоседельниковское, 20 – Кургановское, 21 – Бородулинское-1, 22 – Бородулинское-2, 23 – Афанасьевское, 24 – Октябрьское, 25 – Дмитриевское, 26 – Горнощитское, 27 – Змеиногорское, 28 – Гагарское, 29 – Александровское.




 Положение Гагарского месторождения

Рис. 5 Геологическая карта района Гагарского месторождения. Условные обозначения к геологической карте в приложениях 1 и 2. (ГГК-200/2 О-41-XXVI; Казаков и др., 2017)

Гагарское месторождение находится в южной части Мурзинско-Адуйского антиклинория (I-1 на рис. 6), который представляет собой крупный мегаблок земной коры — гранитогнейсовую структуру купольного типа в окружении сложнопостроенных синклинорных блоков. В структурном отношении Мурзинско-Адуйский антиклинорий представляет собой сформированную на коллизионной стадии, в ходе коллапса орогена цепочку сближенных куполовидных брахискладок субмеридионального простирания.



Рис. 6 Схема тектонического районирования листа О-41-XXVI (ГГК-200/2 О-41-XXVI; Казаков и др., 2017)

В строении антиклинория принимают участие фрагменты ремобилизованного кристаллического фундамента и чехла древних платформ и верхнепалеозойские магматические комплексы вулканоплутонического и плутонического поясов.

В ядерной части антиклинория располагается Мурзинско-Адуйский блок (I-1-1 на рис. 6) – выступ допалеозойского основания Уральской складчатой системы, сложенный метаморфизованными породами адуйского комплекса и алабашской серии. Блок частично перекрыт пластинами тектонических пакетов аллохтона. На орогенной стадии он был прорван интрузиями плутонического пояса и затем выведен на современный эрозионный уровень. Наиболее крупными интрузивными массивы являются Адуйский гранитовый (1 – на рис. 7), Малышевский гранит-лейкогранитовый, Каменский гранодиорит-гранитовый (4 – на рис. 7), которые осложняют восточное крыло антиформы (рис. 6).

Гагарское месторождение родонитовых пород находится в западном контакте Каменского средне-позднекембруогольного гранодиорит-гранитового массива с

метоморфизованными породами алабашской серии, сложенной преимущественно разнообразными кристаллическими сланцами и гранитогнейсами.

Геологическое строение изучаемой территории является результатом длительной и сложной вещественно-структурной эволюции, в которой выделены четыре этапа.

События *первого допалеозойского этапа* могут быть восстановлены только фрагментарно. Раннепротерозойское и среднерифейское время – стадия формирования древней континентальной коры, сложенной комплексами пород – «доуралидами». На последующих этапах развития они претерпели радикальные вещественные и структурные преобразования.

Наиболее древними образованиями района являются предположительно нижнепротерозойские породы адуйского метаморфического комплекса ($PR_{1?ad}$) и среднерифейские кристаллические сланцы алабашской серии (RF_{2ab}). Эти комплексы в виде ремобилизованных фрагментов древней континентальной платформы залегают в ядрах куполовидных гранитогнейсовых структур. Эти образования относят к мигматит-гнейсовой формации метаморфического фундамента и формации кристаллических сланцев метаморфизованного чехла микроконтинентов. Формировались комплексы в пределах Сосьвинско-Синарской СФЗ (Восточный Урал) основания Уральской складчатой системы.



Рис. 7 Тектоническая схема района Гагарского месторождения (ГГК-200/2 О-41-XXVI; Казаков и др., 2017)

Адуйский метаморфический комплекс ($PR_1?ad$) сформировался в раннепротерозойское время в результате проявления регионального дорифейского (карельского) метаморфизма и был впоследствии неоднократно мигматизирован и диафторирован. Адуйский комплекс имел метатерригенный состав субстрата с переходом вверх по разрезу в metabазальтовый.

На этом метаморфическом фундаменте в среднерифейское время в пределах окраинно-континентального (или внутриконтинентального) бассейна с локальным проявлением рифтогенного магматизма формируются осадочные толщи среднерифейского структурного яруса (в том числе и алабашская серия (RF_2ab)), впоследствии метаморфизованные.

В дальнейшем в результате рифтогенеза и океанического спрединга блоки древней континентальной коры были разобщены и перемещены на значительные расстояния.

Второй этап – вендское время характеризуется проявлением океанического рифтогенеза и формированием субокеанического бассейна, в котором формировались офиолитовые дунит-гарцбургит-габбровые комплексы.

Третий палеозойский этап связан с развитием раннепалеозойского Уральского палеоокеана, последовательным формированием двух островодужных систем – позднеордовикско-раннедевонской энсиматической (Тагильской) и новообразованной девонской энсиалической (Восточно-Уральской), позднедевонской аккрецией гетерогенных террейнов и последующей стадией позднедевонско-среднекаменноугольной активной континентальной окраины, позднепалеозойской коллизией и формированием орогена.

На стадии коллизионного орогенеза происходит внедрение гранитоидных массивов, которые составляют ассоциацией среднекаменноугольно-пермских интрузивных комплексов плутонического пояса, наиболее крупные из них Адуйский гранитовый комплекс и Каменский гранодиорит-гранитовый комплекс.

Каменский гранодиорит-гранитовый комплекс распространен в составе Сосьвинско-Теченской подзоны Алапаевско-Адамовской СФЗ Восточно-Уральской мегазоны и состоит из двух фаз: вторая фаза – граниты, плагиограниты (γC_{2-3km_2}), первая фаза – гранодиориты, тоналиты (γC_{2-3km_1}). Комплекс слагает Каменский, Сарапульский, Курманский массивы и ряд мелких тел, расположенных в пределах и южнее Мурзинско-Адуйского метаморфического блока.

Каменский массив (4 на рис. 7) расположен в южной части Мурзинско-Адуйского антиклинория, залегает дискордантно среди кристаллических сланцев алабашской серии. Отмечается его пластообразная объемная форма, интрузивный западный и тектонический

восточный и юго-восточный контакты с проявлением рассланцевания, милонитизации и катаклаза, восточные падения контактов (западного под углом 35–40° и восточного – 75–80°), вертикальная мощность – от 4 км на юге до 5–6 км в центральной части.

Каменский массив является частью ассоциацией среднекаменноугольно-пермских интрузивных комплексов плутонического пояса, сформированного на стадии коллизионного орогенеза.

Возраст образований каменского комплекса основывается на изотопногеохронологических исследованиях цирконов U-Pb методом мигматизированного гранодиорита – 303 ± 4 млн лет, слабомигматизированного гранодиорита – 309 ± 22 млн лет. Таким образом, возраст формирования образований каменского комплекса принимается как средне-позднекаменноугольный.

Мезозойско-кайнозойский этап обусловлен затуханием горообразовательных процессов, наступлением периода длительной стабилизации и переходом к платформенному режиму.

Метаморфизм. Процессы метаморфических и метасоматических преобразований горных пород проявлены на изучаемой территории чрезвычайно широко и разнообразно. Все домезозойские образования в разной степени изменены метаморфическими процессами.

Наиболее интенсивно проявлен многоэтапный региональный метаморфизм. С этим типом метаморфизма связано формирование толщи глубоко метаморфизованных и гранитизированных пород адуйского комплекса и алабашской серии. Контактный метаморфизм проявлен в виде небольших ореолов вокруг крупных интрузий каменского комплекса.

Продуктами многоэтапного регионального метаморфизма являются кристаллические сланцы, плагиогнейсы, гнейсы, амфиболиты. С этим типом метаморфизма связывают образование толщи гранитогнейсов и становление гранитоидов Адуйского, Каменского массивов.

Можно заметить зональность плутонометаморфизма. Нарастание интенсивности преобразований пород отмечается от Восточно-Ключевского надвига (5 – на рис.2.5) на юго-западе и далее на север к докембрийским образованиям алабашской серии и адуйского комплекса метаморфических пород.

В породах колюткинской толщи северо-восточнее Восточно-Ключевского надвига (5 - на рис. 7) по изограде появления в сланцах граната отмечается граница между породами, преобразованными в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций.

Главные минеральные ассоциации эпидот-амфиболитовой фации в метапелитах здесь представлены гранат-хлорит-биотит-серициткварцевыми и ставролит-биотит-гранат-плагиоклаз-кварцевыми сланцами.

Границей эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций является Гагарский надвиг (4 – на рис. 7), севернее которого породы алабашской серии и адуйского комплекса преобразованы в условиях амфиболитовой фации. Типичными парагенезисами для плагиогнейсов являются плагиоклаз, кварц, биотит, часто – сине-зеленая роговая обманка, реже – гранат. (Казаков и др, 2017)

2.3 Геологическое строение месторождения

Проявление родонита находится в западном контакте Каменского гранодиорит-гранитного массива и контролируется тектонически-ослабленной субмеридиональной зоной, к которой приурочены цепочки тел серпентинитов, габбро-амфиболитов, марганцовистых кварцитов, ставролит-биотит-кварцевых сланцев. Вмещающими для них являются гнейсовидные породы гранодиоритового состава (амфиболовые, биотит-амфиболовые гнейсы или рассланцованные гранодиориты).

Участок проявления сложен биотитовыми и амфиболовыми гранодиоритами, среди которых отмечаются небольшие линзовидные тела серпентинитов, марганцовистых кварцитов, секущихся жилами биотитовых гранитов. Серпентиниты развиты в западной части участка, залегают в виде обособленных тел протяженностью 20-60 м и мощностью 1-10 м. Сильно метаморфизованны: превращены в тальк-карбонатные и тальк-хлорит-актинолитовые породы. В центральной части участка залегает тело кварцитов (простирание северо-западное близкое к меридиональному, падение крутое восточное под углами 40-72°) с которым пространственно и генетически связано проявление родонита. Тело кварцитов имеет линзовидную форму: протяженность 70 м при максимальной мощности 5 м; на глубину кварциты прослеживаются до 12-13 м, где выклиниваются.

В всячем восточном контакте кварцитов залегает небольшое тело родонитовой породы имеющее протяженность 9,5 м и мощность в центральной части до 1 м. На глубину тело прослеживается до 5 м. В лежачем контакте наблюдается прослой мощностью 0,3 м состоящий из граната, кварца, амфибола. (Прибавкин и др., 2016)

ГЛАВА 3. ПЕТРОГРАФИЯ РОДОНИТОВЫХ ПОРОД ГАГАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Исследуемая коллекция состоит из 8 образцов. В отсутствие естественных обнажений образцы отбирались из отвалов в сильно задернованных ямах, которые, когда-то были горными выработками. В отвалах марганцесодержащие породы покрыты черными корками оксидов и гидроксидов марганца, под которыми скрывается розовая родонитовая масса.

В изученных нами образцах родонитовая порода Гагарского проявления представляет собой плотную мелко- и тонкозернистую грубо полосчатую массу, иногда брекчиевидную, сильно окисленную с поверхности и по сети секущих трещин.

Окраска родонита Гагарского проявления розовая различных оттенков и интенсивности, часто неяркая, тусклая с серым оттенком. Рисунок пятнисто-полосчатый обусловлен наличием гидроокислов марганца. Дендриты гидроокислов марганца широко развиты, их настолько много, что они сливаются друг с другом, образуя черные полосы и пятна.

В наших образцах родонитовых пород диагностировано 13 минералов. Главные из которых: кварц, спессартин, родонит, марганцовистый актинолит и манганокуммингтонит. Второстепенные и аксессуарные минералы представлены: магнетитом, пирофанитом, цирконом, титанитом, диопсидом, калиевым полевым шпатом, апатитом, монацитом-Се. Кроме того, Прибавкин С. В. с коллегами (2016) отмечает в составе пород месторождения дополнительно графит, пирротин, пирит, уранинит, тефроит, пироксмангит и родохрозит. Таким образом, всего на месторождении установлено 20 минералов.

Марганцевые минералы зоны окисления представлены псиломеланом, манганитом, пиролюзитом и криптомеланом. (Прибавкин и др., 2016)

По соотношению главных минералов среди наших пород можно выделить несколько разновидностей: собственно родонитовые, кварц-спессартин-родонитовые, кварц-спессартиновые, кварц-спессартин-амфиболовые и спессартин-амфиболовые. Как правило, основная масса кварц-спессартиновых, кварц-спессартин-амфиболовых и спессартин-амфиболовых пород сосредоточена на контакте родонитовых тел с вмещающими их кварцитами. Но, эти же породы встречаются и в виде пластов и линз внутри собственно родонитовой массы.

Ниже приведено петрографическое описание коллекции образцов.

Образец Гр-1. Кварц-спессартиновая порода.



Рис. 8 Образец Гр-1

Образец представляет собой кварц-спессартиновую породу мелкозернистую тонкослоистую. Порода светло-бежевого цвета на 70 об. % состоящая из кварца и 20 об. %, спессартина с тонкополосчатыми вкраплениями амфибола зеленоватого цвета. Здесь амфибол ассоциирует с более поздними более крупнозернистыми кварцевыми жилками. Также встречаются вкрапленники калиевого полевого шпата.

Направления основной слоистости пересекают темно-коричневые вторичные жилы гипергенных минералов марганца и железа.

Образец Гр-2. Кварц-спессартин амфиболовая порода.

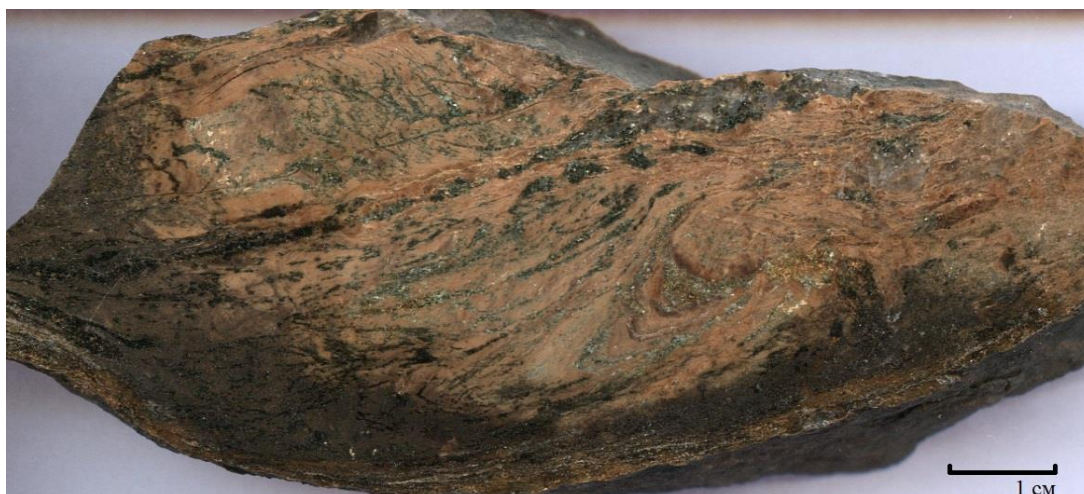


Рис. 9 Образец Гр-2

Мелкозернистая слоисто-плойчатая порода, в которой чередуются светло-бежевые кварц-спессартиновые слои и темно-зеленые слои, сложенные из кварца и актинолита.

С поверхности породы пропитаны скрытокристаллическими оксидами марганца гипергенного происхождения. Светло-серые среднезернистые участки сложены преимущественно кварцем.

Образец Гр-3. Спессартин-амфиболовая порода.



Рис. 10 Образец Гр-3

Пятнистая мелкозернистая порода, красновато-коричневые зоны которой имеют спессартин-кварцевый состав, более коричнево-черные зоны сложены преимущественно актинолитом. Имеются пятна и прослойки, сложенные среднезернистым кварцем.

Образец Гр-4. Кварц-спессартиновая порода.

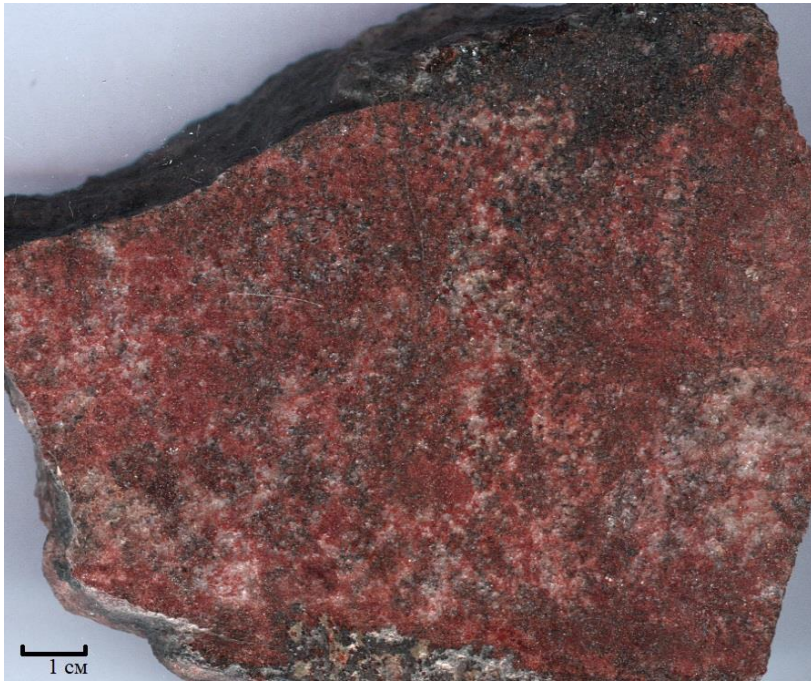


Рис. 11 Образец Гр-4

Существенно кварц-спессартиновая мелкозернистая порода. Порода имеет пятнистую текстуру красновато-коричневые зоны сложены мелкозернистыми спессартином и кварцем, более светлые серые пятна сложены кристаллами кварца.

Образец Гр-5. Кварц-спессартин-родонитовая порода.



Рис. 12 Образец Гр-5

Мелкозернистая порода имеет мозаичную пятнистую текстуру. Порода делится на участки пересекающимися под разными углами черными дендритами гидроокислов марганца, и также менее яркого оттенка жилками кварца. Розовые участки породы, наиболее обогащенные марганцем, состоят из родонита и спессартина и марганцевых амфиболов (чаще манганокуммингтонит, реже актинолит). Светло-бежевые и коричневатые участки сложены спессартином с кварцем и в меньшей степени родонитом и амфиболами.

Образец Гр-6. Контакт кварц-спессартинового и собственно родонитового агрегата.



Рис. 13 Образец Гр-6

В данном образце виден ясный резкий контакт кварц-спессартинового (бежево-коричневая слоистая масса) и родонитового (розовая с черными дендритами гидроокислов марганца) агрегатов.

Порода имеет пятнистую текстуру. Значительный объем породы занимают черные дендриты, местами тонкие сетчатые, а местами дендриты превратились в крупные черные пятна. Дендриты гидроокислов марганца распространены в части породы наиболее обогащенной марганцем, сложенной родонитом, спессартином и манганокуммингтонитом.

*Образец Гр–7. Прослой кварц-спессартин-амфиболовой породы в родонитовой
массе.*

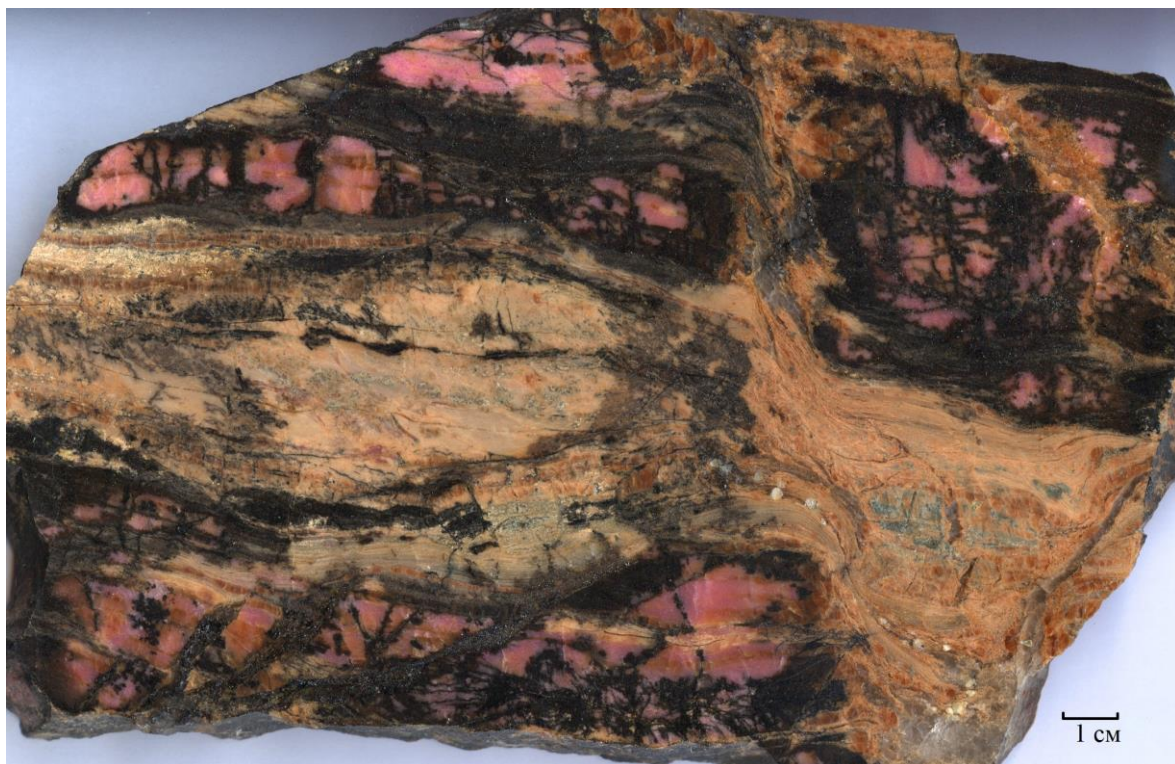


Рис. 14 Образец Гр-7

Порода мелкозернистая имеет мозаичную текстуру. Наблюдается контакт родонит-содержащих агрегатов с бежево-коричневым участком породы с зеленоватыми прослоями и серыми участками со слоистой, плейчатой текстурой. В бежевой массе видны текстуры мелких складок, текстура будинажа.

Бежево-коричневые участки сложены спессартином и кварцем, зеленоватые прослои существенно обогащены актинолитом. Имеются серые прожилки и гнезда, сложенные среднезернистым кварцем. Интенсивность окраски бежево-коричневых участков, от светлого бежевого до насыщенно коричневого зависит от количества и размера зерен спессартина. Существенно кварцевые прослои с вкраплениями спессартина более светлые, по сравнению с коричневыми существенно спессартиновыми агрегатами, где кварц имеет подчиненное значение.

Важно отметить, что и чисто розовых участков с преобладанием родонита в породе не так много. С чисто розовыми участками соседствуют коричневато-розовые участки с явным присутствием достаточного количества спессартина, а также тяготеющих к спессартиновой ассоциации актинолита, манганокуммингтонита.

Образец Гр–8. Кварц-спессартин-родонитовая порода.



Рис. 15 Образец Гр-8

Порода мелкозернистая, рисунок породы во многом определяется образованными в зоне окисления черными дендритами гидроокислов марганца. Розовая основная масса породы сложена родонитом, кварцем, спессартином и марганцесодержащими амфиболами. Среди основной розовой массы видны участки со слоистой текстурой, чередование бежевых, коричневых и розовых слоев. Слоистость образуется за счет чередования слоев, сложенных в основном кварцем, существенно спессартиновых и родонит-спессартиновых с амфиболами.

ГЛАВА 4. МИНЕРАЛОГИЯ РОДОНИТОВЫХ ПОРОД ГАГАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

4.1 Общие сведения

В родонитовых породах Гагарского месторождения было выявлено 20 минералов (табл. 2). Главными минералами являются родонит, спессартин, кварц, марганцовистый актинолит и манганокуммингтонит. Второстепенные и акцессорные — диопсид, калиевый полевой шпат, циркон, апатит, монацит-Се, титанит, пирофанит, магнетит.

Такие минералы как тефроит, пироксмангит, родохрозит, уранинит, пирит, пирротин, графит не были диагностированы нами в ходе исследования собранной коллекции. Эти минералы выявлены в родонитовых породах Гагарского месторождения предыдущими исследователями (Прибавкин и др., 2016). Но, для полноты описания минералогии Гагарского месторождения мы включили эти минералы в нашу работу.

По набору главных минералов родонитовые породы делятся на 5 разновидностей: собственно родонитовые, кварц-спессартин-родонитовые, кварц-спессартиновые, кварц-спессартин-амфиболовые и спессартин-амфиболовые.

На Гагарском месторождении встречается большое количество вторичных гипергенных минералов, в основном это оксиды гидроксиды марганца. Изучение гипергенных минералов не входило в цели настоящего исследования. По данным предыдущих исследователей (Прибавкин и др., 2016), в составе гипергенных минералов установлены: псиломелан, манганит, пиролюзит и криптомелан.

Таблица. 2. Минералы родонитовых пород Гагарского месторождения

№ п/п	Минерал	Формула	Прибавкин и др., 2016	Наши данные		
				Метод диагностики		
				РФА	ОМ	ЭМ
Простые вещества						
1	Графит	C	+			
Сульфиды						
2	Пирротин	FeS	+			
3	Пирит	FeS ₂	+			
Оксиды						
4	Кварц	SiO ₂	+	■	■	■
5	Уранинит	UO ₂	+			
6	Магнетит	FeFe ₂ O ₄				+
7	Пирофанит	MnTiO ₃	+			+
Силикаты и их аналоги						
<i>Силикаты с островной структурой</i>						
8	Тефроит	Mn ₂ (SiO ₄)	+			
9	Спессартин	Mn ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	+	■	■	■
10	Титанит	CaTi(SiO ₄)O	+			+
11	Циркон	Zr(SiO ₄)	+		+	+
<i>Силикаты с цепочечной структурой</i>						
12	Родонит	CaMn ₄ (Si ₅ O ₁₅)	+	■	■	■
13	Пироксмангит	MnMn ₆ (Si ₇ O ₂₁)	+			
14	Диопсид*	(Ca,Mn)(Mg,Fe)(Si ₂ O ₆)		●		●
<i>Силикаты с ленточной структурой</i>						
15	Актинолит*	(Ca,Mn) ₂ Mg ₅ (Si ₈ O ₂₂)(OH) ₂	+	■	■	■
16	Манганокуммингтонит	Mn ₂ Mg ₅ (Si ₈ O ₂₂)(OH) ₂	+	●	●	●
<i>Алюмосиликаты с каркасной структурой</i>						
17	Калиевый полевой шпат	K(AlSi ₃ O ₈)			●	●
Карбонаты						
18	Родохрозит	Mn(CO ₃)	+		+	?
Фосфаты						
19	Монацит-Се	Ce(PO ₄)	+			+
20	Апатит	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH,F)	+		+	+

Примечание. * – звездочкой отмечены минералы, представленные марганцевой разновидностью. Методы диагностики: РФА – рентгенофазовый анализ, ОМ – оптическая микроскопия, ЭМ – электронная микроскопия. В изученных нами образцах минералы: ■ – главные, ● – второстепенные, + – акцессорные. Знак вопроса поставлен у минерала, диагностика которого нуждается в уточнении.

4.2 Характеристика минералов

Главные минералы

Родонит. Родонит является главным минералом родонитовых пород, придает им характерный розовый цвет и определяет их декоративные качества. Родонит вместе с кварцем и спессартином слагает мелкозернистую основную массу породы. Зерна родонита имеют таблитчатую форму, часто хорошо огранены, средний размер составляет 0.1-0.3 мм в поперечнике.

