

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ (МГРИ)»

На правах рукописи



ВОСИХОВ ШОХРУХ ТУЙЧИЕВИЧ

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ
БИРЮЗАКАН И ОБОСНОВАНИЕ ЮВЕЛИРНЫХ КАЧЕСТВ БИРЮЗЫ**

Специальность: 1.6.10 – Геология, поиски и разведка твёрдых полезных
ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ).

Научный руководитель: **Литвиненко Андрей Кимович** – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры минералогии, геммологии и петрографии, (МГРИ)

Официальные оппоненты: **Кисин Александр Юрьевич** – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ФГБУН Институт геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого, УрО РАН

Гафуров Фарход Гиясович – доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией геодинамики фанерозоя и петрогенезиса Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАНТ, г. Душанбе

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский Университет Дружбы Народов» (РУДН)

Защита диссертация состоится «23» октября «2025» года в 14:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.04 при ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.23, зал диссертационных советов (кабинет 4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <http://mgri.ru/>

Автореферат разослан «_____» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета 24.2.364.02



А.А. Иванов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Месторождение бирюзы Бирюзакан имеет длительную историю освоения, приблизительно с раннего средневековья. Бирюза этого месторождения по своим качественным кондициям является самой лучшей на территории бывшего СССР [Киевленко, 2000]. Оно расположено на площади около 0,5 км², отработано на глубину до 50 метров и состоит из трёх участков. С 60-х годов прошлого века приблизительно 20 лет оно разведывалось экспедицией Средазкварцсамоцветы входившей в состав объединения Союзкварцсамоцветы. В результате разведочных работ производственники отрицательно оценили 1-й и 2-й участки, третий – положительно. После завершения геолого-разведочных работ месторождение было передано на баланс экспедиции Памиркварцсамоцветы. В связи с тем, что оно административно находится на территории Таджикской Республики, к которой была приписана последняя экспедиция. Памиркварцсамоцветы не успела провести поисково-ревизионные работы в связи с прекращением функционирования головного объединения. Учитывая перспективы бирюзовой минерализации третьего участка и находящиеся в 0,6 км восточнее от него 4 проявлений вырисовывается бирюзоносная полоса длиной 3,3 км. Проведенными диссертантом исследования Бирюзакана и его флангов по первичным ореолам рассеяния установлена геохимическая аномалия REE, Th, U, As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au с кларками концентрации до нескольких десятков раз выше кларков. Возможное объединение будущих поисково-оценочных работ на бирюзу и перечисленные металлы может вывести изучаемую территории в разряд перспективных на новые виды рудной минерализации и выявить новые бирюзоносные тела с высокосортным самоцветом. Её положение в центре крупного горнорудного района Карамазар, с которым нами установлена парагенетическая связь бирюзы, подчёркивает актуальность рассматриваемой темы.

Цель работы. Выявить геолого-генетические закономерности локализации месторождения бирюзы Бирюзакан и установить факторы, определяющие её ювелирные качества на основе комплексного анализа условий образования, минерального состава и структурно-текстурных особенностей.

Задачи исследования:

- проанализировать геологическое строение месторождения Бирюзакан по литературным данным и нашим полевым исследованиям.
- исследовать минеральный и химический состав вмещающих бирюзу вулканогенных пород.
- выявить структурно-вещественные особенности бирюзового агрегата и установить признаки, определяющие её качественные кондиции.
- проанализировать перспективы перевода мономинерального самоцветного месторождения в многокомпонентное и определить наличие или отсутствие парагенетических связей с рудными месторождениями Карамазарского рудного района.