В шлифах минерал бесцветный, не плеохроирует, обладает высоким рельефом, цвета интерференции от серых до желтых (рис. 16). Хорошо проявлена спайность, пересекающаяся под углом 90°.

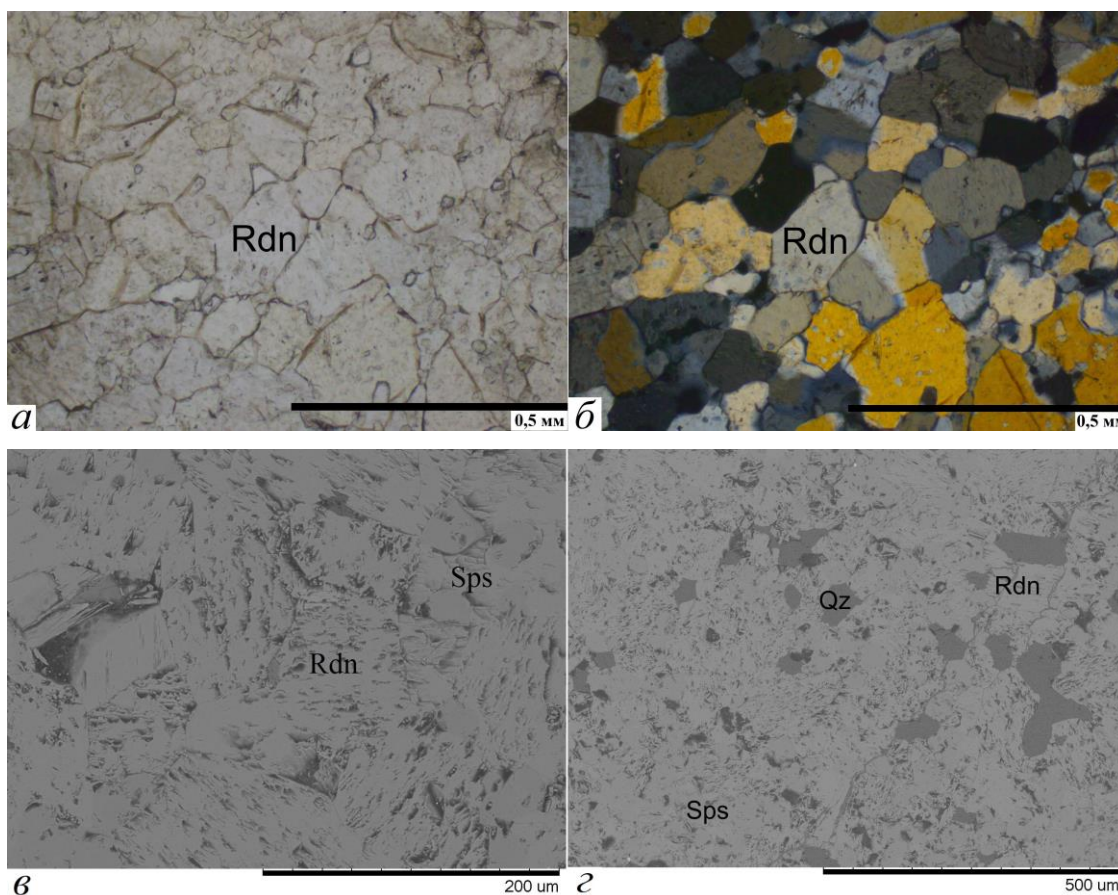


Рис. 16 Родонит со спессартином и кварцем слагают основную мелкозернистую массу породы. Фотографии: *а* и *б* шлифа в проходящем свете (*а* – без анализатора, *б* – николи скрещены), *в* и *з* – аншлифа в обратно-отраженных электронах. *Минералы:* Rdn – родонит, Sps – спессартин, Qz – кварц.

Химический состав родонита и рассчитанные по ним кристаллохимические коэффициенты в формулах минерала представлены в таблице 3. Родонит Гагарского

месторождения имеет однородный химический состав во всех минеральных ассоциациях. Каких-либо значительных колебаний в содержании компонентов нами не установлено. Вместе с тем, от родонитов других среднеуральских месторождений, изученный нами минерал отличается высокими содержаниями Mg и Fe: FeO^{общ} 4.6-7.2 масс.% MgO 2.2-3.02 масс.% (рис. 17). Родониты такого состава известны в природе, но на Урале они до сих пор обнаружены не были. Высокие концентрации магния и железа являются отличительными чертами родонита Гагарского месторождения.

Таблица 3. Химический состав (масс. %)

и коэффициенты в кристаллохимических формулах (к.ф.) родонита

Компонент	Образец					
	Гр-5(18)	Гр-5(19)	Гр-6-6	Гр-6-15	Гр-7(29)	Гр-7(30)
	1*	2*	3	4	5*	6*
SiO ₂	46.51	46.44	47.58	47.35	46.67	46.77
FeO ^{общ}	6.74	7.20	4.56	5.90	4.86	4.68
MnO ^{общ}	39.40	39.03	40.30	38.53	41.05	41.47
MgO	2.24	2.37	3.08	2.93	3.02	2.95
CaO	5.25	5.08	4.48	5.29	4.99	4.99
Сумма	100.15	100.12	100.00	100.00	100.85	100.60
Коэффициенты рассчитаны на 15 кислородов						
Si	4.95	4.94	5.01	4.99	4.93	4.93
Fe	0.60	0.64	0.40	0.52	0.41	0.43
Mn	3.15	3.10	3.10	3.04	3.26	3.23
Mg	0.36	0.38	0.48	0.46	0.46	0.48
Сумма	4.11	4.12	3.98	4.02	4.13	4.14
Mn	0.40	0.42	0.49	0.40	0.44	0.44
Ca	0.60	0.58	0.51	0.60	0.56	0.56
Сумма	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Примечание. Звездочкой отмечены количественные анализы, выполненные на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N, без звездочек – полуколичественные, выполненные на электронном микроскопе-микроанализаторе Hitachi TM 3000.

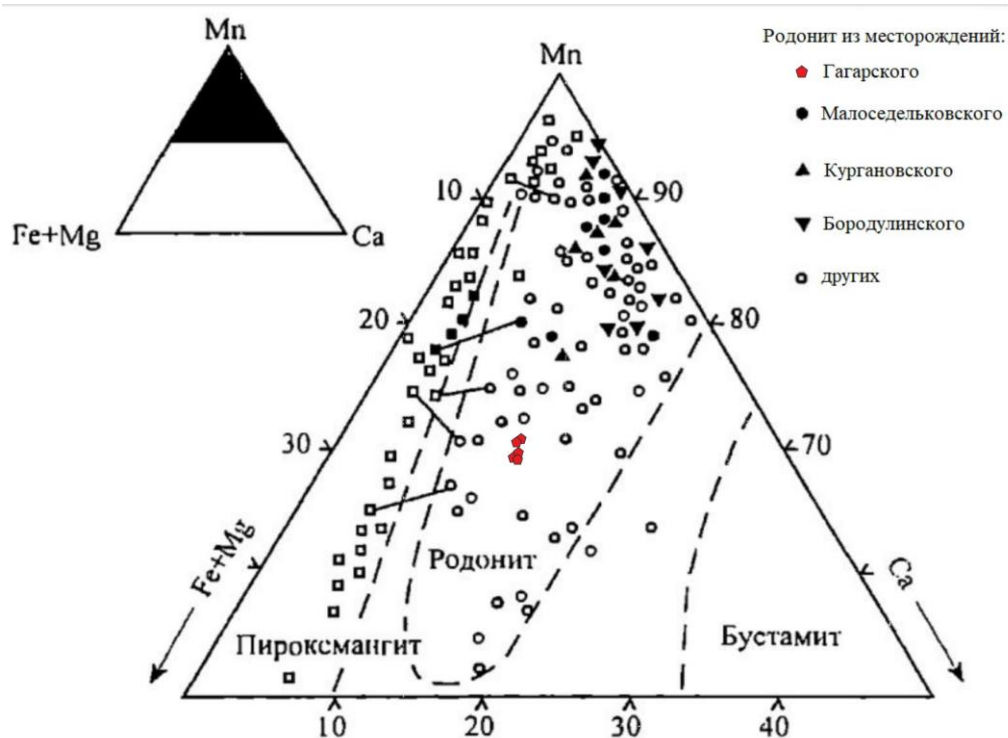


Рис. 17 Составы родонита из метаморфизованных марганцевых месторождений. (Основа схемы по Брусницыну А. И., 2000)

Диагностика родонита Гагарского месторождения подтверждена также методом рентгенофазового порошкового анализа по всем основным пикам (приложения 3, 16).

Пироксмангит. Согласно Прибавкину С. В. с коллегами (2016), пироксмангит встречен в крупных до 20 мм кристаллах бурого цвета с совершенной спайностью, образующих небольшое обособление, раздробленное и сцементированное кварц-спессартиновыми прожилками. Минерал содержит многочисленные включения кварца, спессартина и манганкумингтонита.

Минерал заверен рентгеноструктурным анализом. Основные характеристические пики на рентгенограмме: 3.456(58), 3.343(69), 3.125(75), 2.954(100), 2.605(96). Химический состав минерала следующий (масс. %): SiO_2 47.30, $\text{FeO}^{\text{общ}}$ 9.65, $\text{MnO}^{\text{общ}}$ 35.76, MgO 4.71, CaO 2.58.

Спессартин. Спессартин на Гагарском месторождении распространен повсеместно и является одним из породообразующих минералов. Спессартин образует сплошные зернистые массы с размерами зерен от 0.01 до 0.1 мм. В кварц-спессартин-амфиболовой ассоциации спессартин с кварцем и марганцевистым актинолитом образуют равномернозернистую текстуру.

Спессартин часто содержит мелкие включения амфиболов, диопсида, кварца.

В образцах спессартин светлый, желто-коричневого, светло-бежевого цвета. На полированной поверхности выделяется положительным рельефом. В шлифах минерал узнается по изометричной форме зерен, которые нередко хорошо огранены (сечения шестиугольной формы); прозрачный, светло окрашенный в бледно-желтых, бежевых тона. По сравнению с родонитом и амфиболами имеет наиболее явно выраженную окраску (рис. 18). Характерен высокий рельеф, минерал почти изотропен, но местами, особенно по краям зерен проявлена слабая анизотропия.

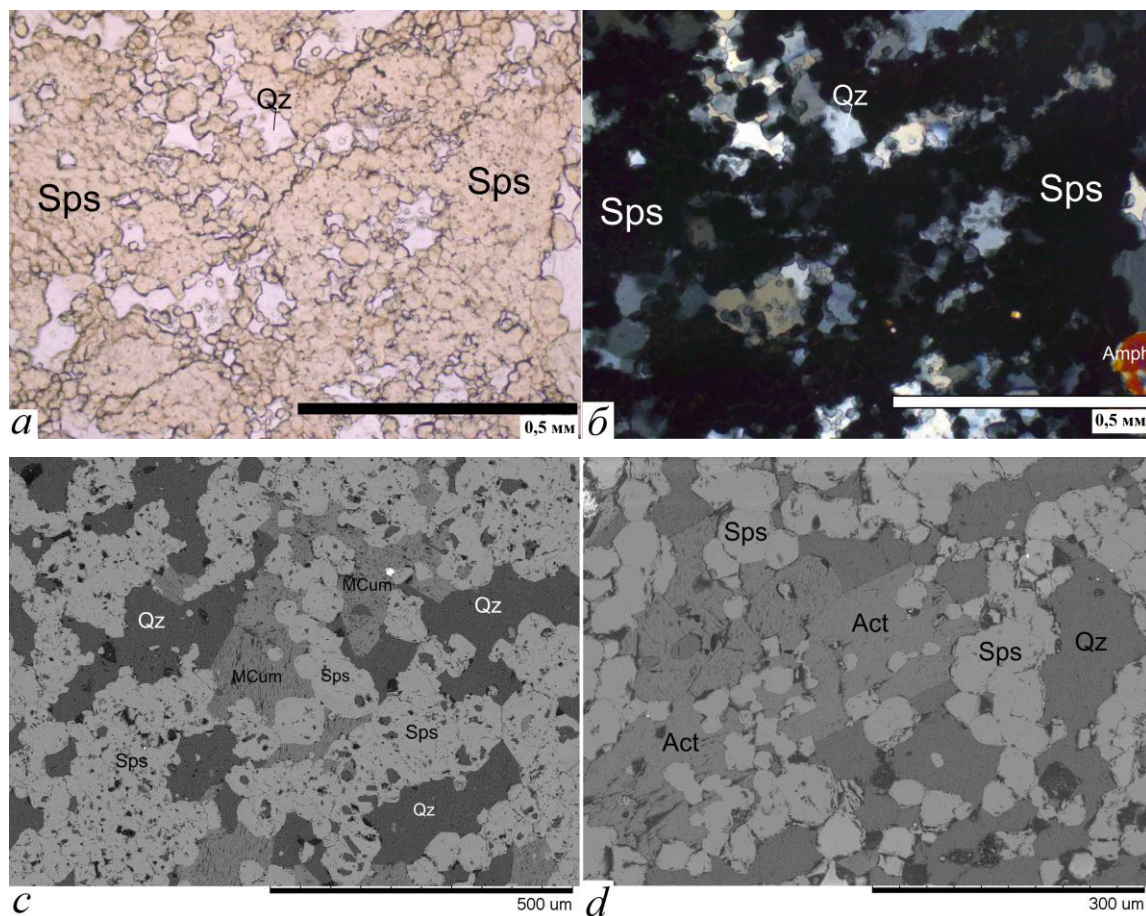


Рис.18 **Изометричные зерна спессартина в ассоциации с кварцем и амфиболами.** Фотографии: *a* и *б* шлифа в проходящем свете (*a* – без анализатора, *б* – николи скрещены), *в* и *г* – аншлифа в обратно-отраженных электронах. *Минералы:* Sps – спессартин MCum – манганокуммингтонит, Act – марганцовистый актинолит, Qz – кварц.

При исследовании с помощью электронного микроскопа выделена химическая зональность зерен спессартина (анализы 2, 7, 11 – центральных частей зерен; 3, 8, 10 – краевых частей зерен в табл. 4). Центральные части зерен содержат больше Fe и меньше Ca.

Химический состав спессартина сильно варьирует в различных ассоциациях (табл. 4). В ассоциациях с родонитом спессартин содержит наибольшее количество

Mn 33.82-37.66 масс. % MnO, в кварц-спессартиновой ассоциации наименьшее количество Mn 27.66-29.50 масс. % MnO и большее количество Fe и Mg: 8.86-10.09 масс. % FeO и 0.71-1.16 масс. % MgO.

Таблица 4. Химический состав (масс. %)

и коэффициенты в кристаллохимических формулах (к.ф.) спессартина

Компо- нент	Образец											
	Гр-2	Гр-2	Гр-2	Гр-3	Гр-5	Гр-5	Гр-5	Гр-5	Гр-5	Гр-7	Гр-7	Гр-7
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*
SiO ₂	35.70	35.33	36.45	35.97	35.92	35.67	35.37	36.00	35.73	36.12	35.74	35.76
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.34	0.45	0.34	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	18.68	18.13	19.28	19.17	19.77	18.31	18.33	19.69	18.80	20.37	18.70	18.73
FeO ^{общ}	8.86	10.09	9.61	9.39	4.53	5.26	6.04	4.39	5.36	3.12	4.55	5.39
MnO ^{общ}	29.43	29.50	28.03	27.66	35.01	35.03	35.02	35.15	35.09	33.82	37.66	36.80
CaO	4.49	4.45	5.70	6.22	4.18	4.35	3.74	4.36	4.15	6.18	2.44	2.65
MgO	0.71	0.84	1.16	0.81	0.34	0.39	0.33	0.32	0.38	0.48	0.37	0.53
Сумма	97.87	98.34	100.23	100.00	99.35	99.28	100.25	99.51	99.22	100.09	99.46	99.86
Коэффициенты рассчитаны на 8 катионов												
Si	2.98	2.94	2.96	2.95	2.94	2.95	2.94	2.94	2.95	2.93	2.96	2.95
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.84	1.78	1.84	1.85	1.90	1.78	1.79	1.89	1.82	1.94	1.82	1.82
Fe	0.62	0.70	0.65	0.64	0.31	0.36	0.42	0.30	0.37	0.21	0.31	0.37
Mn	2.08	2.08	1.92	1.92	2.42	2.45	2.46	2.43	2.45	2.32	2.64	2.56
Ca	0.40	0.40	0.50	0.55	0.37	0.39	0.33	0.38	0.37	0.54	0.22	0.23
Mg	0.09	0.10	0.14	0.10	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07
Распределение катионов по кристаллографическим позициям												
Si	2.98	2.94	2.96	2.95	2.94	2.95	2.94	2.94	2.95	2.93	2.96	2.95
Al	0.02	0.06	0.04	0.05	0.06	0.05	0.06	0.06	0.05	0.07	0.04	0.05
Сумма	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Al	1.82	1.72	1.79	1.80	1.84	1.73	1.72	1.83	1.77	1.87	1.79	1.77
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe ³⁺	0.18	0.28	0.21	0.20	0.14	0.25	0.25	0.15	0.23	0.13	0.21	0.23
Сумма	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
Fe ²⁺	0.43	0.42	0.44	0.44	0.17	0.12	0.17	0.15	0.14	0.09	0.10	0.14
Mn	2.08	2.08	1.92	1.92	2.42	2.45	2.46	2.43	2.45	2.32	2.64	2.56
Mg	0.09	0.10	0.14	0.10	0.04	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.07
Ca	0.40	0.40	0.50	0.55	0.37	0.39	0.33	0.38	0.37	0.54	0.22	0.23
Сумма	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

Примечание. Анализы: 1-4 – спессартин из ассоциаций без родонита; 5-13 – спессартин из ассоциаций с родонитом; 2, 7, 11 – центральные части зерен спессартина; 3, 8, 10 – краевые части зерен спессартина.

Звездочкой отмечены количественные анализы, выполненные на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N.

По сравнению с другими месторождениями Среднего Урала гагарский спессартин содержит больше железа и магния (рис. 19), при сопоставимых количествах всех остальных элементов.

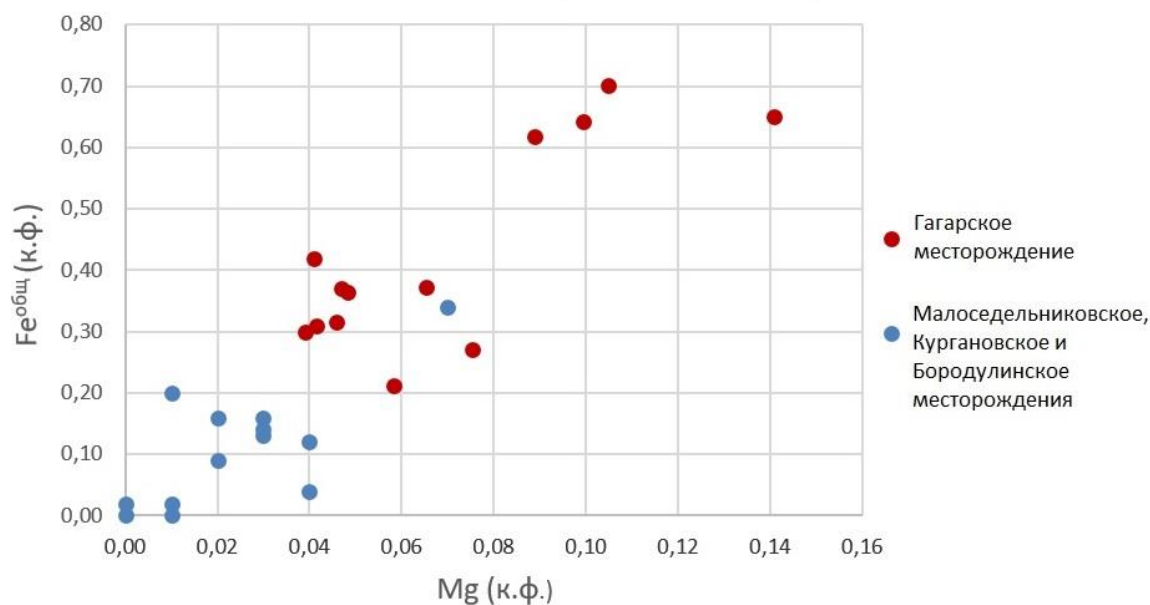


Рис. 19 Сравнение составов спессартинов родонитовых месторождений Среднего Урала по содержанию Fe и Mg.

Диагностика спессартина также заверена рентгенофазовым анализом. Результаты рентгенофазового анализа спессартина представлены в приложениях 3-18.

Кварц. Диагностирован методами оптической и электронной микроскопии и рентгенофазовым анализом.

Кварц присутствует во всех разновидностях пород (рис. 20). В кварц-спессартиновых породах кварц является породобразующим минералом. Порода состоит из изометричных зерен кварца размером 0.1-0.2 мм.

В гранат-амфиболовой и родонитовой породах кварц чаще присутствует в виде ксеноморфных кристаллов, заполняющих свободное пространство среди других минералов, а также в виде мелких включений в родоните и манганокуммингтоните.

Также во всех разновидностях пород встречаются более поздние жилки, сложенные более крупнозернистым кварцем. Размеры таких зерен кварца в таких жилах до 1-1.5 мм. Жилы кварца пересекают направления основной слоистости породы.

Кварц хорошо диагностируется при рентгенофазовом порошковом анализе по всем основным пикам (приложения 3-15,17-18).

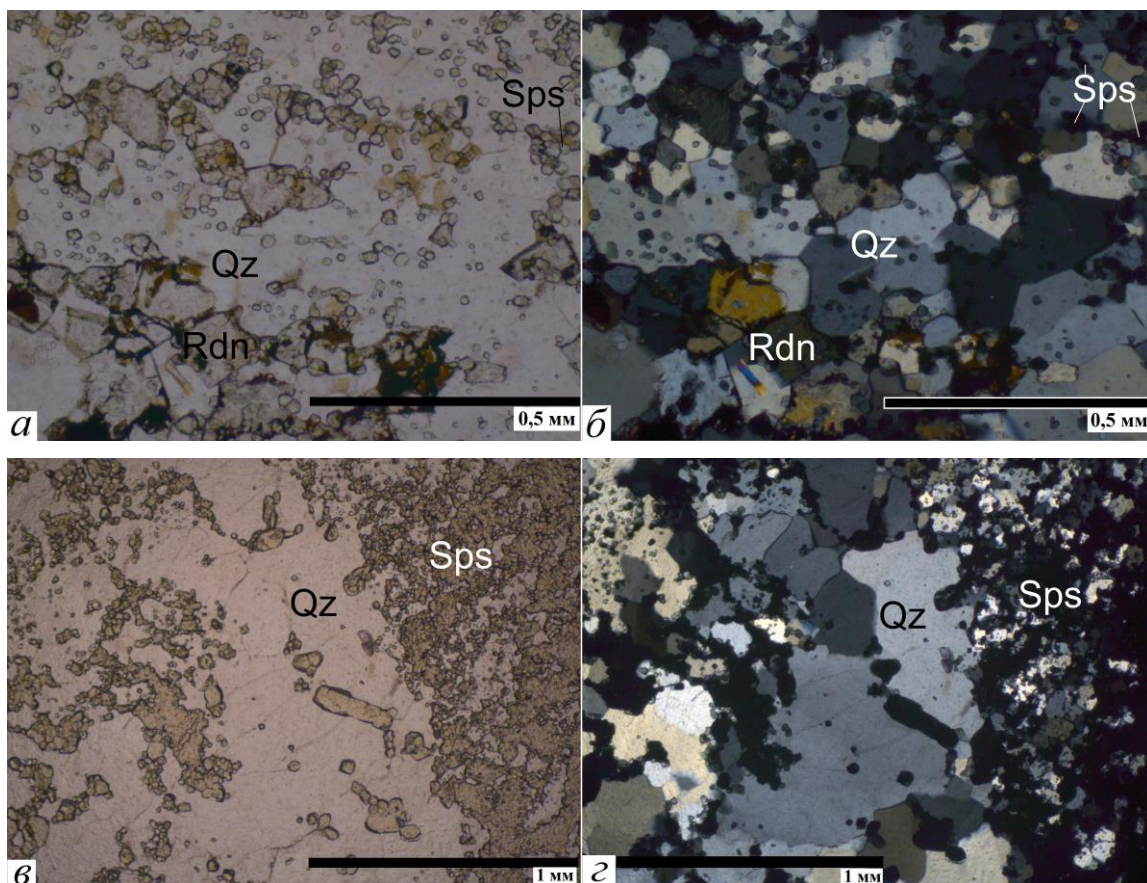


Рис. 20 Кварц в кварц-спессартин-родонитовой ассоциации (фотографии а и б). Жила среднезернистого кварца (фотографии в и г). Фотографии: а – г шлифа в проходящем свете (а, в – без анализатора, б, г – николи скрещены). Минералы: Sps – спессартин, Qz – кварц.

Амфиболы

При исследовании шлифов с помощью оптического микроскопа было выявлено несколько разновидностей амфибола:

1. Амфибол, слагающий основную массу спессартин-амфиболовой породы, представлен крупными пластинчатыми призматическими кристаллами (до 2-3 мм) зеленоватого цвета, сильно трещиноватыми. Трещины заполнены желто-коричневым веществом. У зерен амфибола наблюдаются желто-оранжевые цвета интерференции.
2. Амфибол в кварц-спессартин-амфиболовой породе, где зерна амфибола соразмерны с зернами кварца и спессартина. Цвета интерференции желто-оранжевые, иногда при скрещенных николях видна зональность зерен с красно-синими цветами интерференции.
3. Пластинчатые выделения амфибола с размерами зерен от 20 мкм до 300 мкм. Крупные зерна часто содержат включения кварца, спессартина, родонита. Зерна амфибола зеленоватые или бесцветные имеют сине-фиолетовые или желто-

оранжевые цветами интерференции.

В породах Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа диагностированы моноклинные амфиболы. По результатам микрозондового анализа установлено присутствие в породе двух минеральных видов – марганцовистого актинолита и манганокуммингтонита. Различие между этими минеральными видами состоит в количествах Са и Мп (табл. 5).

Границу между минеральными видами марганцовистого актинолита (Са-амфибола) и манганокуммингтонита (Mg-Fe-Mn-Li-амфибола) мы приняли согласно опубликованной в 1997 году номенклатуре амфиболов (Номенклатура амфиболов..., 1997). Во всех случаях кристаллохимические формулы были рассчитаны на 23 атома кислорода (46 зарядов). Распределение химических элементов по позициям стандартной кристаллохимической формулы $AB_2C_5^{VI}T_8^{IV}O_{22}(OH)_2$ проведено согласно рекомендуемого алгоритма:

1. Сумма катионов в позиции Т заполняется до 8.00 сначала Si, затем Al. Fe^{3+} не помещают в позицию Т.

2. Сумма катионов в позиции С заполняется до 5.00 сначала Al, который остался после заполнения позиции Т, а затем — последовательным дополнением Mg, Fe^{2+} , Mn^{2+} .

3. Сумма катионов в позиции В приводится к 2.00 путем добавления оставшегося после заполнения позиции С Mn^{2+} , затем Са, а после него Na.

4. Избыточный Na помещают в позицию А, куда затем добавляют весь К, суммарное количество катионов в позиции А должно быть между 0.00 и 1.00.

Пересчет анализов показал, что изученные минералы принадлежат к двум группам:

1. Mg-Fe-Mn-Li-амфиболы с диагностическими параметрами (анализы 8, 10 и 12 в табл. 5):

$$(Ca+Na)_B = 0.24-0.62 < 1.00,$$

$$(Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+})_B = 1.42-1.85 \geq 1.00,$$

$$Mg/(Mg+Fe) = 0.80-0.81 > 0.5,$$

$$Si = 7.96 > 7.00.$$

Содержания марганца в минерале составляют 1.76-2.13 ≥ 1.00 Мп к.ф.

По этим показателям минерал соответствует манганокуммингтониту.

2. Са-амфиболы с диагностическими параметрами (анализы 1–7, 9 и 11 в табл. 5):

$$(Ca+Na)_B = 1.15-1.76 \geq 1.00$$

$$Na_B = 0.01-0.03 < 0.50,$$

$$(Na+K)_A = 0.00-0.29 < 0.5,$$

$$Ca_A = 0 < 0.50,$$

$$0.05 < \text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe}) = 0.68-0.83 > 0.9,$$

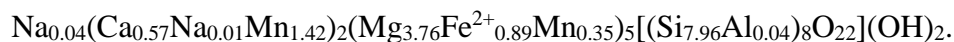
$$\text{Si} = 7.55-7.96 > 7.50.$$

По этим показателям минерал соответствует актинолиту.

Содержания марганца в актинолите составляют 0.45-1.26 Мп к.ф. В двух анализах из девяти (№№ 9 и 11 в табл. 5) актинолит содержит Мп к.ф. = 1.22 и $1.26 \geq 1.00$, что позволяет их отнести к манганоактинолиту. В остальных анализах Мп к.ф. = 0.45-0.52 < 1, но ≥ 0.25 минерал можно отнести к марганцовистому актинолиту.

По результатам химического анализа выявлено, что представленные в родонитовых породах амфиболы являются членами изоморфного ряда, конечными членами которого являются манганокуммингтонит и марганцовистый актинолит. Манганоактинолит является переходной формой между ними. Вариации в составах возможны в пределах одного и того же кристалла. Но, вместе с тем, установлены случаи, когда в одной породе присутствуют зерна разных по составу амфиболов. Для простоты описания в работе будут использоваться два минеральных вида: манганокуммингтонит и марганцовистый актинолит, с уточнениями о наличии переходных форм.

Изоморфный ряд манганокуммингтонит – марганцовистый актинолит обусловлен разным соотношением Са и Мп: манганокуммингтонит обогащен Мп, марганцовистый актинолит содержит больше Са, что можно объяснить замещениями по схеме: $\text{Ca}^{2+} \leftrightarrow \text{Mn}^{2+}$. При этом можно выделить некоторую закономерность распространения амфиболов в родонитовых породах Гагарского месторождения. В кварц-спессартин-амфиболовых и спессартин-амфиболовых ассоциациях (без родонита) встречается высококальциевый марганцевистый актинолит (табл. 5) с типичной химической формулой $(\text{Na}_{0.06}\text{K}_{0.02})_{0.11}(\text{Ca}_{1.70}\text{Mn}_{0.30})_2(\text{Mg}_{3.51}\text{Fe}^{2+}_{1.26}\text{Mn}_{0.17}\text{Al}_{0.06})_5[(\text{Si}_{7.88}\text{Al}_{0.12})_8\text{O}_{22}](\text{OH})_2$. В ассоциациях с родонитом: кварц-спессартин-родонитовой и собственно родонитовой, чаще встречается манганокуммингтонит:



По соотношению количеств Мп, Mg и Fe гагарский манганокуммингтонит сопоставим с манганокуммингтонитом из родонитовых пород Малоседельниковского и Кургановского месторождений. Вместе с тем, изученные нами образцы характеризуются более высокими концентрациями кальция. Марганцовистый актинолит Гагарского месторождения отличается от аналогичного минерала Бородулинского месторождения, прежде всего, более высокими (примерно в 5 раз) концентрациями железа.

Таблица 5. Химический состав (масс. %) и коэффициенты в кристаллохимических формулах (к.ф.) амфиболов

Компонент	Образец											
	Гр-2	Гр-2	Гр-2	Гр-2	Гр-2	Гр-3	Гр-3	Гр-7	Гр-7	Гр-7	Гр-7	Гр-7
	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*	8*	9*	10*	11*	12*
SiO ₂	53.36	53.5	50.78	50.08	52.91	53.00	52.82	53.81	54.39	54.61	53.93	53.26
Al ₂ O ₃	0.79	1.02	3.33	3.62	1.37	1.33	1.46	0.00	0.37	0.24	0.29	0.00
FeO ^{общ}	10.14	10.22	11.96	12.02	9.47	10.85	10.41	7.78	6.46	7.34	6.10	7.52
MnO ^{общ}	4.14	3.75	3.76	3.66	3.56	4.16	3.95	16.99	10.19	14.31	9.79	13.92
MgO	15.69	15.99	14.32	13.9	15.86	15.63	15.79	17.06	17.46	17.31	17.24	16.85
CaO	10.64	10.79	10.78	10.66	10.88	10.23	10.46	1.50	7.32	3.64	7.63	3.84
Na ₂ O	0.00	0.33	0.77	0.72	0.40	0.39	0.50	0.00	0.12	0.16	0.20	0.00
K ₂ O	0.00	0.09	0.37	0.39	0.00	0.22	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Коэффициенты рассчитаны на 23 кислорода												
Si	7.92	7.88	7.57	7.55	7.86	7.83	7.81	7.96	7.94	7.96	7.96	7.96
Al	0.14	0.18	0.59	0.64	0.24	0.23	0.25	0.00	0.06	0.04	0.05	0.00
Fe ²⁺	1.26	1.26	1.49	1.52	1.18	1.34	1.29	0.96	0.79	0.89	0.75	0.94
Mn	0.52	0.47	0.47	0.47	0.45	0.52	0.49	2.13	1.26	1.77	1.22	1.76
Mg	3.47	3.51	3.18	3.12	3.51	3.44	3.48	3.76	3.80	3.76	3.79	3.76
Ca	1.69	1.70	1.72	1.72	1.73	1.62	1.66	0.24	1.15	0.57	1.21	0.62
Na	0.00	0.09	0.22	0.21	0.12	0.11	0.14	0.00	0.03	0.05	0.06	0.00
K	0.00	0.02	0.07	0.08	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Сумма	15.00	15.11	15.31	15.31	15.09	15.13	15.17	15.05	15.03	15.04	15.04	15.04
Распределение катионов по кристаллографическим позициям												
Si	7.92	7.88	7.57	7.55	7.86	7.83	7.81	7.96	7.94	7.96	7.96	7.96
Al	0.08	0.12	0.43	0.45	0.14	0.17	0.19	0.00	0.06	0.04	0.04	0.00
Сумма Т	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	7.96	8.00	8.00	8.00	7.96
Распределение катионов по кристаллографическим позициям												
Al	0.06	0.06	0.16	0.19	0.10	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Fe	1.26	1.26	1.49	1.52	1.18	1.34	1.29	0.96	0.79	0.89	0.75	0.94
Mg	3.47	3.51	3.18	3.12	3.51	3.44	3.48	3.76	3.80	3.76	3.79	3.76
Mn	0.21	0.17	0.17	0.17	0.21	0.16	0.17	0.28	0.41	0.35	0.45	0.30
сумма С	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
Распределение катионов по кристаллографическим позициям												
Mn	0.31	0.30	0.30	0.30	0.24	0.36	0.32	1.85	0.85	1.42	0.77	1.46
Ca	1.69	1.70	1.72	1.72	1.73	1.62	1.66	0.24	1.15	0.57	1.21	0.62
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
сумма В	2.00	2.00	2.02	2.02	2.00	2.00	2.00	2.09	2.00	2.00	2.00	2.08
Распределение катионов по кристаллографическим позициям												
Na	0.00	0.09	0.22	0.21	0.09	0.09	0.12	0.00	0.03	0.04	0.04	0.00
K	0.00	0.02	0.07	0.08	0.00	0.04	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
сумма А	0.00	0.11	0.29	0.29	0.09	0.13	0.17	0.00	0.03	0.04	0.04	0.00
Диагностические параметры												
(Ca+Na) _В	1.69	1.71	1.72	1.72	1.76	1.64	1.68	0.24	1.15	0.58	1.23	0.62
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.73	0.74	0.68	0.67	0.75	0.72	0.73	0.80	0.83	0.81	0.83	0.80

Примечание. Звездочкой отмечены количественные анализы, выполненные на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S-3400N.

Марганцовистый актинолит. Является главным минералом спессартин-амфиболовой и кварц-спессартин-амфиболовой ассоциации (рис. 21). Встречается также в виде включений в спессартине.

В спессартин-амфиболовой ассоциации марганцовистый актинолит встречается в виде крупных пластинчатых зерен 2-3 мм в поперечнике, слагающих основную массу породы, с небольшим количеством кварца и спессартина. Мелкие, часто изометричные

зерна кварца и спессартина размерами 0,1-0,2 мм находятся внутри более крупных зерен марганцовистого актинолита.

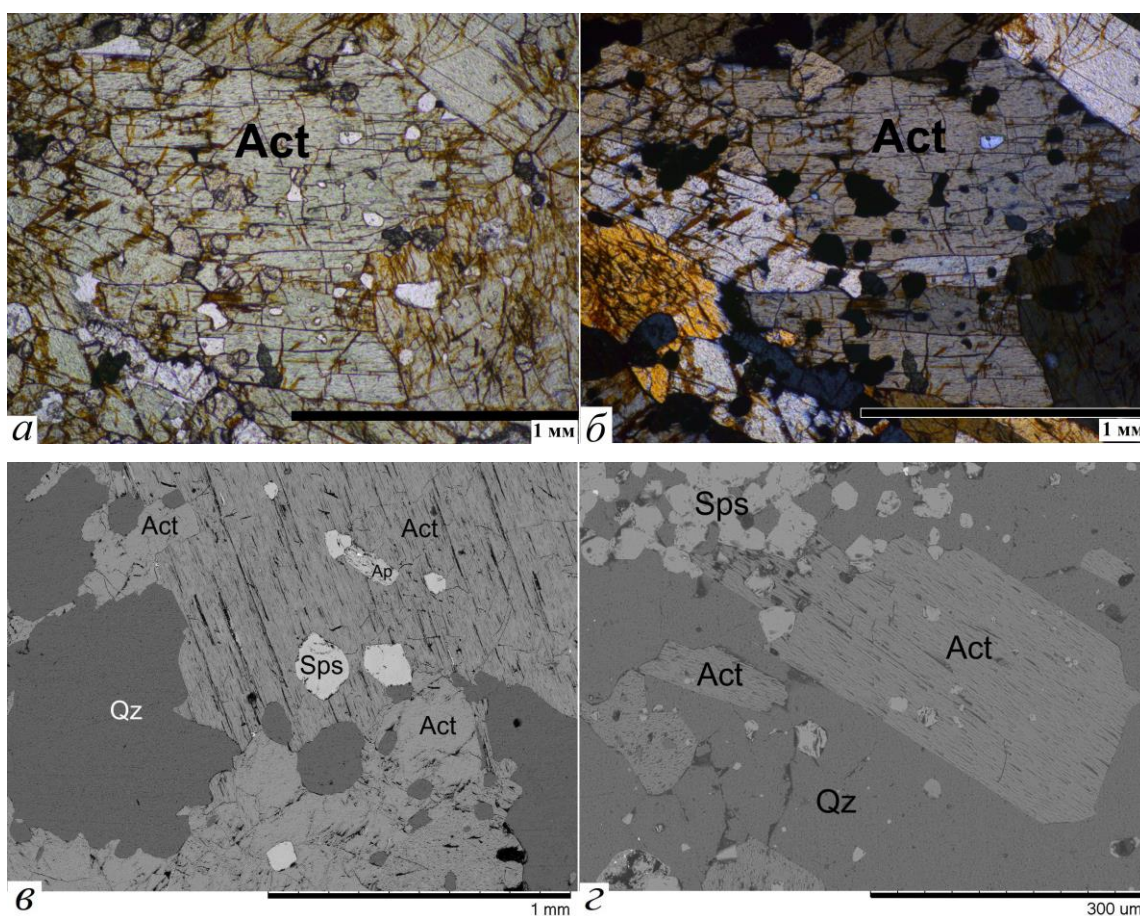


Рис. 21 Марганцовистый актинолит в спессартин-амфиболовой ассоциации (фотографии *a* и *б*) и кварц-спессартин-амфиболовой ассоциации (фотографии *в* и *г*). Фотографии: *a* и *б* шлифа в проходящем свете (*a* – без анализатора, *б* – николи скрещены), *в* и *г* – аншлифа в обратно-отраженных электронах. *Минералы*: Sps – спессартин, Act – марганцовистый актинолит, Qz – кварц, Ap - апатит.

Манганокуммингтонит. Встречается вместе с родонитом или в сростках с марганцовистым актинолитом в ассоциациях более обогащенных марганцем. Форма выделения – пластинчатые или удлинённые призматические кристаллы, с размерами зерен от 20 до 300 мкм (рис. 22).

Манганокуммингтонит в шлифах имеет чаще бесцветные или зеленоватые призматические кристаллы, иногда в сростках с марганцовистым актинолитом. Цвета интерференции – до сине-фиолетовых.

По химическому составу к манганокуммингтониту отнесены амфиболы с содержанием CaO менее 7%.

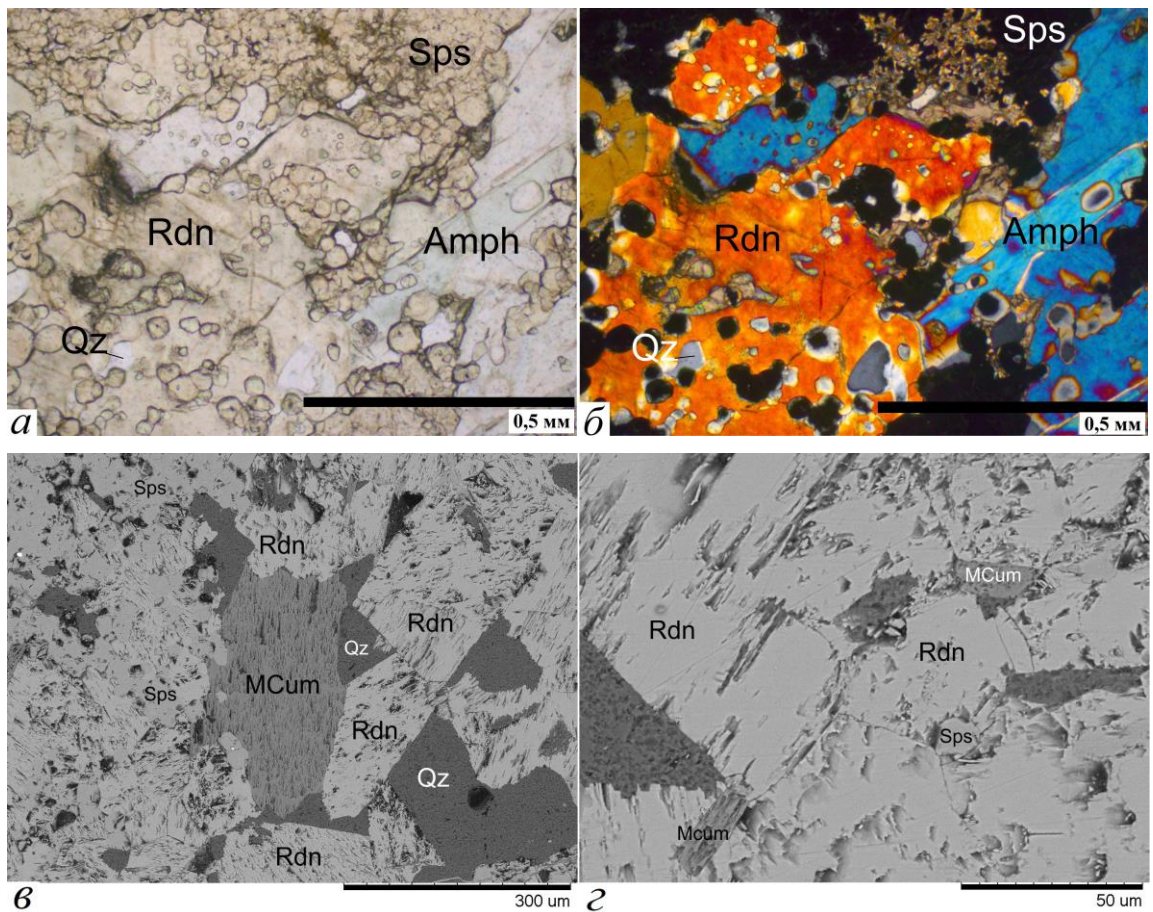


Рис. 22 Манганокуммингтонит в ассоциации с родонитом. Фотографии: а и б шлифа в проходящем свете (а – без анализатора, б – николи скрещены), в и г – аншлифа в обратно-отраженных электронах. Минералы: Sps – спессартин, Rdn – родонит, MCum – манганокуммингтонит, Amph – амфибол, Qz – кварц.

Тефроит. Тефроит, согласно Прибавкину С. В. с коллегами (2016) образует тонкозернистые агрегаты зеленовато-серого цвета, в которых тесно ассоциирует с родохрозитом и спессартином. Реже встречаются оторочки среднезернистого тефроита на контакте родохрозит-тефроитовых агрегатов с родонитом, являющихся результатом собирательной перекристаллизации. Обычно тефроит сростается с родохрозитом и также как родонит замещается окислами марганца.

Химический состав тефроита следующий (масс. %): SiO₂ 30.68, FeO^{общ} 4.00, MnO^{общ} 60.14, MgO 5.13, CaO 0.05. Обращает на себя внимание высокие содержания FeO и MgO около 4 и 5 мас.% соответственно (рис. 23). Такие содержания примесей отличают его от тефроита из других среднеуральских месторождений, в которых этот минерал не содержит более 3.5 мас.% суммы FeO+MgO.

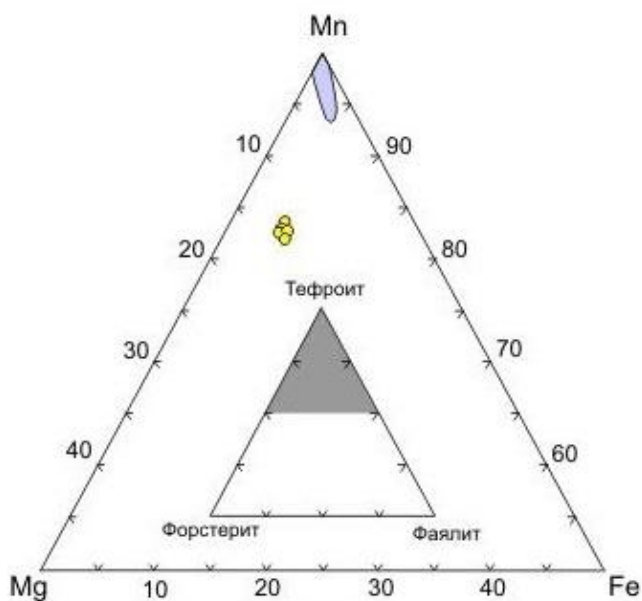


Рис. 23 Состав тэфроита (Прибавкин и др., 2016). Залитое поле – составы минералов из Малоседельниковского, Кургановского, Бородулинского месторождений Среднего Урала (по Брусницыну А. И., 2000)

Родохрозит. Родохрозит, согласно Прибавкину С. В. с коллегами (2016) обнаружен в небольших, акцессорных количествах. Исследование состава минерала показало наличие двух ассоциаций родохрозита, имеющих отличия в химическом составе. Установлено, что родохрозит, находящийся в ассоциации с тэфроитом отличается повышенным содержанием MgO и CaO до 6 и 8 мас.%, соответственно, а ассоциирующий с родонитом содержит MgO не более 1.5 мас.%. Примеси железа в родохрозите обеих ассоциаций не превышают 2.5 мас.% FeO (рис. 24).

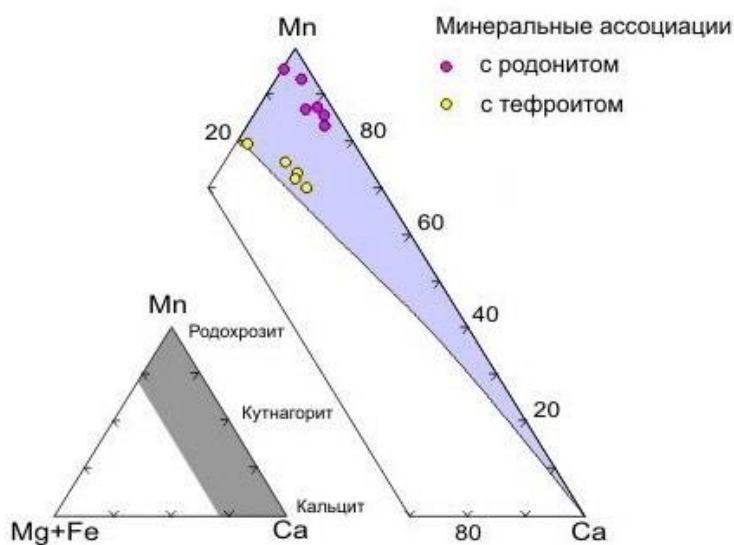


Рис. 24 Состав родохрозита (Прибавкин и др., 2016). Залитое поле – составы минералов из Малоседельниковского, Кургановского, Бородулинского месторождений Среднего Урала (по Брусницыну А. И., 2000).

Второстепенные и акцессорные минералы

Диопсид. Моноклинный пироксен диагностирован по результатам рентгенофазового анализа по всем основным пикам (приложение 14):

При исследовании с помощью электронного микроскопа диопсид обнаружен в виде включений (5–10 мкм в поперечнике) в зернах спессартина (рис. 25).

По результатам химического анализа выявлено наличие Mn, Fe, Al и Na в составе минерала. Нами рассчитана формула минерала на 6 кислорода $(\text{Ca}_{0.74}\text{Mn}_{0.24}\text{Na}_{0.02})_1(\text{Mg}_{0.66}\text{Fe}^{2+}_{0.21}\text{Mn}_{0.03}\text{Al}_{0.03})_{0.93}\text{Si}_{2.03}\text{O}_6$. Название минерала дано по преобладающему диопсидовому минералу.

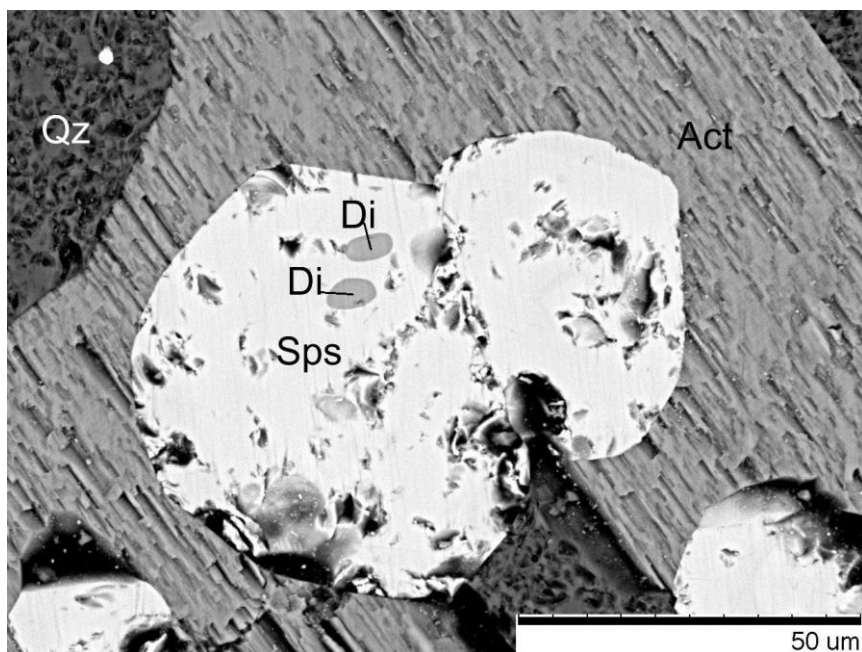


Рис. 25 Включение зерен диопсида в спессартине. Минералы: Di – диопсид, Act – марганцовистый актинолит, Sps – спессартин, Qz – кварц.

Калиевый полевой шпат встречен в кварц-спессартиновой породе, диагностирован с помощью оптической микроскопии как второстепенный минерал кварц-спессартиновой породы (рис. 26) Калиевый полевой шпат в шлифе имеет бесцветные зерна неправильной формы до 1 мм в поперечнике, показатель преломления ниже, чем у кварца, при скрещенных николях видны полисинтетические двойники, двулучепреломление слабое, серые цвета интерференции.

Результаты химического анализа калиевого шпата приведены в таблице 6. В 1/3 анализов содержится примесь BaO до 2.72 масс. %.

Таблица. 6. Нормированные анализы (масс. %) и коэффициенты в кристаллохимических формулах калиевого полевого шпата

Компонент	Образец											
	1	2	3	4	6	7	8	9	10	11	12	
SiO ₂	65.55	67.17	65.48	65.72	67.01	66.36	67.30	66.87	66.82	65.97	64.90	
Al ₂ O ₃	17.98	18.39	18.12	17.36	18.04	18.30	18.03	18.42	18.51	19.20	18.34	
Na ₂ O	1.40	1.62	1.51	1.43	1.46	1.75	1.37	1.64	1.31	1.65	1.56	
K ₂ O	13.02	12.82	13.44	12.98	13.49	13.59	13.30	13.07	13.36	13.18	12.48	
BaO	2.05	0.00	1.45	2.51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.72	
Сумма	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Коэффициенты рассчитаны на 8 кислородов												
Si	3.02	3.04	3.02	3.04	3.05	3.03	3.05	3.04	3.03	3.00	3.01	
Al	0.98	0.98	0.98	0.95	0.97	0.98	0.96	0.99	0.99	1.03	1.00	
Na	0.13	0.14	0.13	0.13	0.13	0.15	0.12	0.14	0.12	0.15	0.14	
K	0.77	0.74	0.79	0.77	0.78	0.79	0.77	0.76	0.77	0.76	0.74	
Ba	0.04	0.00	0.03	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	

Примечание. Анализы полуколичественные, выполненные на электронном микроскопе-микроанализаторе Hitachi TM 3000.

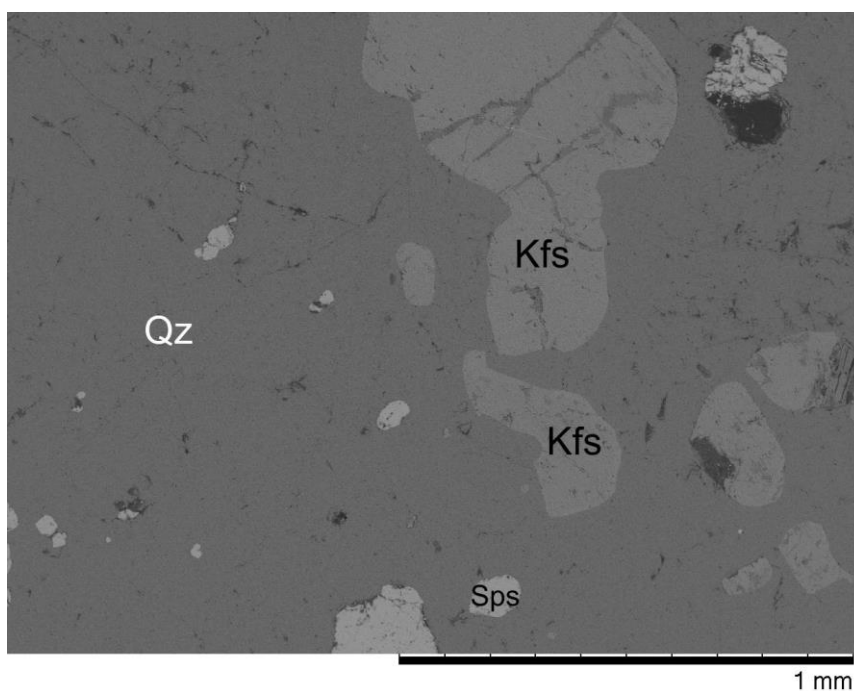


Рис. 26 Калиевый полевой шпат в кварц-спессартиновой породе. Минералы: Kfs - калиевый полевой шпат, Sps – спессартин, Qz – кварц.

Циркон. Встречается повсеместно во всех видах минеральных ассоциаций родонитовых пород (рис.27). Циркон диагностирован методом оптической микроскопии. В

шлифах циркон представлен единичными плохо ограненными зернами с высоким рельефом и высоким двулучепреломлением.

Минерал диагностирован также методом электронной микроскопии.

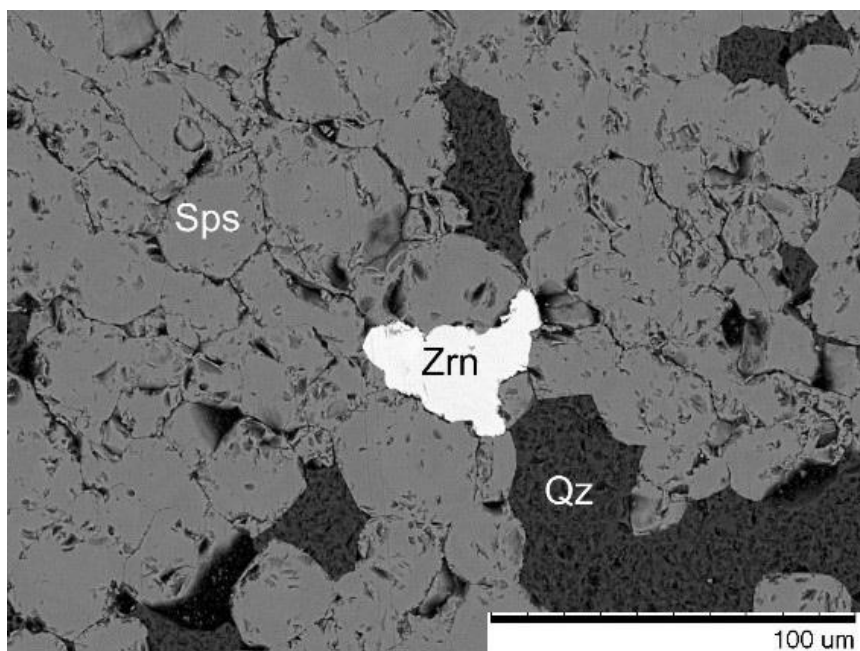


Рис. 27 Зерно циркона в кварц-спессартиновой ассоциации. Минералы: Zrn – циркон, Sps – спессартин, Qz – кварц.

Титанит. Диагностирован методом электронной микроскопии. Титанит встречается в породе в виде скоплений мелких изометричных зерен до 100 мкм. Часто ассоциирует со спессартином (рис. 28), обогащая близлежащие зерна спессартина Тi.

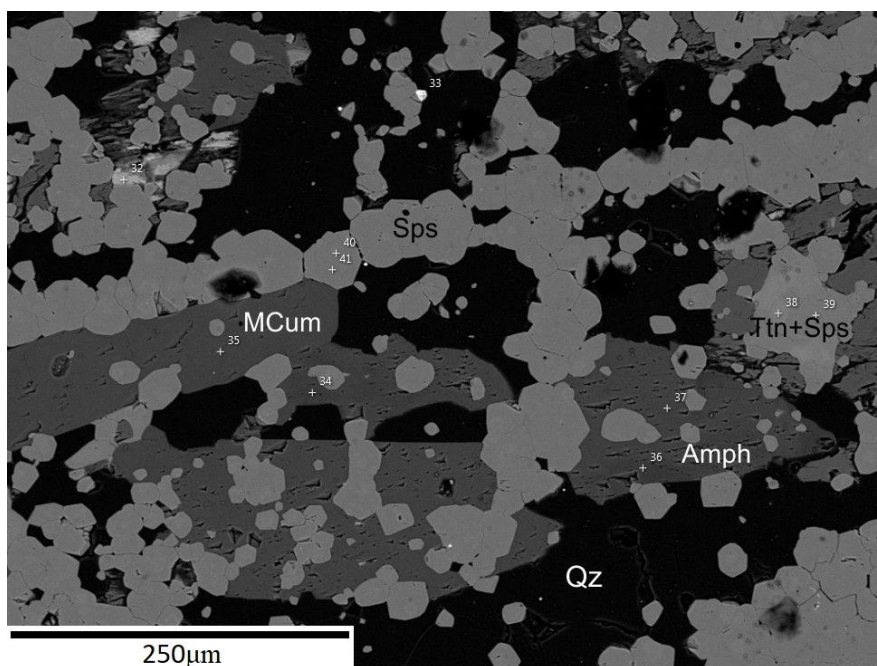


Рис. 28 Титанит в ассоциации со спессартином. Минералы: Ttn – титанит, Sps – спессартин, MCum – манганокуммингтонит, Amph – амфибол, Qz – кварц

Апатит диагностирован методом электронной микроскопии. Апатит встречается в виде единичных зерен различного размера от 0,2 мм до 2-3 мм (рис. 29). В шлифах апатит бесцветный со множеством мелких включений, зерна неправильной формы, серые цвета интерференции.

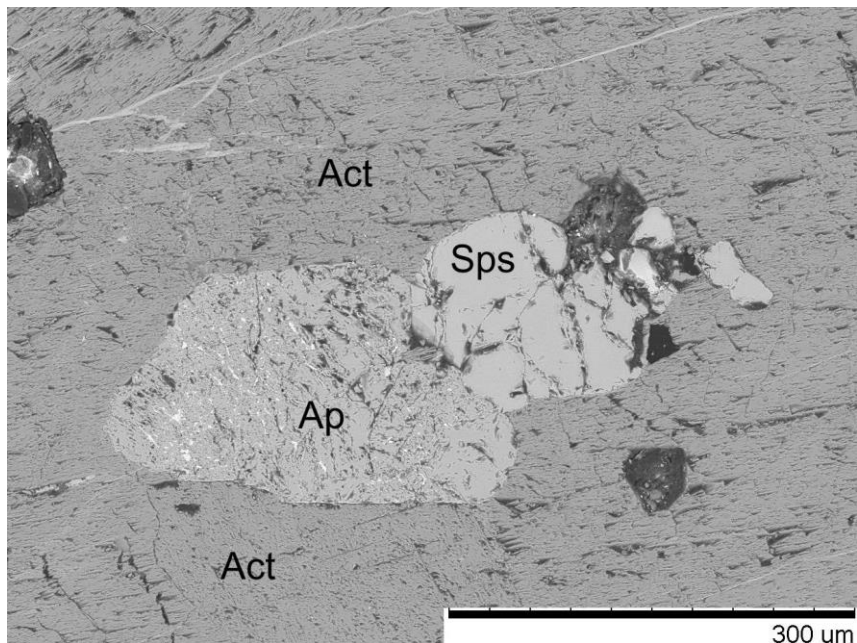


Рис. 29 Зерно апатита в кварц-спессартин-амфиболовой ассоциации. *Минералы:* Ap – апатит, Sps – спессартин, Act – марганцовистый.

Монацит-Се. Монацит-Се диагностирован методом оптической микроскопии как акцессорный минерал. По результатам химического анализа выявлено, что среди лантаноидов в составе монацита преобладает Се (рис. 30).

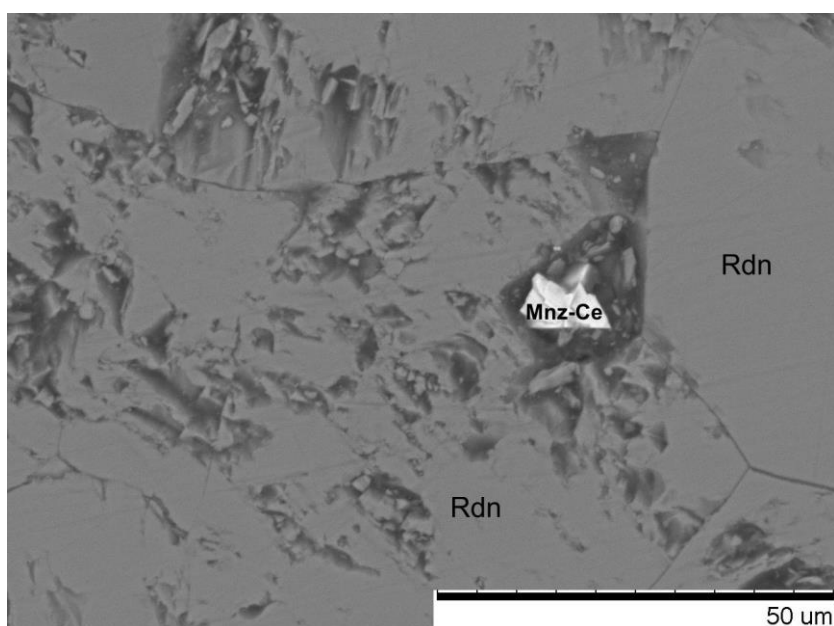


Рис. 30 Монацит в ассоциации с родонитом. *Минералы:* Mnz-Ce – монацит, Rdn –

родонит.

Пирофанит диагностирован методом электронной микроскопии в качестве акцессорного минерала в кварц-спессартин-родонитовой ассоциации. Пирофанит встречается в виде единичных вытянутых призматических зерен до 0.1 мм длиной (рис. 31). Минерал содержит примесь FeO. На основе химического анализа рассчитана формула пирофанита: $(\text{Mn}_{0.87}\text{Fe}_{0.08})_{0.95}\text{Ti}_{1.05}\text{O}_{3.05}$.

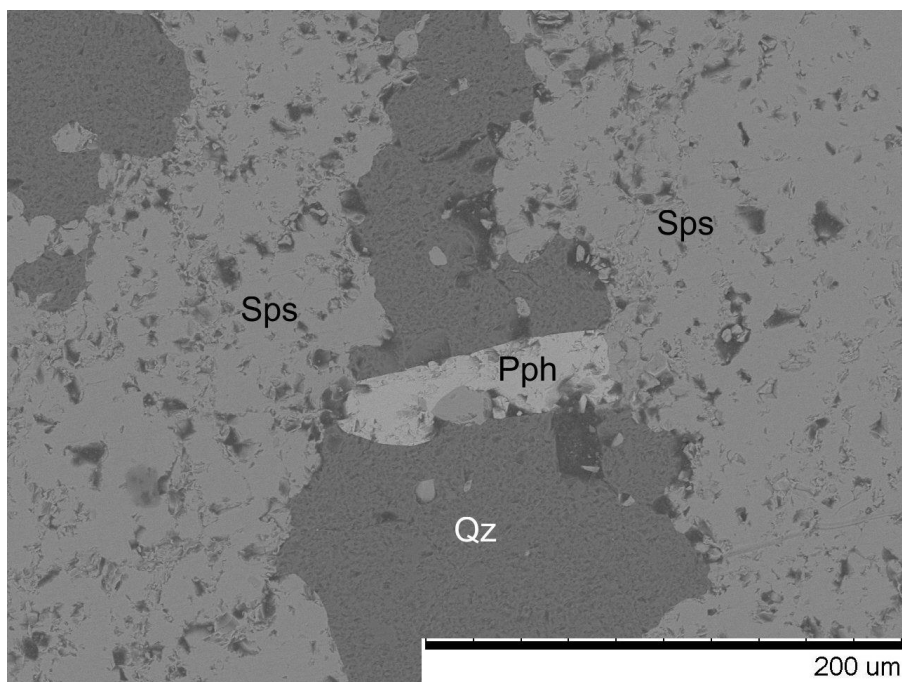


Рис. 31 **Зерно пирофанита в кварц-спессартин-родонитовой ассоциации.** *Минералы:* Pph – пирофанит, Sps – спессартин, Qz – кварц.

ГЛАВА 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования предполагали решение двух задач: 1) изучение минералогии родонитовых пород Гагарского месторождения и 2) сопоставление минералогии изученных пород и пород других родонитовых месторождений Среднего Урала (Малоседельниковского, Кургановского и Бородулинского).

Месторождения родонитовых пород на Среднем Урале имеют сходное геологическое строение. Родонитовые породы залегают согласно с вмещающими метаморфизованными вулканогенно-осадочными породами. Различными же являются условия регионального метаморфизма. Параметры регионального метаморфизма для основной группы среднеуральских месторождений (Малоседельниковского, Кургановского и Бородулинского) соответствуют верхней границе зелёсланцевой фации: $T = 450\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}3.5$ кбар. Породы Гагарского месторождения метаморфизованы в условиях амфиболитовой фации с параметрами $T = 500\text{--}600\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}5$ кбар. Предполагалось, что сравнение минерального состава родонитовых пород, метаморфизованных при разных PT -условиях, позволит выявить направленность изменения минералогии пород по мере увеличения температуры и давления.

Полученные нами результаты сводятся к следующим:

1. В составе родонитовых пород Гагарского месторождения диагностировано 20 минералов. Главными являются родонит, спессартин, кварц, марганцовистый актинолит и манганокуммингтонит. Второстепенные и акцессорные представлены диопсидом, калиевым полевым шпатом, цирконом, апатитом, монацитом-Се, титанитом, пирофанитом, магнетитом. Разнообразие облика пород определяется количественными соотношениями ведущих минералов.
2. Сопоставление с данными по другим месторождениям приведено в таблице 7.

Прежде чем анализировать данные этой таблицы необходимо отметить следующее. Родонитовые породы Малоседельниковского, Кургановского и Бородулинского месторождения изучены несравнимо более полно и на более представительном материале, чем породы Гагарского месторождения. Так, в наших образцах не оказалось типичной для Среднего Урала обогащенной марганцем ассоциации, состоящей из тефроита, сонолита, аллеганита, родохрозита и некоторых других минералов. Эти минералы упоминались на Гагарском месторождении Прибавкиным С. В. с соавторами (2016), но степень их изучения остается недостаточной. Поэтому наши сравнения мы будем проводить только по ассоциациям с относительно высокими содержаниями кремнезема – собственно родонитовым породам.

Если учитывать только эти породы, то из таблицы 7 видно, что различия в минеральном составе родонитовых пород Гагарского и других месторождений Среднего Урала не установлено. Несмотря на очевидное различие в степени метаморфизма вмещающих пород, родонитовые залежи сложены одними и теми же минералами.

Таблица 7. Сравнение минерального состава родонитовых пород из месторождений Среднего Урала

№	Минерал	Фации метаморфизма			
		Зеленосланцевая			Амфиболитовая
		Месторождения			
		М.Седельн.	Курган.	Бородулин.	Гагарское
1	Графит	+			+
2	Алабандин	+	+	+	
3	Пирит	+	+	+	+
4	Кварц	+	+	+	+
5	Магнетит				+
6	Галаксит	+		+	
7	Пирофанит	+	+	+	+
8	Тефроит	+	+	+	+
9	Сонолит	+		+	
10	Аллеганит	+		+	
11	Спессаргин	+	+	+	+
12	Титанит				+
13	Циркон				+
14	Родонит	+	+	+	+
15	Пироксмангит	+			+
16	Диопсид				+
17	Тремолит			+	
18	Марганцовистый актинолит				+
19	Манганокуммингтонит	+	+		+
20	Келлиит	+		+	
21	Родохрозит	+	+	+	+
22	Кальцит			+	
23	Монацит-Се	+			+
24	Апатит		+		+

Примечание. Желтым выделены минералы, которые встречаются в сильно обогащённых марганцем ассоциациях.

В то же время, между этими породами все же установлены различия:

а) По сравнению с другими месторождениями Среднего Урала родонитовые породы Гагарского месторождения более грубозернистые, хорошо раскристаллизованные, зерна родонита, спессартина и амфиболов часто представлены ясно ограненными индивидами.

б) Химический состав породообразующих минералов родонитовых пород разных месторождений отличается. Родонит и спессартин Гагарского месторождения имеют более высокое содержание Fe, Mg и Ca.

в) Амфиболы — марганцовистый актинолит и манганокуммингтонит — на Гагарском месторождении являются породообразующими минералами, в то время как амфиболы — тремолит и манганокуммингтонит — на Малоседельниковском, Кургановском и Бородулинском месторождениях встречаются только в качестве второстепенных минералов.

Возможно, именно эти различия отражают разницу в степени метаморфизма родонитовых пород Среднего Урала. Но, этот вопрос требует дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования проведена диагностика минералов родонитовых пород Гагарского месторождения современными аналитическими методами и составлено их детализированное описание. В составе родонитовых пород Гагарского месторождения диагностировано 20 минералов. Главными являются родонит, спессартин, кварц, марганцовистый актинолит и манганокуммингтонит. Второстепенные и акцессорные представлены диопсидом, калиевым полевым шпатом, цирконом, апатитом, монацитом-Се, титанитом, пирофанитом, магнетитом.

При сравнении полученных данных о минеральном составе с минералогией уже изученных ранее Малоседельниковского, Кургановского и Бородулинского месторождений родонитовых пород существенных различий не найдено. Но установлены различия в химическом составе породообразующих минералов родонитовых пород этих месторождений. Возможно, именно эти различия отражают разницу в степени метаморфизма родонитовых пород Среднего Урала. Но, этот вопрос требует дальнейшего изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аринштейн М.Б., Мельников Е.П., Шакинко И.М. Цветные камни Урала. Свердловск: Средне-Уральское книжное из-во, 1986, 224 с.
2. Брусницын А.И. Минералогия месторождений поделочных родонитовых пород Среднего Урала // Зап. ВМО, 1998. № 3. С.1–11.
3. Брусницын А.И. Родонитовые месторождения Среднего Урала (минералогия и генезис). СПб.: СПбГУ, 2000, 200 с.
4. Брусницын А.И. Минералогия метаморфизованных марганцевых отложений Южного Урала // Зап. РМО, 2009. № 5. С.1–18.
5. Брусницын А.И. Минералогия марганцевоносных метаосадков Южного Урала. СПб.: СПбГУ, ООО «ИПК КОСТА», 2013, 160 с.
6. Брусницын А.И. Парнокское марганцевое месторождение, Полярный Урал: минералогия, геохимия и генезис руд. СПб.: СПбГУ: Институт наук о Земле, 2015, 116 с.
7. Брусницын А.И., Жуков И.Г. Марганцевые отложения Магнитогорского палеовулканического пояса (Южный Урал): строение залежей, состав, генезис // Литосфера, 2010. № 2. С.77–99.
8. Брусницын А.И., Старикова Е.В., Жуков И.Г. Месторождения метаманганолитов Урала // Минералогия, 2016. № 3. С.3-31.
9. Буканов В. В. Цветные камни. Энциклопедия. Санкт-Петербург, 2008, 416 с.
10. Власов К. А., Кутукова Е. И. Баженовское месторождение марганца (родонита) на Урале // Труды института геологических наук. Выпуск 39. Мин.-геохимическая серия, 1940. №8. С.1-4.
11. Голдобин А.В. Родонит // Горный журнал. Уральское горное обозрение, 1994. № 11–12. С.20–29.
12. Голомзик А.И. Родонит. Свердловск: Средне-Уральское книжное изд-во, 1983, 160 с.
13. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации. Выпуск 79. Цветные камни. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Федеральное агентство по недропользованию. ФГБУ «РОСГЕОЛФОНД», Москва, 2018, 236 с.
14. Казаков И. И., Стороженко Е. В., Харитонов И. Н., Стефановский В. В. и др.

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (издание второе). Серия Средне-Уральская. Лист О-41-XXVI (Асбест). Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2017. 284 с. + 13 вкл.

15. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н. Геология месторождений поделочных камней.- М.: Недра, 1983. 264 с.

16. Киевленко Е.Я. Поиски и оценка месторождений драгоценных и поделочных камней. М.: Недра, 1980, 166 с.

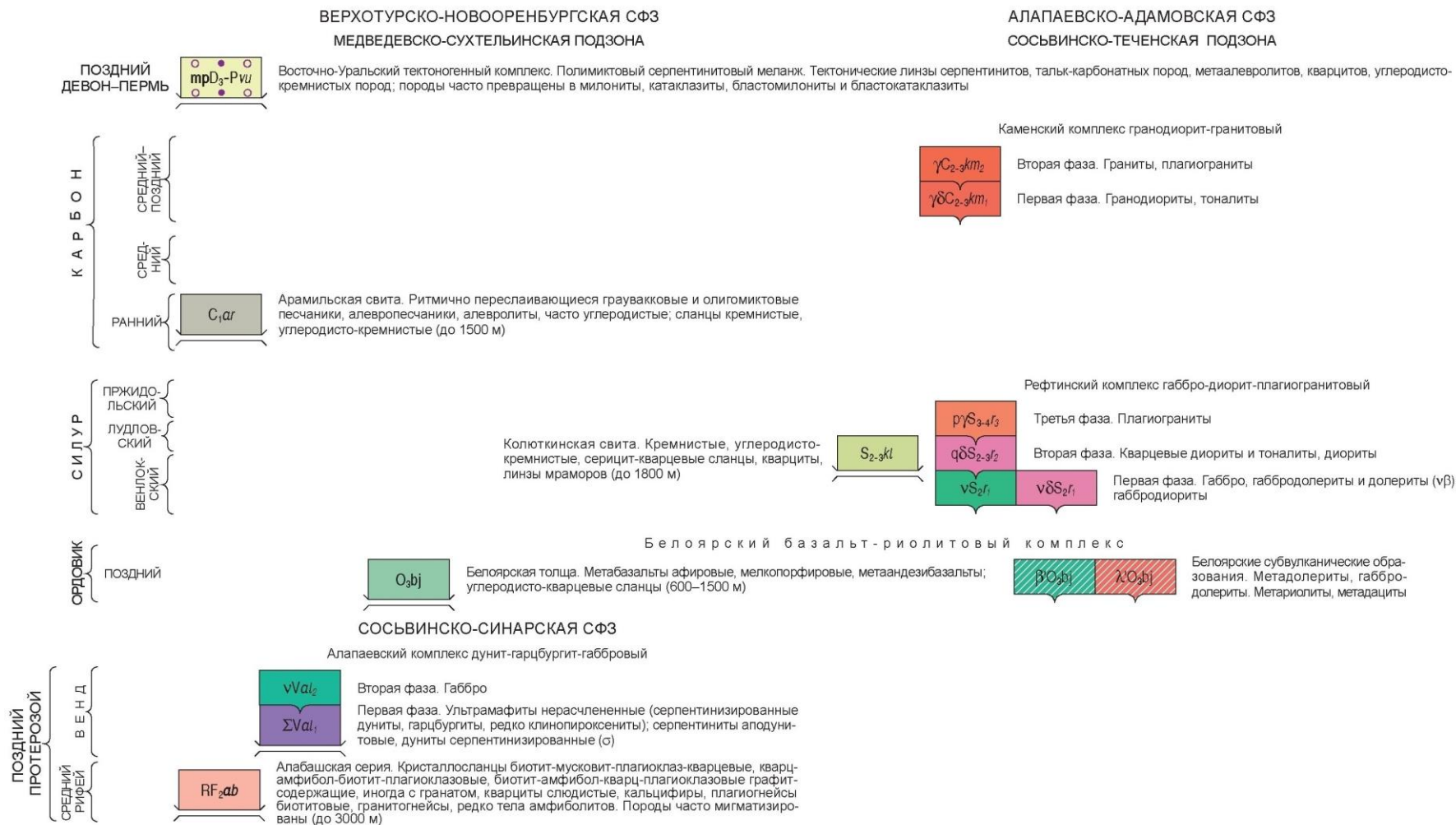
17. Контарь Е.С., Савельева К.П., Сурганов А.В., Алешин Б.М., Шишкин М.А., Герасимов Н.Н., Костромин Д.А., Папулова О.Б., Сергеева В.В. Марганцевые месторождения Урала. Екатеринбург, 1999, 120 с.

18. Номенклатура амфиболов: Доклад Подкомитета по амфиболам Комиссии по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМНМ ММА) // Записки Российского минералогического общества, 1997. Часть 126. Выпуск 6. С.82-102.

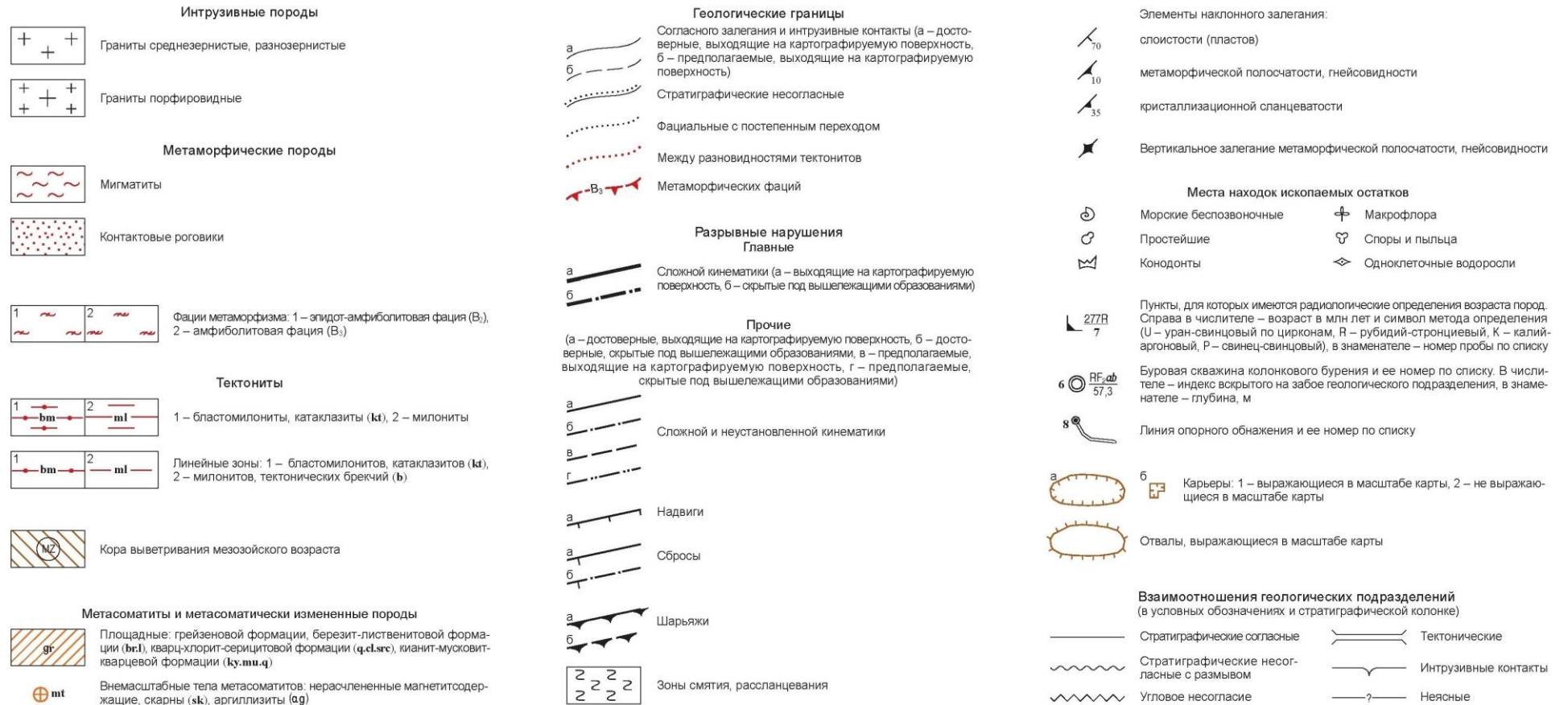
19. Прибавкин С.В., Григорьев В.В., Квачев В.И., Готтман И.А., Галахова О.Л. Минералогия Гагарского проявления родонита // XXII Уральская минералогическая школа, 2016. Сборник. Екатеринбург: ООО Универсальная Типография «Альфа Принт», 2016. С. 94-100.

20. Рой С. Месторождения марганца. М.: Мир, 1986, 520 с.

Условные обозначения к геологической карте. Лист 1 (ГГК-200/2 О-41-XXVI; Казаков и др., 2017)



Условные обозначения к геологической карте. Лист 2 (ГГК-200/2 О-41-XXVI; Казаков и др., 2017)



Минеральный состав родонитовых пород Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа

№ п/п	№ образца	Описание пробы	Диагностированные минералы	Главные диагностические линии d(Å)/I	Эталон
1	Гр-1-1	Основная тонко-полосчатая светло-бежевая масса	Кварц	4.24/20; 3.33/100; 2.45/7; 2.28/7; 2.233/3; 2.124/5; 1.816/11; 1.670/31.540/7; 1.374/4	01-086-1629
			Спессартин	2.90/3; 2.60/9; 2.28/7; 2.37/2; 2.124/5; 1.886/2; 1.678/1; 1.613/2; 1.554/2; 1.452/1; 1.371/3	01-070-8536
			Актинолит	8.36/1; 2.60/9; 2.45/7; 2.28/7; 1.977/3; 1.816/11; 1.613/2; 1.554/2; 1.381/3; 1.371/3	01-089-5368
			Гаусманит	3.07/0,2; 2.71/0,2; 2.45/7; 1.454/0,4;	01-075-1560
2	Гр-1-2	Бежевая масса с зеленовато-серыми прожилками	Кварц	4,27/19; 3,35/100; 2,46/7; 2,28/7; 2,127/6; 1,818/11; 1,542/7; 1,382/4; 1,375/5	01-075-0443
			Спессартин	2,91/3; 2,60/9; 2,38/2; 2,28/7; 2,127/6; 1,888/2; 1,615/2; 1,556/3; 1,372/3	01-075-5177
			Актинолит	8,39/1; 3,35/100; 3,23/1; 2,91/3; 2,38/2; 2,28/7; 2,236/3; 2,127/6; 1,672/3	00-041-1366
3	Гр-2	Основная бежевая масса с темно-зеленым	Спессартин	4.74/1; 3.12/8; 2.90/9; 2.60/26; 2.48/2; 2.37/5; 2.28/7; 2.123/8; 1.887/5; 1.613/5; 1.555/7; 1.371/3	01-070-8536
			Кварц	4.24/19; 3.33/100; 2.45/7; 2.28/7; 2.123/8; 1.976/3; 1.815/11; 1.669/3; 1.540/7; 1.371/3	01-083-2465
			Актинолит	8.35/15; 3.12/8; 2.71/5; 2.60/26; 2.53/2; 2.28/7; 1.887/5; 1.555/7; 1.381/4; 1.679/3;	01-085-2157

Минеральный состав родонитовых пород Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа

№ п/п	№ образца	Описание пробы	Диагностированные минералы	Главные диагностические линии d(Å)/I	Эталон
4	Гр-3а	Минерал со спайностью	Актинолит	8.99/19; 8.36/100; 4.86/10; 4.51/11; 3.39/16; 3.27/26; 3.12/73; 2.95/14; 2.71/41; 2.60/32; 2.53/16;	00-041-1366
			Кварц	4.24/60; 3.33/68; 2.45/3; 2.27/5; 2.124/23; 1.977/2; 1.816/7; 1.653/11; 1.371/2	01-085-0865
			Спессартин	3.12/73; 2.91/9; 2.60/32; 2.38/5; 2.27/5; 2.124/23; 1.889/10; 1.584/4; 1.556/7; 1.435/7	01-087-1717
5	Гр-3б	Основная красновато-коричневая масса	Спессартин	2.91/14; 2.60/39; 2.37/8; 2.28/5; 2.124/10; 1.888/8; 1.680/5; 1.615/9; 1.556/11; 1.456/3	01-087-1717
			Кварц	4.24/20; 3.33/100; 2.45/7; 2.28/5; 2.232/3; 1.976/3; 1.815/10; 1.670/3; 1.540/6; 1.371/3	01-083-0539
6	Гр-3с	Основная темно-коричневая масса	Спессартин	4.74/3; 3.12/7; 2.91/21; 2.60/56; 2.28/9; 2.38/11; 2.124/11; 1.889/10; 1.614/10; 1.556/13;	01-087-1717
			Кварц	4.24/20; 3.33/100; 2.45/7; 2.232/5; 1.977/3; 1.815/10; 1.540/6; 1.381/4; 1.374/3; 1.456/3	01-087-2096
			Актинолит	9.01/4; 8.37/13; 3.38/2; 3.27/3; 2.71/5; 2.168/2; 1.456/3	01-080-0521
7	Гр-3-1	Коричневая основная масса	Спессартин	2,92/35; 2,61/100; 2,38/20; 2,28/12; 2,127/15 1,890/18; 1,683/11; 1,617/21; 1,558/27	01-089-4375
			Кварц	4,27/3; 3,35/16; 2,28/12; 2,127/15; 1,818/2; 1,457/6	01-078-2315

Минеральный состав родонитовых пород Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа

№ п/п	№ образца	Описание пробы	Диагностированные минералы	Главные диагностические линии d(Å)/I	Эталон
8	Гр-3-2	Черный слой с ясной спайностью	Кварц	4,27/5; 3,35/24; 2,46/2; 2,28/2; 2,128/3; 1,818/5; 1,543/2	01-089-1961
			Спессартин	2,92/5; 2,61/19; 2,38/5; 2,128/3; 1,892/7; 1,617/4; 1,587/6; 1,559/5	00-010-0354
			Роговая обманка	9,12/7; 8,48/100; 3,40/6; 3,16/6; 3,13/72; 2,95/6; 2,72/15; 2,61/19; 2,171/7; 1,656/8	01-080-0281
			Актинолит	9,12/7; 8,48/100; 4,23/8; 3,29/19; 3,13/72; 2,81/13; 2,72/15; 2,61/19; 2,171/7; 1,656/8; 1,438/6	01-089-5368
9	Гр-4	Основная красновато-коричневая масса	Спессартин	2.90/34; 2.60/99; 2.37/21; 2.28/11; 2.123/18; 1.887/16; 1.680/9; 1.614/19; 1.555/26; 1.456/5	01-075-5177
			Кварц	4.23/17; 3.33/100; 2.45/8; 2.28/11; 2.230/3; 2.123/18; 1.370/2	01-079-1910
			Гаусманит	2.48/5; 2.45/8; 1.539/7; 1.381/4	01-075-1560
10	Гр-7а	Коричневая стекловидная масса в гнездах и прожилках	Спессартин	2.90/36; 2.60/100; 2.37/20; 2.28/11; 2.121/16; 1.886/20; 1.613/21; 1.554/28	01-087-1716
			Кварц	4.23/7; 3.33/38; 2.45/3; 2.28/11; 2.121/16; 1.975/2;	01-070-8054

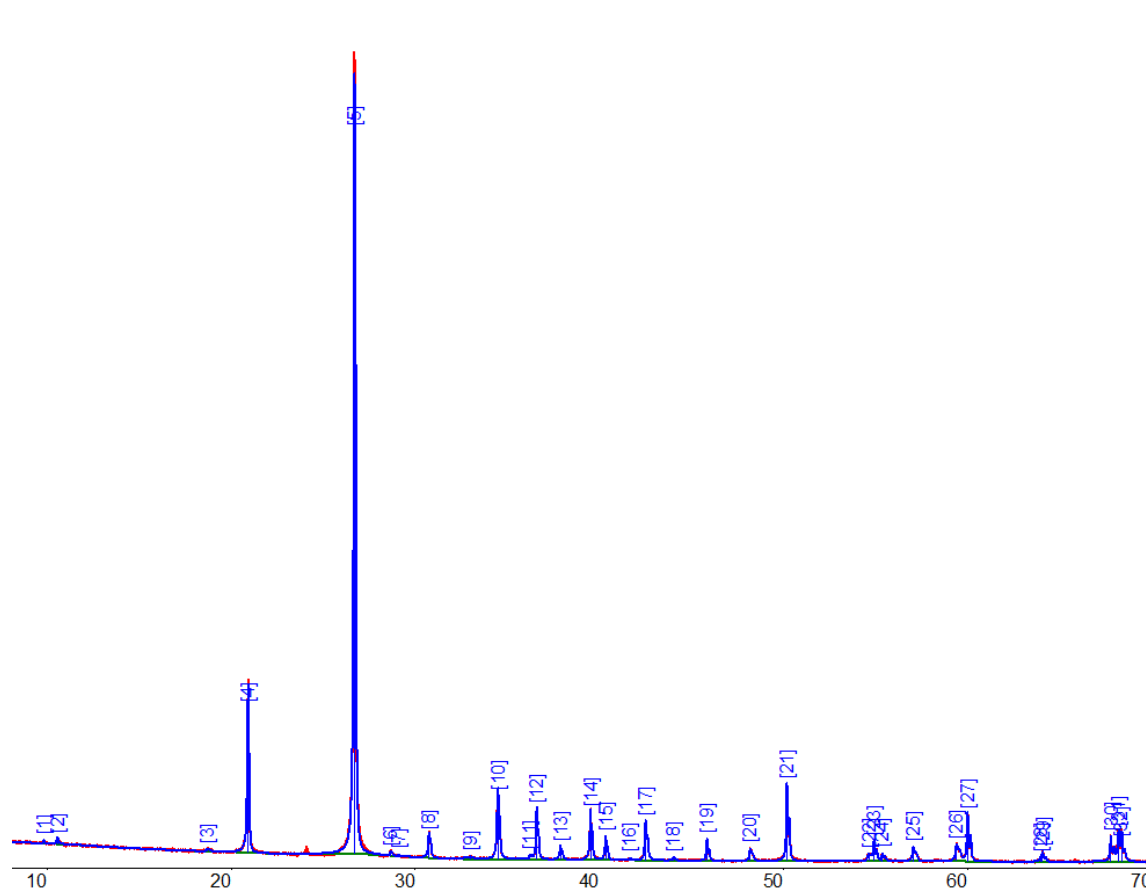
Минеральный состав родонитовых пород Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа

№ п/п	№ образца	Описание пробы	Диагностированные минералы	Главные диагностические линии d(Å)/I	Эталон
11	Гр-7b	Светло-бежевая тонкослоистая масса с зелеными включениями	Спессартин	4.72/4; 2.90/18; 2.60/49; 2.37/9; 2.28/11; 2.122/10; 2.054/2; 1.678/5	01-075-6807
			Кварц	4.23/22; 3.33/100; 2.28/11; 2.122/10; 1.814/10; 1.373/6	01-070-8054
			Амфибол	8.26/2; 4.72/2; 2.90/18; 2.45/7; 2.054/2; 1.814/10; 1.678/5; 1.373/6; 1.380/4	01-075-4428
			Авгит	3.33/100; 2.99/1; 2.95/1; 2.90/18; 2.231/3; 1.678/5; 1.539/6; 1.373/6	01-073-8552
12	Гр-7c	Насыщенно-бежевая масса	Спессартин	2.60/19; 2.28/7; 2.122/7; 1.613/4; 1.554/5; 1.370/2	01-087-1716
			Кварц	4.23/24; 3.33/100; 2.122/7; 1.814/10; 1.539/6; 1.381/4; 1.370/2	00-033-1161
13	Гр-7d	Розовая масса	Родонит	4.73/43; 3.53/47; 3.12/51; 3.07/67; 2.95/100; 2.92/62; 2.74/59; 2.58/30; 2.50/29; 1.884/28	01-076-0523
			Спессартин	4.09/7; 2.92/62; 2.59/66; 2.36/11; 1.884/28; 1.816/7; 1.713/8; 1.676/15; 1.617/10; 1.553/14	01-075-6807
14	Гр-7-1	Бежево-серая тонкослоистая масса	Спессартин	2,91/17; 2,61/49; 2,38/10; 2,28/11; 2,127/13; 1,889/10; 1,682/6; 1,616/11; 1,557/15; 1,372/5	01-089-4375
			Кварц	4,26/20; 3,35/100; 2,46/8; 2,28/11; 2,236/4; 2,127/13; 1,979/4; 1,818/13; 1,672/4; 1,542/9; 1,383/5; 1,375/6	01-075-8322

Минеральный состав родонитовых пород Гагарского месторождения по результатам рентгенофазового анализа

№ п/п	№ образца	Описание пробы	Диагностированные минералы	Главные диагностические линии d(Å)/I	Эталон
15	Гр-7-2	Зеленые кристаллы в коричнево-бежевой массе	Спессартин	3,12/16; 2,91/35; 2,60/100; 2,37/17; 2,28/13; 2,124/15; 1,888/18; 1,680/10; 1,615/19; 1,556/24	01-089-4375
			Кварц	4,27/8; 3,35/39; 2,45/3; 2,28/13; 2,124/15; 1,817/4; 1,542/2; 1,456/6	01-085-1054
			Актинолит	9,10/5; 8,45/25; 3,40/3; 3,28/5; 3,12/16; 2,95/2; 2,72/8; 2,60/100; 2,53/3; 2,37/17; 2,33/2; 2,124/15	01-089-5368

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-1-1



Рентгенограмма образца Гр-1-1. Основная тонкополосчатая светло-бежевая масса

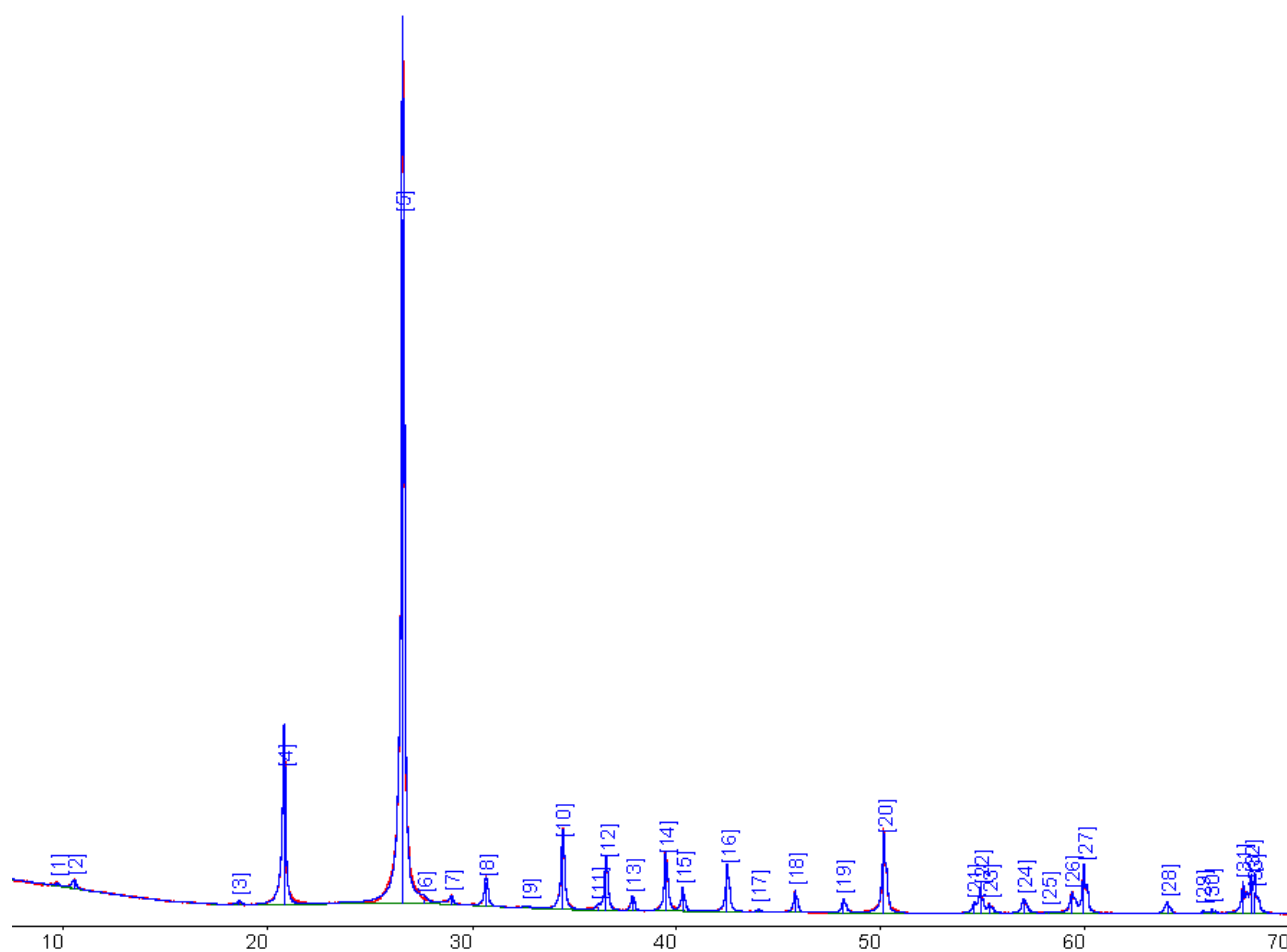
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-1-1. Основная тонкополосчатая светло-бежевая масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	9,83	8,99	Актинолит	0,3	01-089-5368
2	10,57	8,36	Актинолит	0,7	01-089-5368
3	18,70	4,74	Спессартин, Актинолит	0,2	01-070-8536 01-089-5368
4	20,93	4,24	Кварц	20,0	01-086-1629
5	26,71	3,33	Кварц	100,0	01-086-1629
6	28,66	3,11	Спессартин, Актинолит	0,5	01-070-8536 01-089-5368
7	29,09	3,07	Гаусманит	0,18	01-075-1560
8	30,76	2,90	Спессартин	3,1	01-070-8536
9	33,02	2,71	Актинолит, Гаусманит	0,2	01-089-5368 01-075-1560
10	34,50	2,60	Спессартин, Актинолит	8,7	01-070-8536 01-089-5368

Приложение 4 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
11	36,22	2,48	Спессартин, Гаусманит	0,4	01-070-8536 01-075-1560
12	36,61	2,45	Кварц, Актинолит, Гаусманит	6,8	01-086-1629 01-089-5368 01-075-1560
13	37,89	2,37	Спессартин	1,7	01-070-8536
14	39,54	2,28	Кварц, Спессартин, Актинолит	6,5	01-086-1629 01-070-8536 01-089-5368
15	40,35	2,233	Кварц	3,1	01-086-1629
16	41,63	2,168	Актинолит	0,2	01-089-5368
17	42,52	2,124	Кварц, Спессартин	5,2	01-086-1629 01-070-8536
18	44,04	2,055	Спессартин	0,3	01-070-8536
19	45,86	1,977	Кварц, Актинолит	2,9	01-086-1629 01-089-5368
20	48,21	1,886	Спессартин	1,6	01-070-8536
21	50,21	1,816	Кварц, Актинолит	10,5	01-086-1629 01-089-5368
22	54,65	1,678	Спессартин	0,96	01-070-8536
23	54,94	1,670	Кварц	2,7	01-086-1629
24	55,39	1,657	Кварц	1,0	01-086-1629
25	57,06	1,613	Спессартин, Актинолит	1,9	01-070-8536 01-089-5368
26	59,42	1,554	Спессартин, Актинолит	2,2	01-070-8536 01-089-5368
27	60,02	1,540	Кварц	6,5	01-086-1629
28	63,98	1,454	Актинолит, Гаусманит	0,4	01-089-5368 01-075-1560
29	64,09	1,452	Кварц, Спессартин, Актинолит	1,2	01-086-1629 01-070-8536 01-089-5368
30	67,80	1,381	Кварц, Актинолит	3,3	01-086-1629 01-089-5368
31	68,22	1,374	Кварц	4,1	01-086-1629
32	68,37	1,371	Кварц, Спессартин, Актинолит	2,6	01-086-1629 01-070-8536 01-089-5368

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-1-2



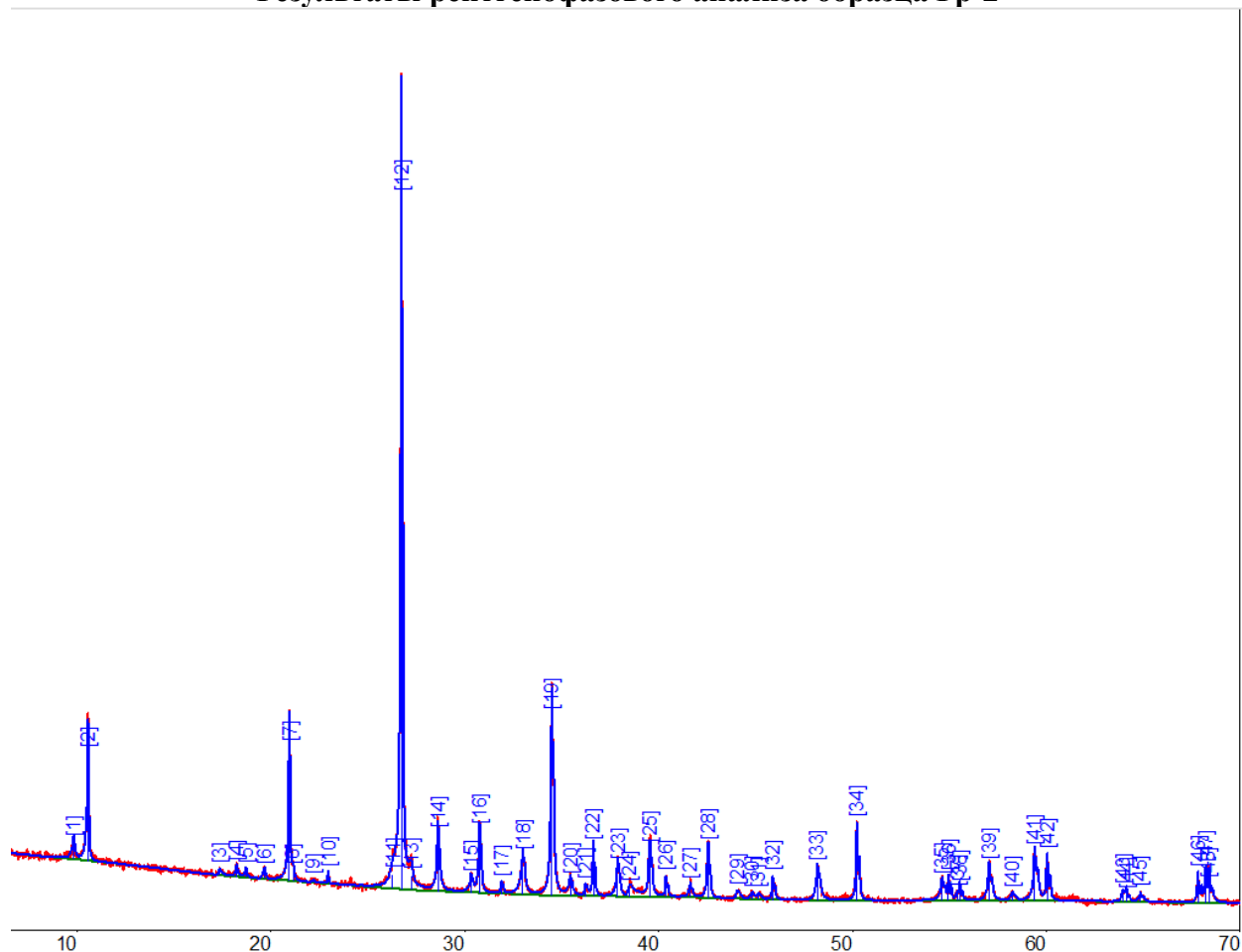
Рентгенограмма образца Гр-1-2. Бежевая масса с зеленовато-серыми прожилками

Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-1-2. Бежевая масса с зеленовато-серыми прожилками

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
2	10,54	8,39	Актинолит	0,9	00-041-1366
3	18,59	4,77	Спессартин, Актинолит	0,4	01-075-5177, 00-041-1366
4	20,8	4,27	Кварц	19,2	01-075-0443
5	26,6	3,35	Кварц, Актинолит	100,0	01-075-0443, 00-041-1366
6	27,63	3,23	Актинолит	0,5	00-041-1366
8	30,68	2,91	Спессартин, Актинолит	3,4	01-075-5177, 00-041-1366
9	32,81	2,73	Актинолит	0,1	00-041-1366
10	34,42	2,60	Спессартин	9,4	01-075-5177
11	36,17	2,48	Спессартин	0,5	01-075-5177

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
12	36,55	2,46	Кварц	6,7	01-075-0443
13	37,84	2,38	Спессартин, Актинолит	1,7	01-075-5177, 00- 041-1366
14	39,47	2,28	Кварц, Спессартин, Актинолит	7,3	01-075-0443, 01- 075-5177, 00-041- 1366
15	40,3	2,236	Кварц, Актинолит	3,0	01-075-0443, 00- 041-1366
16	42,47	2,127	Кварц, Спессартин, Актинолит	6,1	01-075-0443, 01- 075-5177, 00-041- 1366
17	43,98	2,057	Спессартин	0,3	01-075-5177
18	45,81	1,979	Кварц	2,9	01-075-0443
19	48,15	1,888	Спессартин	1,7	01-075-5177
20	50,14	1,818	Кварц	10,7	01-075-0443
21	54,57	1,680	Спессартин, Актинолит	1,3	01-075-5177, 00- 041-1366
22	54,86	1,672	Кварц, Актинолит	3,4	01-075-0443, 00- 041-1366
23	55,31	1,660	Кварц, Актинолит	1,2	01-075-0443, 00- 041-1366
24	56,99	1,615	Спессартин, Актинолит	1,8	01-075-5177, 00- 041-1366
25	58,18	1,584	Спессартин	0,2	01-075-5177
26	59,34	1,556	Спессартин	2,6	01-075-5177
27	59,93	1,542	Кварц	6,8	01-075-0443
28	64,02	1,453	Кварц, Спессартин, Актинолит	1,4	01-075-0443, 01- 075-5177, 00-041- 1366
29	65,76	1,419	Кварц	0,4	01-075-0443
30	66,19	1,411	Спессартин	0,6	01-075-5177
31	67,73	1,382	Кварц	4,2	01-075-0443
32	68,12	1,375	Кварц	4,9	01-075-0443
33	68,29	1,372	Кварц, Спессартин	2,9	01-075-0443, 01- 075-5177

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-2



Рентгенограмма образца Гр-2. Основная бежевая масса с темно-зеленым

Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-2. Основная бежевая масса с темно-зеленым

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/J ₀	Эталон
1	9,84	8,99	Актинолит	2,4	01-085-2157
2	10,58	8,35	Актинолит	15,3	01-085-2157
3	17,35	5,11	Актинолит	0,7	01-085-2157
4	18,24	4,86	Актинолит	1,3	01-085-2157
5	18,73	4,74	Спессартин Актинолит	1,1	01-070-8536 01-085-2157
6	19,70	4,50	Актинолит	1,1	01-085-2157
7	20,96	4,24	Кварц	19,2	01-083-2465
8	21,15	4,20	Актинолит	1,4	01-085-2157
9	22,21	4,00	Актинолит	0,2	01-085-2157
10	22,96	3,87	Актинолит	1,4	01-085-2157
11	26,29	3,39	Актинолит	2,0	01-085-2157
12	26,74	3,33	Кварц	100,0	01-083-2465

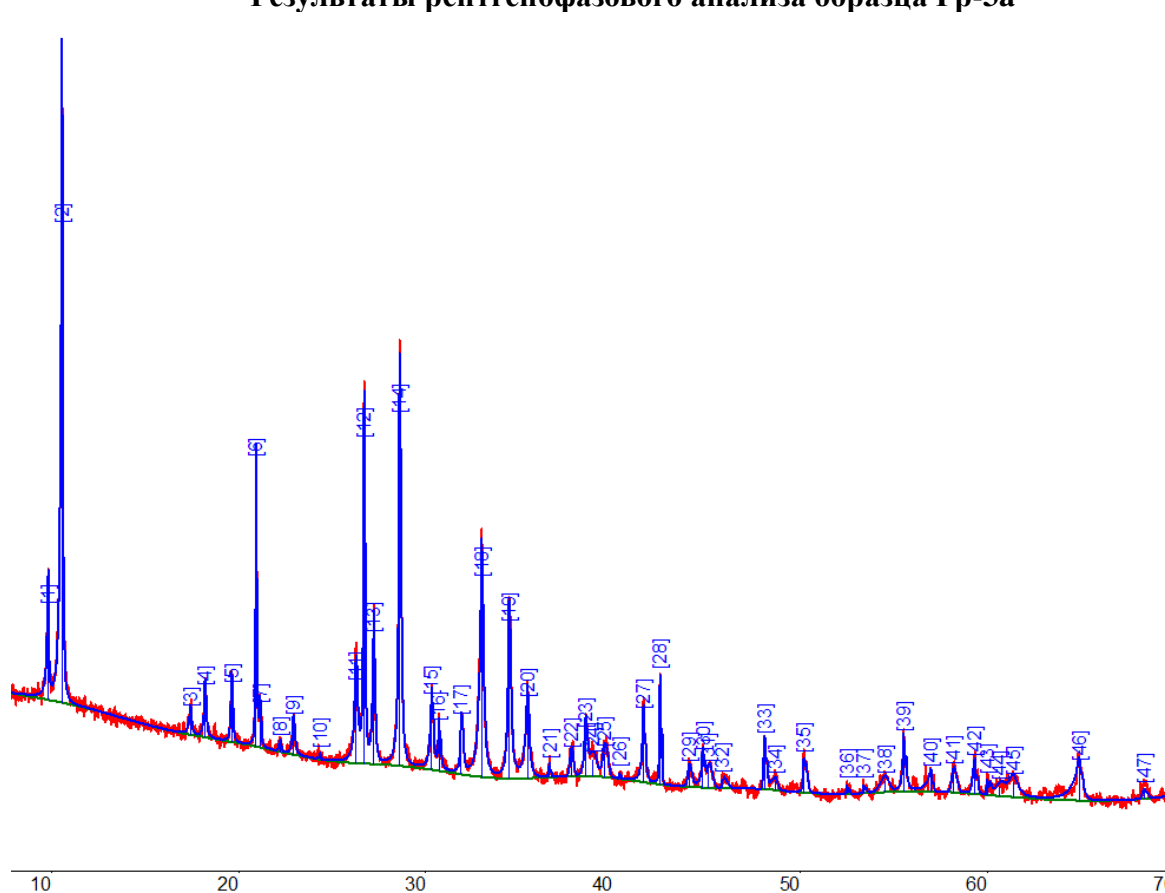
Приложение 6 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
13	27,25	3,27	Актинолит	2,0	01-085-2157
14	28,62	3,12	Спессартин Актинолит	8,2	01-070-8536 01-085-2157
15	30,34	2,94	Актинолит	2,0	01-085-2157
16	30,77	2,90	Спессартин	8,9	01-070-8536
17	31,90	2,80	Актинолит	1,6	01-085-2157
18	33,01	2,71	Актинолит	5,4	01-085-2157
19	34,49	2,60	Спессартин Актинолит	25,9	01-070-8536 01-085-2157
20	35,46	2,53	Актинолит	2,2	01-085-2157
21	36,23	2,48	Спессартин	1,6	01-070-8536
22	36,64	2,45	Кварц	7,2	01-083-2465
23	37,90	2,37	Спессартин Актинолит	4,5	01-070-8536 01-085-2157
24	38,49	2,34	Актинолит	1,2	01-085-2157
25	39,55	2,28	Спессартин Кварц Актинолит	6,9	01-070-8536 01-083-2465 01-085-2157
26	40,39	2,231	Кварц	2,9	01-083-2465
27	41,65	2,167	Актинолит	1,8	01-085-2157
28	42,55	2,123	Спессартин Кварц	7,5	01-070-8536 01-083-2465
29	44,04	2,055	Спессартин Актинолит	2,0	01-070-8536 01-085-2157
30	44,84	2,020	Актинолит	0,7	01-085-2157
31	45,15	2,007	Актинолит	0,6	01-085-2157
32	45,88	1,976	Кварц	3,2	01-083-2465
33	48,18	1,887	Спессартин Актинолит	4,6	01-070-8536 01-085-2157
34	50,23	1,815	Кварц	11,1	01-083-2465
35	54,63	1,679	Спессартин Актинолит	2,9	01-070-8536 01-085-2157
36	54,96	1,669	Кварц	3,4	01-083-2465
37	55,41	1,657	Кварц	1,1	01-083-2465
38	55,54	1,653	Неизвестно	1,8	
39	57,04	1,613	Спессартин	5,0	01-070-8536

Приложение 6 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
40	58,27	1,582	Спессартин Актинолит	0,9	01-070-8536 01-085-2157
41	59,40	1,555	Спессартин Актинолит	7,0	01-070-8536 01-085-2157
42	60,05	1,540	Кварц	6,5	01-083-2465
43	63,96	1,455	Спессартин Актинолит	1,6	01-070-8536 01-085-2157
44	64,13	1,451	Неизвестно	1,0	
45	64,86	1,436	Актинолит	1,2	01-085-2157
46	67,82	1,381	Актинолит	4,3	01-085-2157
47	68,22	1,374	Неизвестно	5,0	
48	68,37	1,371	Спессартин Кварц	2,6	01-070-8536 01-083-2465

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-3а



Рентгенограмма образца Гр-3а. Минерал со спайностью

Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-3а. Минерал со спайностью

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	9,83	8,99	Актинолит	18,9	00-041-1366
2	10,57	8,36	Актинолит	100,0	00-041-1366
3	17,43	5,09	Актинолит	4,4	00-041-1366
4	18,23	4,86	Актинолит	9,5	00-041-1366
5	19,65	4,51	Актинолит	11,1	00-041-1366
6	20,94	4,24	Кварц	59,8	01-085-0865
7	21,15	4,20	Актинолит	7,9	00-041-1366
8	22,25	4,00	Актинолит	1,8	00-041-1366
9	22,95	3,87	Актинолит	6,9	00-041-1366
10	24,38	3,65	Неизвестно	1,1	00-041-1366
11	26,29	3,39	Актинолит	15,9	00-041-1366
12	26,72	3,33	Кварц	67,5	01-085-0865
13	27,24	3,27	Актинолит	26,4	00-041-1366
14	28,62	3,12	Актинолит Спессартин	73,1	00-041-1366 01-087-1717

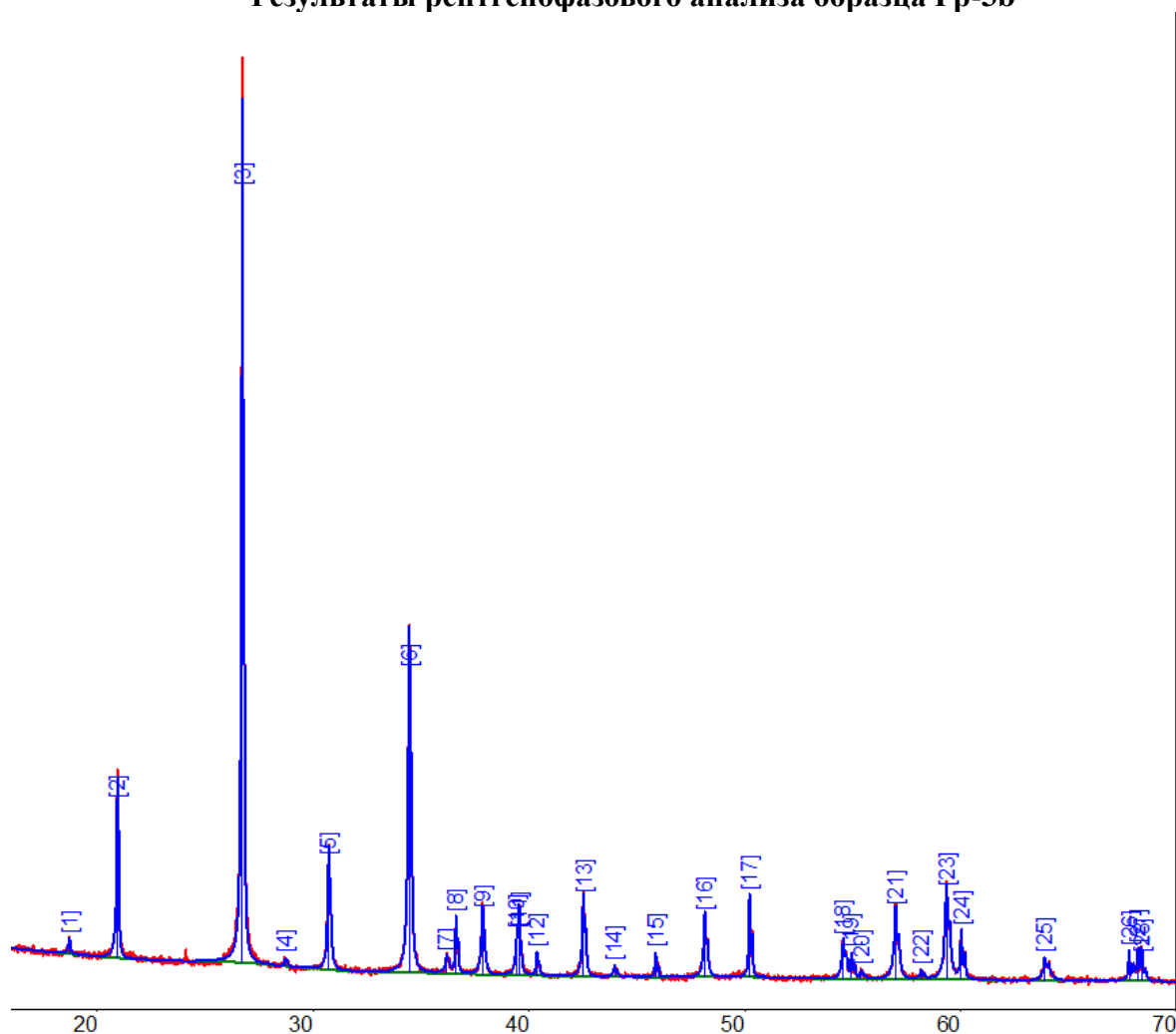
Приложение 7 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
15	30,33	2,95	Актинолит	14,3	00-041-1366
16	30,71	2,91	Спессартин	9,1	01-087-1717
17	31,90	2,80	Актинолит	11,1	00-041-1366
18	33,00	2,71	Актинолит	41,0	00-041-1366
19	34,45	2,60	Актинолит Спессартин	31,7	00-041-1366 01-087-1717
20	35,44	2,53	Актинолит	15,7	
21	36,63	2,45	Актинолит Кварц	2,6	00-041-1366 01-085-0865
22	37,78	2,38	Актинолит Спессартин	4,6	00-041-1366 01-087-1717
23	38,55	2,33	Актинолит	8,9	00-041-1366
24	38,94	2,31	Актинолит	3,6	00-041-1366
25	39,59	2,27	Актинолит Кварц Спессартин	5,1	00-041-1366 01-085-0865 01-087-1717
26	40,37	2,232	Неизвестно	1,2	
27	41,64	2,167	Актинолит	14,1	00-041-1366
28	42,53	2,124	Кварц Спессартин	23,0	01-085-0865 01-087-1717
29	44,10	2,052	Спессартин	3,9	01-087-1717
30	44,81	2,021	Неизвестно	6,3	
31	45,11	2,008	Актинолит	3,9	00-041-1366
32	45,87	1,977	Актинолит Кварц	1,8	00-041-1366
33	48,12	1,889	Актинолит Спессартин	10,3	01-087-1717
34	48,70	1,869	Актинолит	2,0	00-041-1366
35	50,20	1,816	Актинолит Кварц	7,0	00-041-1366 01-085-0865
36	52,51	1,741	Актинолит	1,8	00-041-1366
37	53,41	1,714	Актинолит Спессартин	1,7	00-041-1366 01-087-1717
38	54,57	1,681	Актинолит Спессартин	2,4	00-041-1366 01-087-1717
39	55,54	1,653	Кварц	11,2	01-085-0865
40	56,99	1,615	Актинолит Спессартин	3,7	00-041-1366 01-087-1717

Приложение 7 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
41	58,21	1,584	Актинолит Спессартин	4,4	00-041-1366 01-087-1717
42	59,35	1,556	Спессартин	6,6	01-087-1717
43	60,00	1,541	Неизвестно	3,1	
44	60,68	1,525	Актинолит	2,0	00-041-1366
45	61,41	1,509	Актинолит	3,2	00-041-1366
46	64,93	1,435	Актинолит Спессартин	7,0	00-041-1366 01-087-1717
47	68,39	1,371	Кварц Спессартин	1,9	01-085-0865 01-087-1717

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-3в



Рентгенограмма образца Гр-3в. Основная красновато-коричневая масса

Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-3в. Основная красновато-коричневая масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	18,71	4,74	Спессартин	1,7	01-087-1717
2	20,95	4,24	Кварц	19,9	01-083-0539
3	26,73	3,33	Кварц	100,0	01-083-0539
4	28,70	3,11	Спессартин	0,8	01-087-1717
5	30,73	2,91	Спессартин	13,9	01-087-1717
6	34,46	2,60	Спессартин	38,7	01-087-1717
7	36,20	2,48	Спессартин	1,9	01-087-1717
8	36,63	2,45	Кварц	7,2	01-083-0539
9	37,86	2,37	Спессартин	7,7	01-087-1717
10	39,46	2,28	Спессартин	5,1	01-087-1717
11	39,55	2,28	Кварц	5,4	01-083-0539

Приложение 8 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
12	40,38	2,232	Кварц	2,7	01-083-0539
13	42,53	2,124	Спессартин	9,8	01-087-1717
14	43,98	2,057	Спессартин	1,2	01-087-1717
15	45,88	1,976	Кварц	3,0	01-083-0539
16	48,16	1,888	Спессартин	7,6	01-087-1717
17	50,22	1,815	Кварц	10,3	01-083-0539
18	54,57	1,680	Спессартин	4,8	01-087-1717
19	54,95	1,670	Кварц	3,2	01-083-0539
20	55,40	1,657	Кварц	1,0	01-083-0539
21	56,99	1,615	Спессартин	8,67	01-087-1717
22	58,19	1,584	Спессартин	1,0	01-087-1717
23	59,35	1,556	Спессартин	11,1	01-087-1717
24	60,04	1,540	Кварц	6,1	01-083-0539
25	63,90	1,456	Спессартин	2,7	01-087-1717
26	67,82	1,381	Неизвестно	3,6	
27	68,23	1,373	Неизвестно	3,9	
28	68,39	1,371	Спессартин Кварц	2,7	01-087-1717 01-083-0539

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-3с

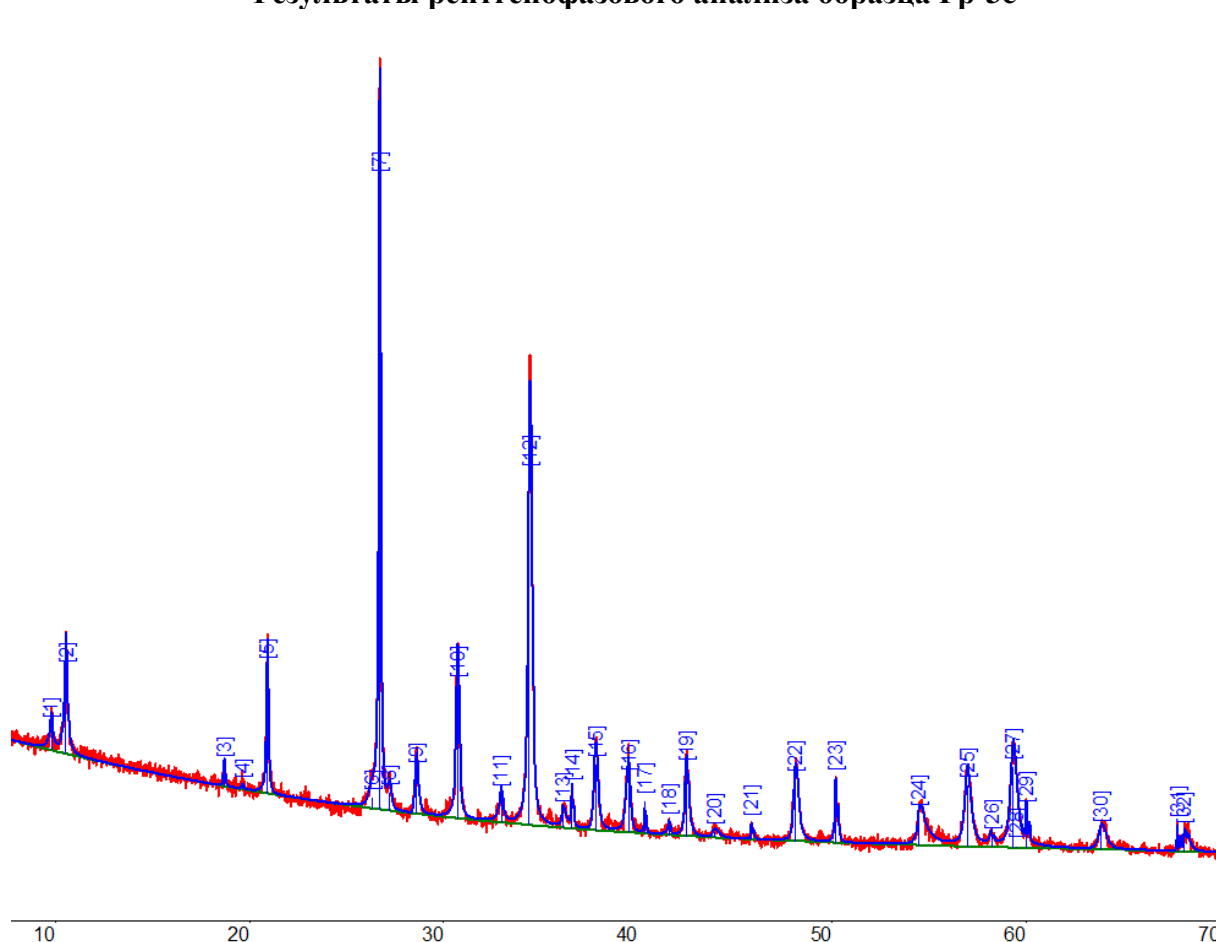


Рис. Рентгенограмма образца Гр-3с. Основная темно-коричневая масса

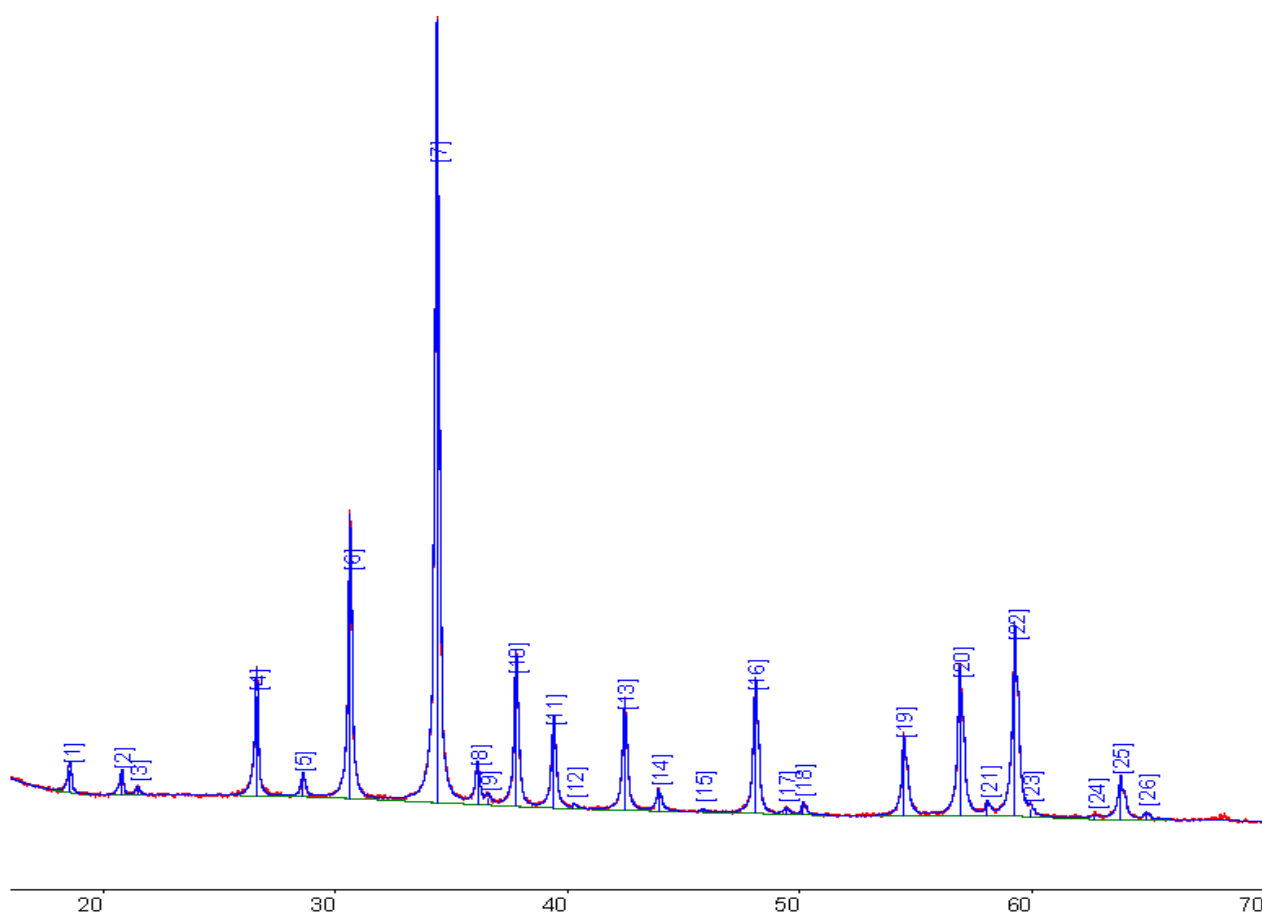
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-3с. Основная темно-коричневая масса

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
1	9,81	9,01	Актинолит	4,0	01-080-0521
2	10,56	8,37	Актинолит	13,3	01-080-0521
3	18,71	4,74	Спессартин	3,4	01-087-1717
4	19,68	4,51	Актинолит	0,6	01-080-0521
5	20,93	4,24	Кварц	20,2	01-087-2096
6	26,32	3,38	Актинолит	1,7	01-080-0521
7	26,72	3,33	Кварц	100,0	01-087-2096
8	27,22	3,27	Актинолит	2,9	01-080-0521
9	28,63	3,12	Спессартин	6,9	01-087-1717
10	30,72	2,91	Спессартин	21,3	01-087-1717
11	32,98	2,71	Актинолит	4,6	01-080-0521
12	34,43	2,60	Спессартин	55,8	01-087-1717

Приложение 9 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
13	36,15	2,48	Спессартин	2,9	01-087-1717
14	36,63	2,45	Кварц	6,5	01-087-2096
15	37,84	2,38	Спессартин	10,5	01-087-1717
16	39,54	2,28	Спессартин	8,7	01-087-1717
17	40,37	2,232	Кварц	5,2	01-087-2096
18	41,63	2,168	Актинолит	2,1	01-080-0521
19	42,52	2,124	Спессартин	10,7	01-087-1717
20	43,95	2,059	Спессартин	1,0	01-087-1717
21	45,87	1,977	Кварц	2,6	01-087-2096
22	48,14	1,889	Спессартин	9,9	01-087-1717
23	50,21	1,815	Кварц	10,2	01-087-2096
24	54,50	1,682	Спессартин	5,1	01-087-1717
25	57,01	1,614	Спессартин	9,7	01-087-1717
26	58,24	1,583	Спессартин	1,6	01-087-1717
27	59,35	1,556	Спессартин	12,9	01-087-1717
28	59,51	1,553	Спессартин Кварц Актинолит	0,3	01-087-1717 01-087-2096 01-080-0521
29	60,03	1,540	Кварц	6,2	01-087-2096
30	63,89	1,456	Спессартин Кварц Актинолит	3,2	01-087-1717 01-087-2096 01-080-0521
31	67,81	1,381	Кварц	4,3	01-087-2096
32	68,18	1,374	Спессартин Кварц Актинолит	3,4	01-087-1717 01-087-2096 01-080-0521

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-3-1



Рентгенограмма образца Гр-3-1. Коричневая основная масса

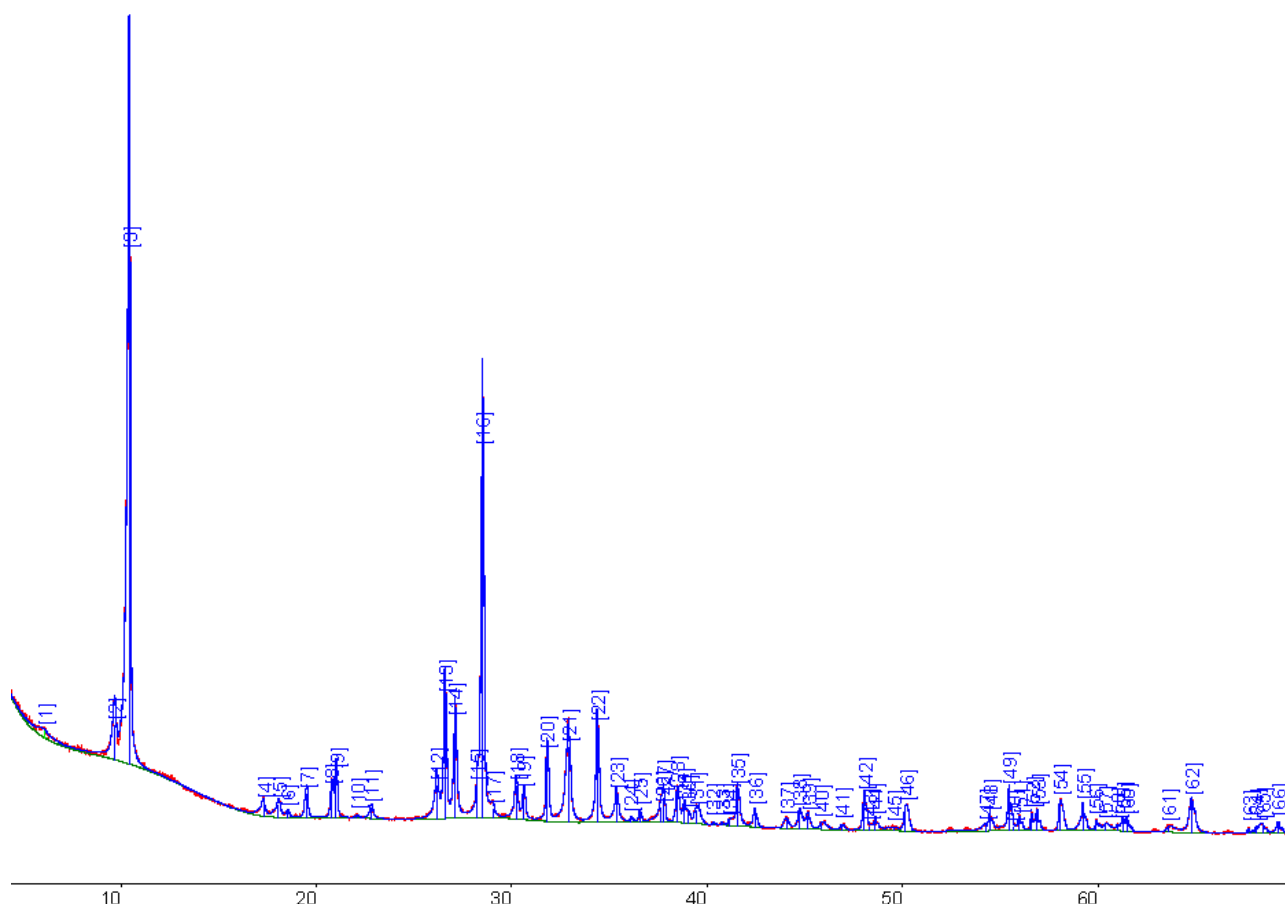
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-3-1. Коричневая основная масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	18,58	4,77	Спессартин	3,5	01-089-4375
2	20,80	4,27	Кварц	3,1	01-078-2315
3	21,50	4,13	Спессартин	1,1	01-089-4375
4	26,62	3,35	Кварц	15,6	01-078-2315
5	28,61	3,12	Спессартин	2,9	01-089-4375
6	30,64	2,92	Спессартин	35,0	01-089-4375
7	34,38	2,61	Спессартин	100,0	01-089-4375
8	36,13	2,48	Спессартин	5,1	01-089-4375
9	36,55	2,46	Кварц	1,1	01-078-2315
10	37,79	2,38	Спессартин	19,8	01-089-4375
11	39,40	2,28	Спессартин, Кварц	11,8	01-089-4375, 01-078-2315
12	40,25	2,239	Кварц	0,6	01-078-2315

Приложение 10 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
13	42,47	2,127	Спессартин, Кварц	14,7	01-089-4375, 01-078-2315
14	43,92	2,060	Спессартин	2,8	01-089-4375
15	45,87	1,977	Кварц	0,4	01-078-2315
16	48,09	1,890	Спессартин	18,2	01-089-4375
17	49,43	1,842	Спессартин	0,8	01-089-4375
18	50,14	1,818	Кварц	1,8	01-078-2315
19	54,48	1,683	Спессартин	11,1	01-089-4375
20	56,90	1,617	Спессартин	20,5	01-089-4375
21	58,08	1,587	Спессартин	1,6	01-089-4375
22	59,26	1,558	Спессартин	26,6	01-089-4375
23	59,95	1,542	Кварц	1,2	01-078-2315
24	62,70	1,481	Спессартин	0,4	01-089-4375
25	63,82	1,457	Спессартин, Кварц	6,0	01-089-4375, 01-078-2315
26	64,93	1,435	Спессартин	1,0	01-089-4375

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-3-2



Рентгенограмма образца Гр-3-2. Черный слой с ясной спайностью

Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-3-2. Черный слой с ясной спайностью

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
2	9,69	9,12	Роговая обманка, Актинолит	6,6	801-080-0281, 01-089-5368
3	10,42	8,48	Роговая обманка, Актинолит	100,0	01-080-0281, 01-089-5368
4	17,29	5,12	Роговая обманка, Актинолит	2,3	01-080-0281, 01-089-5368
5	18,06	4,91	Роговая обманка, Актинолит	2,5	01-080-0281, 01-089-5368
6	18,53	4,78	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	1,1	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368

Приложение 11 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	J/J_0	Эталон
7	19,52	4,54	Роговая обманка, Актинолит	4,6	01-080-0281, 01-089-5368
8	20,80	4,27	Кварц, Роговая обманка	5,2	01-089-1961, 01-080-0281
9	21,01	4,23	Актинолит	8,3	01-089-5368
10	22,07	4,03	Роговая обманка, Актинолит	0,4	01-080-0281, 01-089-5368
11	22,80	3,90	Роговая обманка, Актинолит	2,0	01-080-0281, 01-089-5368
12	26,16	3,40	Роговая обманка, Актинолит	6,4	01-080-0281, 01-089-5368
13	26,59	3,35	Кварц	23,7	01-089-1961
14	27,10	3,29	Актинолит	18,9	01-089-5368
15	28,22	3,16	Роговая обманка	6,1	01-080-0281
16	28,50	3,13	Роговая обманка, Актинолит	72,0	01-080-0281, 01-089-5368
17	29,02	3,07	Роговая обманка	1,6	01-080-0281
18	30,23	2,95	Роговая обманка, Актинолит	6,5	01-080-0281, 01-089-5368
19	30,62	2,92	Спессартин	5,0	00-010-0354
20	31,82	2,81	Актинолит	13,1	01-089-5368
21	32,90	2,72	Роговая обманка, Актинолит	14,7	01-080-0281, 01-089-5368
22	34,36	2,61	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	18,5	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
23	35,35	2,54	Актинолит	5,2	01-089-5368
24	36,09	2,49	Спессартин	0,7	00-010-0354
25	36,53	2,46	Кварц, Роговая обманка, Актинолит	2,0	01-089-1961, 01-080-0281, 01-089-5368

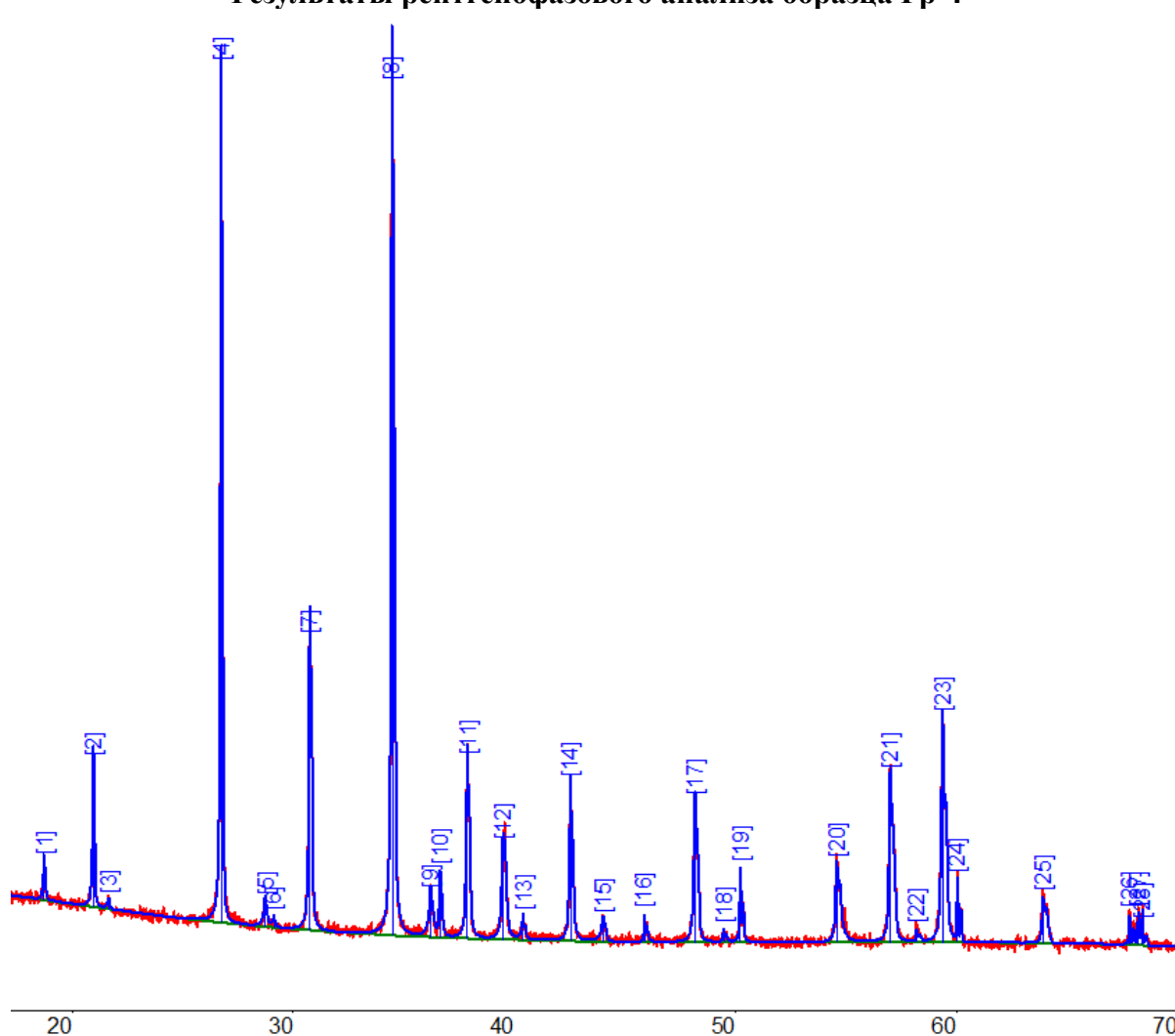
№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	J/J_0	Эталон
26	37,65	2,39	Актинолит	2,5	01-089-5368
27	37,77	2,38	Спессартин	4,6	00-010-0354
28	38,47	2,34	Актинолит	5,5	01-089-5368
29	38,81	2,32	Роговая обманка	3,2	01-080-0281
30	39,01	2,31	Роговая обманка, Актинолит	1,8	01-080-0281, 01-089-5368
31	39,44	2,28	Кварц, Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	2,4	01-089-1961, 00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
32	40,31	2,236	Кварц, Роговая обманка	0,5	01-089-1961, 01-080-0281
34	41,13	2,193	Роговая обманка, Актинолит	0,9	01-080-0281, 01-089-5368
35	41,56	2,171	Роговая обманка, Актинолит	6,9	01-080-0281, 01-089-5368
36	42,44	2,128	Кварц, Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	3,1	01-089-1961, 00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
37	44,04	2,055	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	1,5	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
38	44,74	2,024	Роговая обманка, Актинолит	3,2	01-080-0281, 01-089-5368
39	45,17	2,006	Роговая обманка, Актинолит	2,5	01-080-0281, 01-089-5368
40	45,82	1,979	Кварц, Роговая обманка, Актинолит	1,1	01-089-1961, 01-080-0281, 01-089-5368
41	46,87	1,937	Актинолит	0,8	01-089-5368
42	48,04	1,892	Спессартин	6,8	00-010-0354

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
43	48,27	1,884	Роговая обманка, Актинолит	0,6	01-080-0281, 01-089-5368
44	48,61	1,872	Роговая обманка, Актинолит	1,8	01-080-0281, 01-089-5368
45	49,54	1,838	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	0,5	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
46	50,15	1,818	Кварц, Роговая обманка, Актинолит	4,6	01-089-1961, 01-080-0281, 01-089-5368
47	54,24	1,690	Роговая обманка, Актинолит	0,8	01-080-0281, 01-089-5368
48	54,46	1,683	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	2,7	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
49	55,44	1,656	Роговая обманка, Актинолит	7,9	01-080-0281, 01-089-5368
50	55,70	1,649	Кварц, Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	0,5	01-089-1961, 00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
51	55,97	1,642	Роговая обманка, Актинолит	2,2	01-080-0281, 01-089-5368
52	56,62	1,624	Актинолит	3,1	01-089-5368
53	56,89	1,617	Спессартин, Актинолит	3,6	00-010-0354, 01-089-5368
54	58,07	1,587	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	5,6	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
55	59,23	1,559	Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	4,7	00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368

Приложение II (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
56	59,90	1,543	Кварц, Роговая обманка, Актинолит	1,8	01-089-1961, 01-080-0281, 01-089-5368
57	60,35	1,532	Роговая обманка, Актинолит	1,0	01-080-0281, 01-089-5368
58	60,99	1,518	Роговая обманка, Актинолит	1,0	01-080-0281, 01-089-5368
59	61,27	1,512	Роговая обманка, Актинолит	2,0	01-080-0281, 01-089-5368
60	61,51	1,506	Актинолит	1,9	01-089-5368
61	63,56	1,463	Кварц, Спессартин, Роговая обманка, Актинолит	0,8	01-089-1961, 00-010-0354, 01-080-0281, 01-089-5368
62	64,79	1,438	Актинолит	6,1	01-089-5368
63	67,71	1,383	Кварц, Роговая обманка	1,0	01-089-1961, 01-080-0281
64	68,12	1,375	Роговая обманка	1,1	01-080-0281
65	68,41	1,370	Кварц, Роговая обманка, Актинолит	1,5	01-089-1961, 01-080-0281, 01-089-5368
66	69,22	1,356	Актинолит	2,0	01-089-5368

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-4



Рентгенограмма образца Гр-4. Основная красновато-коричневая масса

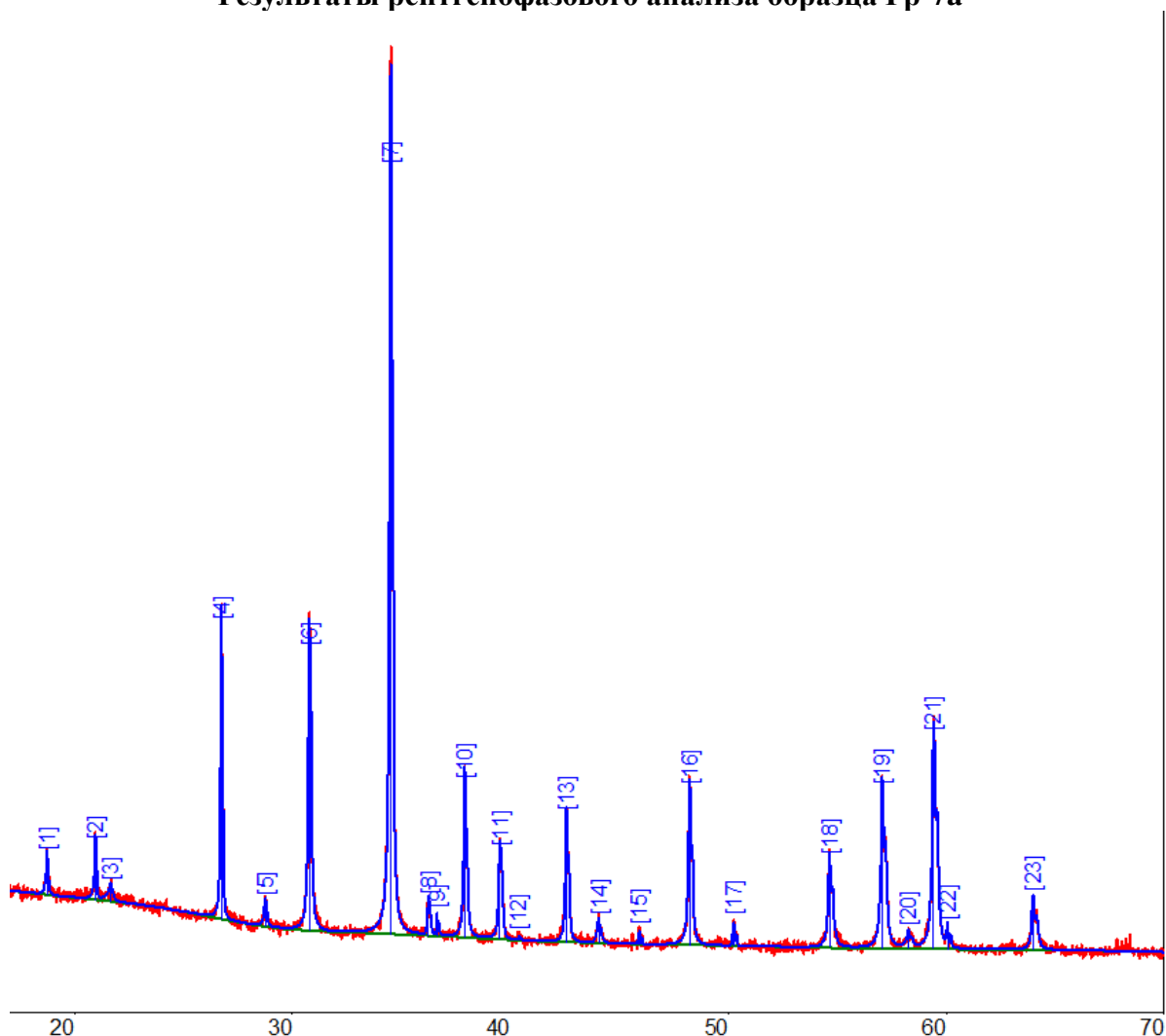
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-4. Основная красновато-коричневая масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	18,74	4,73	Спессартин	4,5	01-075-5177
2	20,97	4,23	Кварц	16,8	01-079-1910
3	21,67	4,10	Спессартин	1,0	01-075-5177
4	26,75	3,33	Кварц	100,0	01-079-1910
5	28,75	3,10	Спессартин	2,8	01-075-5177
6	29,13	3,06	Неизвестно	1,1	
7	30,76	2,90	Спессартин	33,9	01-075-5177
8	34,49	2,60	Спессартин	99,2	01-075-5177
9	36,22	2,48	Спессартин Гаусманит	4,9	01-075-5177 01-075-1560

Приложение 12 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
10	36,65	2,45	Кварц Гаусманит	7,7	01-079-1910 01-075-1560
11	37,88	2,37	Спессартин	20,7	01-075-5177
12	39,49	2,28	Спессартин Кварц	10,9	01-075-5177 01-079-1910
13	40,41	2,230	Кварц	2,7	01-079-1910
14	42,55	2,123	Спессартин Кварц	18,3	01-075-5177 01-079-1910
15	44,03	2,055	Спессартин	2,4	01-075-5177
16	45,89	1,976	Неизвестно	3,1	
17	48,19	1,887	Спессартин	16,4	01-075-5177
18	49,49	1,840	Спессартин	1,4	01-075-5177
19	50,24	1,815	Неизвестно	8,5	
20	54,59	1,680	Спессартин	9,0	01-075-5177
21	57,01	1,614	Спессартин	19,4	01-075-5177
22	58,20	1,584	Спессартин	1,3	01-075-5177
23	59,37	1,555	Спессартин	26,1	01-075-5177
24	60,06	1,539	Гаусманит	7,2	01-075-1560
25	63,90	1,456	Спессартин	5,2	01-075-5177
26	67,83	1,381	Гаусманит	3,5	01-075-1560
27	68,23	1,373	Неизвестно	3,6	
28	68,42	1,370	Спессартин Кварц	2,3	01-075-5177 01-079-1910

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-7а



Рентгенограмма образца Гр-7а. Коричневая стекловидная масса в гнездах и прожилках

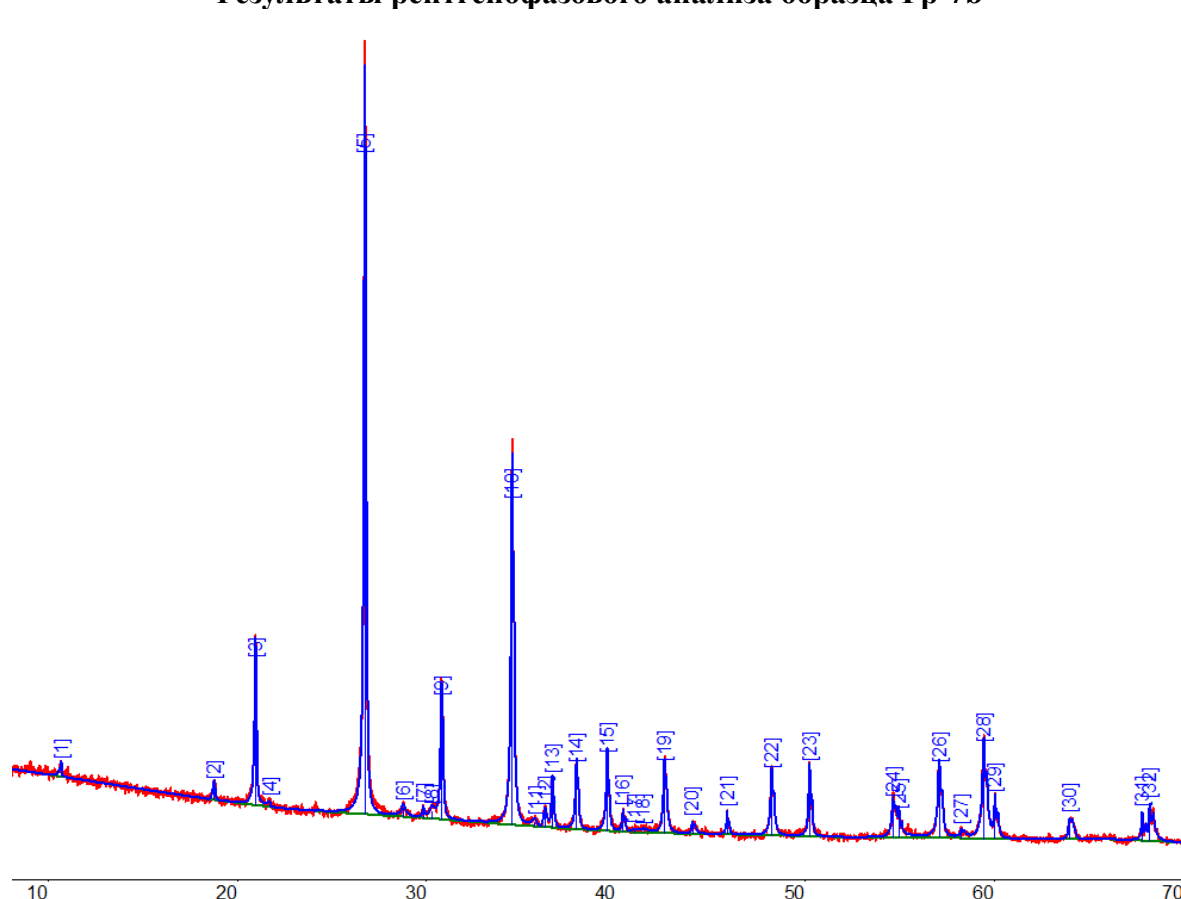
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-7а. Коричневая стекловидная масса в гнездах и прожилках

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
1	18,75	4,73	Спессартин	4,8	01-087-1716
2	20,98	4,23	Кварц	6,9	01-070-8054
3	21,69	4,10	Спессартин	1,7	01-087-1716
4	26,75	3,33	Кварц	38,3	01-070-8054
5	28,77	3,10	Спессартин	3,2	01-087-1716
6	30,79	2,90	Спессартин	36,4	01-087-1716
7	34,52	2,60	Спессартин	100,0	01-087-1716
8	36,26	2,48	Спессартин	4,5	01-087-1716
9	36,64	2,45	Кварц	2,7	01-070-8054

Приложение 13 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	J/J_0	Эталон
10	37,92	2,37	Спессартин	19,9	01-087-1716
11	39,53	2,28	Спессартин Кварц	11,3	01-087-1716 01-070-8054
12	40,41	2,231	Кварц	0,5	01-070-8054
13	42,58	2,121	Спессартин Кварц	16,2	01-087-1716 01-070-8054
14	44,07	2,053	Спессартин	2,8	01-087-1716
15	45,92	1,975	Кварц	1,7	01-070-8054
16	48,22	1,886	Спессартин	20,0	01-087-1716
17	50,25	1,814	Кварц	3,0	01-070-8054
18	54,64	1,678	Спессартин	11,3	01-087-1716
19	57,06	1,613	Спессартин	20,6	01-087-1716
20	58,27	1,582	Спессартин	2,0	01-087-1716
21	59,43	1,554	Спессартин	27,7	01-087-1716
22	60,07	1,539	Неизвестно	2,9	
23	63,98	1,454	Спессартин	6,8	01-087-1716

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-7b



Рентгенограмма образца Гр-7b. Светло-бежевая тонкослоистая масса с зелеными включениями

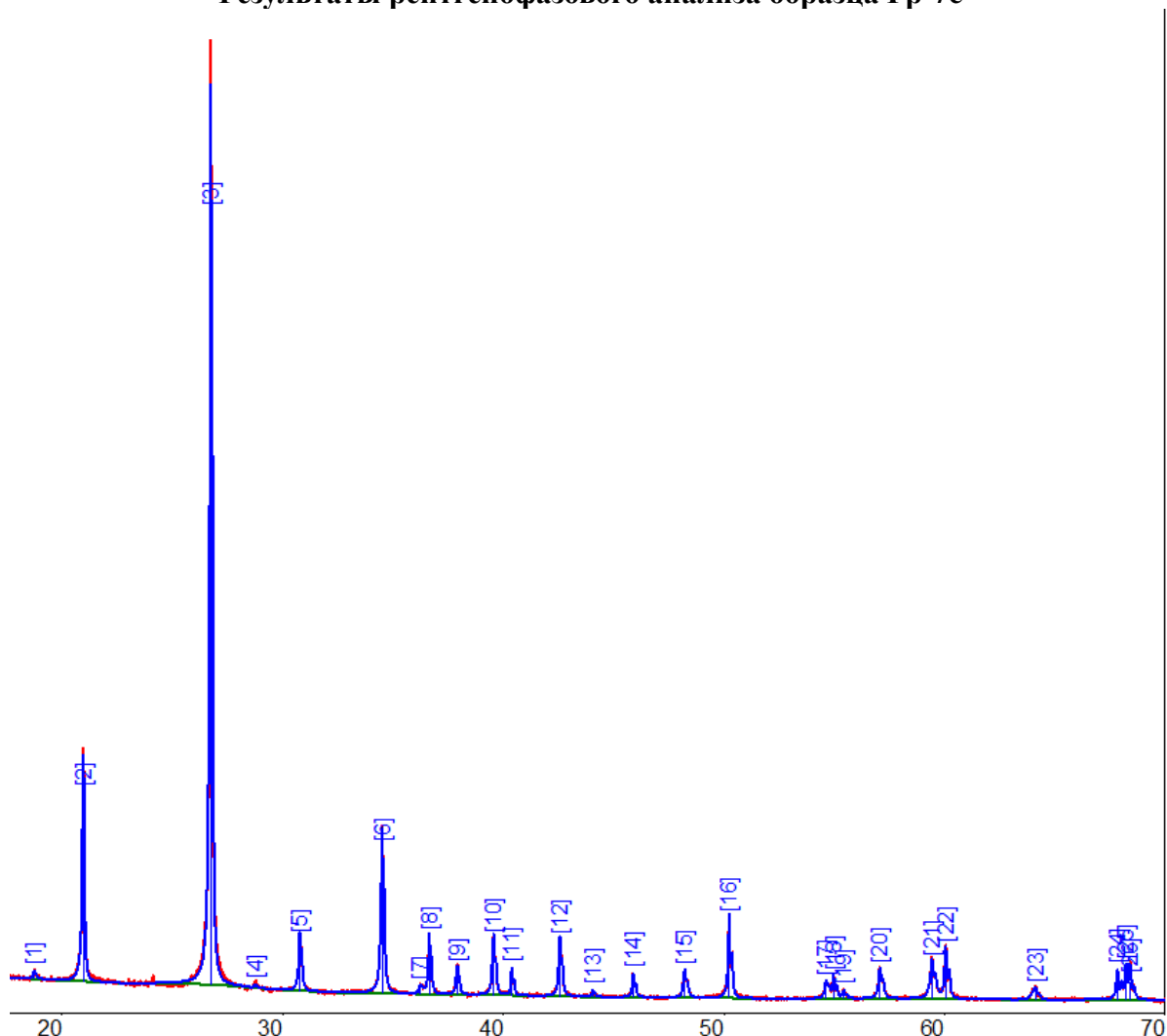
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-7b. Светло-бежевая тонкослоистая масса с зелеными включениями

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	I/I_0	Эталон
1	10,70	8,26	Амфибол	1,7	01-075-4428
2	18,79	4,72	Спессартин Амфибол	2,1	01-075-6807 01-075-4428
3	20,97	4,23	Кварц	21,6	01-070-8054
4	21,73	4,09	Спессартин	0,6	01-075-6807
5	26,75	3,33	Кварц Авгит	100,0	01-070-8054 01-073-8552
6	28,79	3,10	Спессартин	1,4	01-075-6807
7	29,84	2,99	Авгит	1,3	01-073-8552
8	30,28	2,95	Амфибол Авгит	1,2	01-075-4428 01-073-8552
9	30,80	2,90	Спессартин Амфибол Авгит	17,9	01-075-6807 01-075-4428 01-073-8552

Приложение 14 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
10	34,53	2,60	Спессартин	48,8	01-075-6807
11	35,75	2,51	Авгит	0,7	01-073-8552
12	36,27	2,47	Спессартин	2,2	01-075-6807
13	36,65	2,45	Кварц Амфибол	7,3	01-070-8054 01-075-4428
14	37,94	2,37	Спессартин	9,1	01-075-6807
15	39,56	2,28	Спессартин Кварц	11,0	01-075-6807 01-070-8054
16	40,39	2,231	Кварц Авгит	3,0	01-070-8054 01-073-8552
17	41,02	2,200	Амфибол Авгит	0,3	01-075-4428 01-073-8552
18	41,45	2,176	Амфибол	0,3	01-075-4428
19	42,57	2,122	Спессартин Кварц	10,0	01-075-6807 01-070-8054
20	44,06	2,054	Спессартин Амфибол	1,7	01-075-6807 01-075-4428
21	45,90	1,976	Неизвестно	3,3	
22	48,25	1,885	Спессартин	9,3	01-075-6807
23	50,25	1,814	Кварц Амфибол	10,4	01-070-8054 01-075-4428
24	54,65	1,678	Спессартин Амфибол Авгит	5,1	01-075-6807 01-075-4428 01-073-8552
25	54,99	1,669	Неизвестно	3,3	
26	57,10	1,612	Спессартин Авгит	10,5	01-075-6807 01-073-8552
27	58,27	1,582	Спессартин Амфибол Авгит	1,1	01-075-6807 01-075-4428 01-073-8552
28	59,46	1,553	Спессартин	13,7	01-075-6807
29	60,05	1,539	Авгит	6,1	01-073-8552
30	63,97	1,454	Спессартин Амфибол Авгит	2,9	01-075-6807 01-075-4428 01-073-8552
31	67,85	1,380	Амфибол	4,2	01-075-4428
32	68,23	1,373	Кварц Амфибол Авгит	5,5	01-070-8054 01-075-4428 01-073-8552

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-7с



Рентгенограмма образца Гр-7с. Насыщенно-бежевая масса

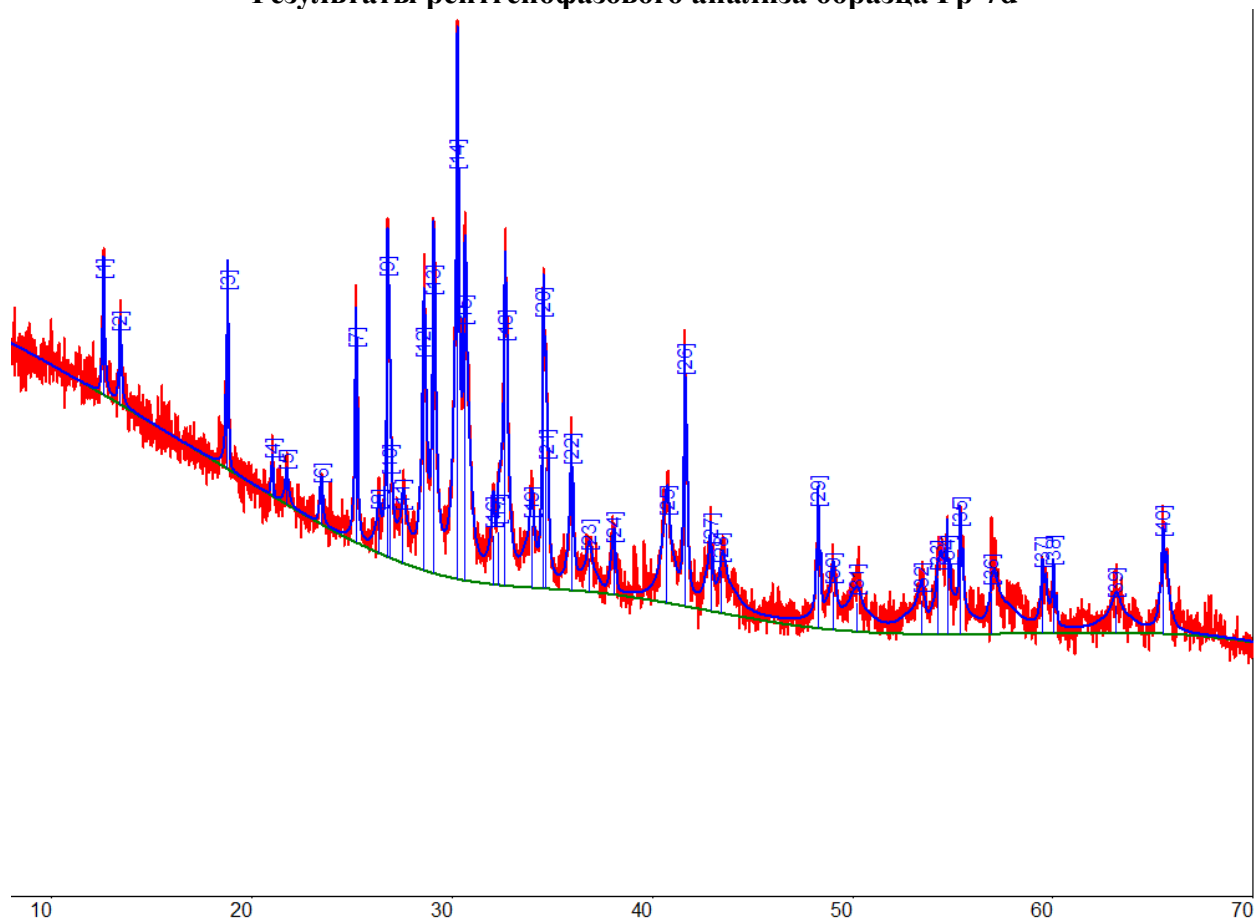
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-7с. Насыщенно-бежевая масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	18,75	4,73	Спессартин	0,8	01-087-1716
2	20,97	4,23	Кварц	24,3	00-033-1161
3	26,74	3,33	Кварц	100,0	00-033-1161
4	28,77	3,10	Спессартин	0,3	01-087-1716
5	30,78	2,90	Спессартин	6,5	01-087-1716
6	34,51	2,60	Спессартин	18,6	01-087-1716
7	36,25	2,48	Спессартин	0,9	01-087-1716
8	36,65	2,45	Кварц	7,2	00-033-1161
9	37,91	2,37	Спессартин	3,3	01-087-1716
10	39,57	2,28	Спессартин Кварц	7,1	01-087-1716 00-033-1161

Приложение 15 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	J/J_0	Эталон
11	40,40	2,231	Кварц	3,3	00-033-1161
12	42,56	2,122	Спессартин Кварц	7,0	01-087-1716 00-033-1161
13	44,07	2,054	Спессартин	0,7	01-087-1716
14	45,89	1,976	Кварц	2,9	00-033-1161
15	48,23	1,885	Спессартин	3,2	01-087-1716
16	50,24	1,814	Кварц	10,1	00-033-1161
17	54,64	1,678	Спессартин	2,0	01-087-1716
18	54,96	1,669	Кварц	2,6	00-033-1161
19	55,43	1,656	Кварц	0,9	00-033-1161
20	57,07	1,613	Спессартин	3,6	01-087-1716
21	59,43	1,554	Спессартин	4,6	01-087-1716
22	60,05	1,539	Кварц	6,4	00-033-1161
23	64,13	1,451	Спессартин Кварц	1,2	01-087-1716 00-033-1161
24	67,83	1,381	Кварц	3,7	00-033-1161
25	68,23	1,373	Неизвестно	4,3	
26	68,40	1,370	Спессартин Кварц	2,4	01-087-1716 00-033-1161

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-7d



Рентгенограмма образца Гр-7d. Розовая масса

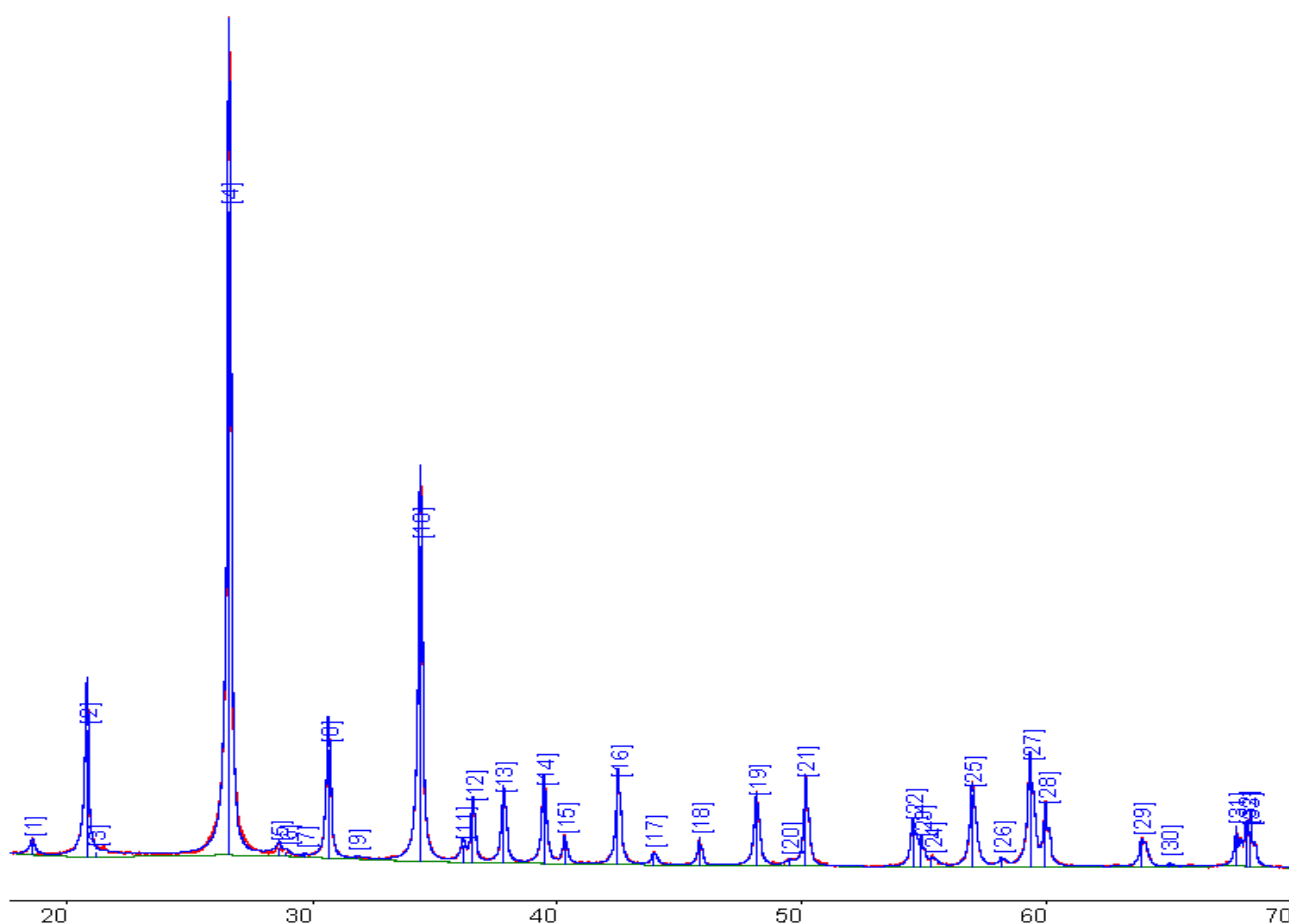
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-7d. Розовая масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	12,55	7,05	Родонит	27,0	01-076-0523
2	13,39	6,61	Родонит	16,4	01-076-0523
3	18,76	4,73	Родонит Спессартин	42,7	01-076-0523 01-075-6807
4	21,01	4,22	Неизвестно	7,5	
5	21,71	4,09	Родонит Спессартин	6,9	01-076-0523 01-075-6807
6	23,45	3,79	Родонит	8,3	01-076-0523
7	25,18	3,53	Родонит	46,6	01-076-0523
8	26,32	3,38	Родонит	8,9	01-076-0523
9	26,75	3,33	Неизвестно	67,9	
10	26,88	3,31	Родонит	18,8	01-076-0523
11	27,51	3,24	Родонит	11,2	01-076-0523
12	28,56	3,12	Родонит	51,1	01-076-0523

Приложение 16 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	J/J_0	Эталон
13	29,04	3,07	Родонит	67,3	01-076-0523
14	30,25	2,95	Родонит	100,0	01-076-0523
15	30,61	2,92	Родонит Спессартин	61,7	01-076-0523 01-075-6807
16	32,04	2,79	Родонит	12,2	01-076-0523
17	32,30	2,77	Родонит	13,1	01-076-0523
18	32,63	2,74	Родонит	59,1	01-076-0523
19	33,95	2,64	Родонит	15,6	01-076-0523
20	34,55	2,59	Спессартин	65,5	01-075-6807
21	34,69	2,58	Родонит	30,2	01-076-0523
22	35,94	2,50	Родонит	29,4	01-076-0523
23	36,83	2,44	Родонит	8,5	01-076-0523
24	38,08	2,36	Родонит Спессартин	10,9	01-076-0523 01-075-6807
25	40,72	2,214	Родонит	19,8	01-076-0523
26	41,60	2,169	Родонит	55,8	01-076-0523
27	42,90	2,106	Родонит	14,8	01-076-0523
28	43,44	2,0815	Родонит	10,6	01-076-0523
29	48,27	1,884	Родонит Спессартин	28,3	01-076-0523 01-075-6807
30	49,02	1,857	Родонит	9,6	01-076-0523
31	50,20	1,816	Родонит Спессартин	7,3	01-076-0523 01-075-6807
32	53,45	1,713	Родонит Спессартин	8,3	01-076-0523 01-075-6807
33	54,26	1,689	Родонит	14,0	01-076-0523
34	54,72	1,676	Спессартин	15,3	01-075-6807
35	55,35	1,659	Родонит	24,8	01-076-0523
36	56,91	1,617	Спессартин	10,3	01-075-6807
37	59,47	1,553	Спессартин	14,4	01-075-6807
38	60,03	1,540	Неизвестно	14,9	
39	63,11	1,472	Спессартин	6,7	01-075-6807
40	65,49	1,424	Неизвестно	22,2	

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-7-1



Рентгенограмма образца Гр-7-1. Бежево-серая тонкослоистая масса

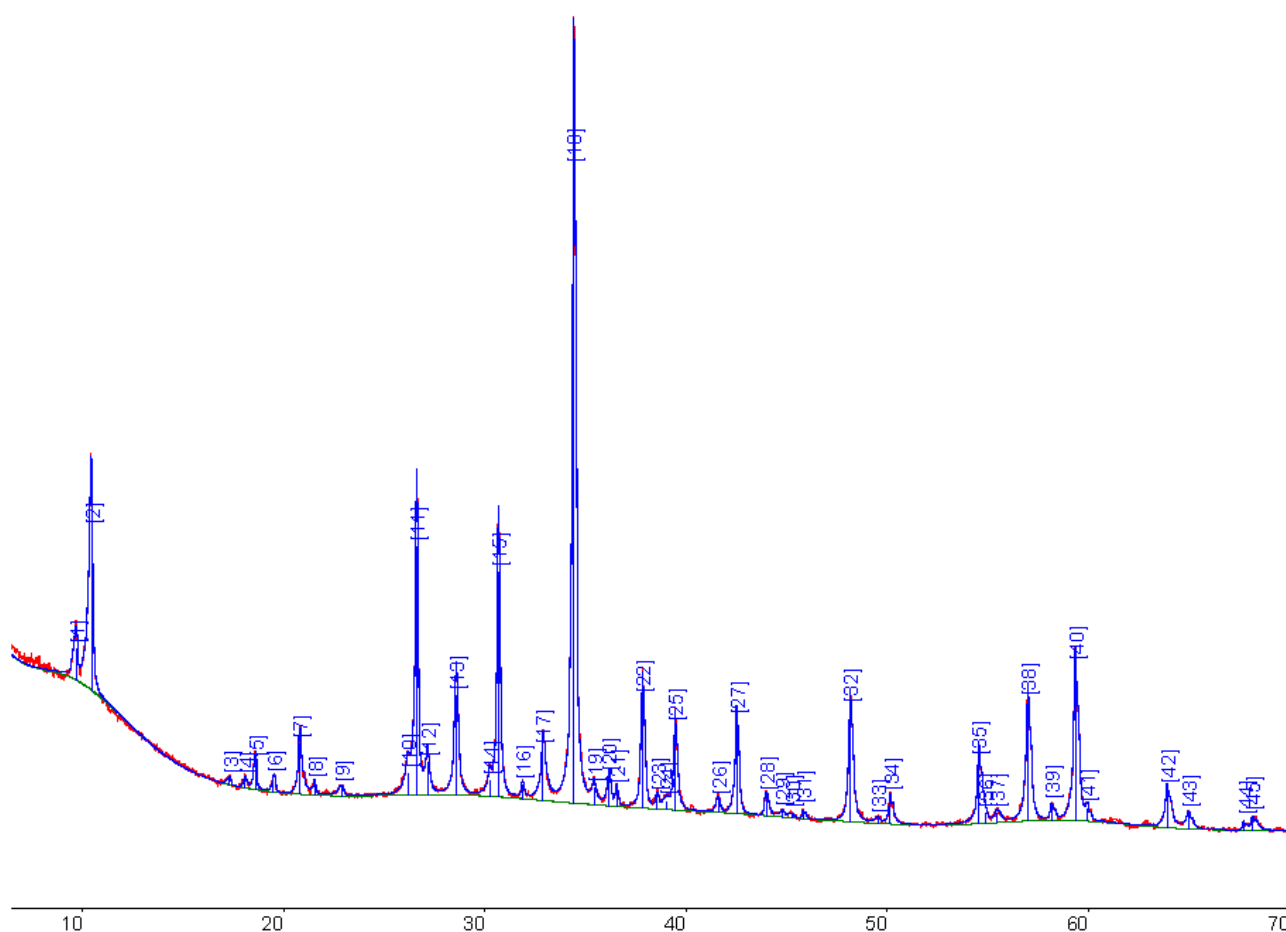
Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-7-1. Бежево-серая тонкослоистая масса

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	18,57	4,78	Спессартин	1,7	01-089-4375
2	20,81	4,26	Кварц	19,5	01-075-8322
3	21,18	4,19	Спессартин	0,6	01-089-4375
4	26,60	3,35	Кварц	100,0	01-075-8322
5	28,65	3,11	Спессартин	1,2	01-089-4375
8	30,66	2,91	Спессартин	16,8	01-089-4375
10	34,40	2,61	Спессартин	48,9	01-089-4375
11	36,15	2,48	Спессартин	2,5	01-089-4375
12	36,54	2,46	Кварц	8,4	01-075-8322
13	37,81	2,38	Спессартин	9,7	01-089-4375
14	39,45	2,28	Спессартин, кварц	11,0	01-089-4375, 01-075-8322
15	40,30	2,236	Кварц	3,5	01-075-8322

Приложение 17 (продолжение)

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
16	42,47	2,127	Спессартин, кварц	12,5	01-089-4375, 01- 075-8322
17	43,93	2,059	Спессартин	1,6	01-089-4375
18	45,80	1,979	Кварц	3,7	01-075-8322
19	48,12	1,889	Спессартин	9,7	01-089-4375
20	49,46	1,841	Спессартин	0,6	01-089-4375
21	50,13	1,818	Кварц	12,6	01-075-8322
22	54,53	1,682	Спессартин	6,3	01-089-4375
23	54,85	1,672	Кварц	3,7	01-075-8322
24	55,28	1,661	Кварц	1,0	01-075-8322
25	56,94	1,616	Спессартин	11,2	01-089-4375
26	58,11	1,586	Спессартин	1,1	01-089-4375
27	59,30	1,557	Спессартин	15,3	01-089-4375
28	59,93	1,542	Кварц	8,7	01-075-8322
29	63,84	1,457	Спессартин, кварц	3,8	01-089-4375, 01- 075-8322
30	64,98	1,434	Спессартин	0,4	01-089-4375
31	67,72	1,383	Кварц	5,4	01-075-8322
32	68,12	1,375	Кварц	5,5	01-075-8322
33	68,30	1,372	Спессартин, кварц	5,3	01-089-4375, 01- 075-8322

Результаты рентгенофазового анализа образца Гр-7-2



Рентгенограмма образца Гр-7-2. Зеленые кристаллы в коричнево-бежевой массе
 Результаты расчета дифрактограммы образца Гр-7-2. Зеленые кристаллы в коричнево-бежевой массе

№	2θ	d(Å)	Минерал	I/I ₀	Эталон
1	9,71	9,10	Актинолит	4,8	01-089-5368
2	10,47	8,45	Актинолит	25,0	01-089-5368
3	17,32	5,12	Актинолит	0,8	01-089-5368
4	18,10	4,90	Актинолит	1,2	01-089-5368
5	18,63	4,76	Спессартин, Актинолит	4,1	01-089-4375, 01- 089-5368
6	19,50	4,55	Актинолит	2,1	01-089-5368
7	20,79	4,27	Кварц	7,9	01-085-1054
8	21,57	4,12	Спессартин	1,7	01-089-4375
9	22,90	3,88	Актинолит	1,1	01-089-5368
10	26,18	3,40	Актинолит	3,3	01-089-5368
11	26,62	3,35	Кварц	39,0	01-085-1054
12	27,17	3,28	Актинолит	5,1	01-089-5368

№	2θ	d(Å)	Минерал	J/J ₀	Эталон
13	28,58	3,12	Спессартин, Актинолит	15,6	01-089-4375, 01-089-5368
14	30,25	2,95	Актинолит	2,4	01-089-5368
15	30,70	2,91	Спессартин	35,4	01-089-4375
16	31,89	2,80	Актинолит	2,0	01-089-5368
17	32,89	2,72	Актинолит	8,0	01-089-5368
18	34,43	2,60	Спессартин, Актинолит	100,0	01-089-4375, 01-089-5368
19	35,44	2,53	Актинолит	2,6	01-089-5368
20	36,19	2,48	Спессартин	4,5	01-089-4375
21	36,58	2,45	Кварц, Актинолит	2,7	01-085-1054, 01-089-5368
22	37,85	2,37	Спессартин, Актинолит	17,1	01-089-4375, 01-089-5368
23	38,57	2,33	Актинолит	1,9	01-089-5368
24	39,00	2,31	Актинолит	1,2	01-089-5368
25	39,47	2,28	Спессартин, Кварц, Актинолит	12,9	01-089-4375, 01-085-1054, 01-089-5368
26	41,60	2,169	Актинолит	1,8	01-089-5368
27	42,52	2,124	Спессартин, Кварц, Актинолит	14,6	01-089-4375, 01-085-1054, 01-089-5368
28	44,00	2,056	Спессартин	3,0	01-089-4375
29	44,77	2,023	Актинолит	0,7	01-089-5368
30	45,27	2,002	Актинолит	0,5	01-089-5368
31	45,81	1,979	Кварц, Актинолит	1,3	01-085-1054, 01-089-5368
32	48,16	1,888	Спессартин	17,9	01-089-4375
33	49,56	1,838	Спессартин, Актинолит	0,7	01-089-4375, 01-089-5368
34	50,16	1,817	Кварц, Актинолит	4,2	01-085-1054, 01-089-5368
35	54,57	1,680	Спессартин, Актинолит	9,8	01-089-4375, 01-089-5368
36	54,86	1,672	Кварц, Актинолит	1,5	01-085-1054, 01-089-5368

Приложение 18 (продолжение)

№	2θ	$d(\text{Å})$	Минерал	J/J_0	Эталон
37	55,45	1,656	Кварц, Актинолит	1,5	01-085-1054, 01-089-5368
38	56,99	1,615	Спессартин, Актинолит	18,6	01-089-4375, 01-089-5368
39	58,18	1,584	Спессартин, Актинолит	2,4	01-089-4375, 01-089-5368
40	59,35	1,556	Спессартин, Актинолит	24,3	01-089-4375, 01-089-5368
41	59,96	1,542	Кварц, Актинолит	2,0	01-085-1054, 01-089-5368
42	63,91	1,456	Спессартин, Кварц, Актинолит	6,0	01-089-4375, 01-085-1054, 01-089-5368
43	64,98	1,434	Спессартин, Актинолит	2,3	01-089-4375, 01-089-5368
44	67,75	1,382	Кварц, Актинолит	1,4	01-085-1054, 01-089-5368
45	68,15	1,375	Кварц, Актинолит	2,1	01-085-1054, 01-089-5368