Фактический материал. Собраны и проанализированы фондовые и опубликованные материалы по месторождению Бирюзакан и рудному району Карамазар. Составлена карта размещения бирюзовых месторождений и проявлений Северного Таджикистана на основе тектонической карты, построен геологический разрез Карамзарского рудного района и геологический план месторождения Бирюзакан. Полевые работы проводились в течение 1,3 месяцев в 2023-2024 годах: были проведены рекогносцировочные маршруты на поверхности месторождения, его флангах и в подземных горных выработках с отбором 160 штучных проб на минералогические, петрографические и геохимические анализы. Из каменного материала было изготовлено 43 прозрачных шлифов и 38 протолок, было проведено более 150 микрорентгеноспектральных, 108 рентгенофазовых, 52 рентгенофлюоресцентных определений и 5 ИК-спектрометрических анализов.

Методы исследований включали: картографический, минералогический, петрографический, а также-рентгенофазовый, выполненный на приборах ДРОН-3М (аналитики С.Махмадшариф МГРИ-РГГУ им. Серго Орджоникидзе и М.А. Мираков Институт геологии, сейсмостойкого строительства и сейсмологии НАН РТ. г. Душанбе), рентгеноспектральный микроанализ на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 3sbu с энергодисперсионным спектрометром (ЭДС) Oxford Instruments X-act при ускоряющее напряжение 20 кВ, ток пучка 20 нА (аналитик М.А. Рассомахин), рентгенофлюоресцентный, выполненный на спектрометре AXIOS Advanced, с рентгеновской трубкой, оснащенной Rh анодом, мощностью 3 kW и Philips PW-2400 определение широкого спектра петрогенных и рудных элементов с чувствительностью до 10-4% (аналитик А.И. Якушев, ИГЕМ РАН), фурье-спектрометре ФСМ 2201 (аналитик А.О. Карпов).

Научная новизна. 1) На площади месторождения Бирюзакан автором обнаружены новые для исследуемого объекта минералы: халькосидерит, аргентоярозит, ганнингит, ванадинит, магнетит и гидроксилбастнезит-(Nd), а также: гиббсит, крадаллит, планерит. 2) Установлены две генерации халькопирита: первая – до бирюзовая, вторая – после бирюзовая. 3) В бирюзовых жилах установлена колломорфная текстура самоцвета, которая указывает на её кристаллизацию из коллоидных растворов на самой поздней стадии эндогенного цикла развития месторождения. В шлифах бирюза представлена бесцветным криптозернистым агрегатом. 4) Текстура бирюзы определяет качество: для высокосортной характерна массивная, для низкосортной – колломорфная. 5) На месторождении установлена геохимическая аномалия REE, Th, U, As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au. Это выводит район в разряд перспективных площадей для постановки поисково-оценочных работ. 6) Составлена карта размещения бирюзовых месторождений и проявлений Северного Таджикистана и рудных месторождений на тектонической основе; построен геологический разрез и металлогенограмма Карамзарского рудного района и геологический план месторождения Бирюзакан.

Практическое значение. 1) На основе текстурных особенностей бирюзы: массивной или колломорфной, предложена оценка качественных кондиций самоцвета. 2) Установленный голубой гиббсит и другие минералы голубого цвета могут ошибочно приниматься за бирюзу при поисковых работах и представлять минерал-обманку, что требует дополнительную экспресс-диагностику при оценке бирюзы. 3) Установлены парагенетические связи Бирюзакана с рудными месторождениями Карамазара, что выдвигает бирюзу (минерал богатый Cu и Zn) в ранг поисковых признаков на рудные элементы. 4) Геохимическая аномалия REE, Th, U, As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au на площади Бирюзакана ставит вопрос о перспективах бирюзоносного района на рудные полезные ископаемые.

Защищаемые положения.

1) Вид текстуры определяет качественные кондиции бирюзы как драгоценного камня. В бирюзе колломорфной текстуры содержатся концентрические слои роста и секториальное строение. Пространство между сферолитами может быть заполнено другими минералами, в том числе тёмной окраски, что ухудшает ювелирные качества. В бирюзе массивной текстуры эти особенности отсутствуют, структура криптозернистая однородная. Именно эти признаки определяют самое высокое ювелирное качество.

2) Впервые установлено, что в парагенезисе с бирюзой находятся голубой гиббсит (минерал-обманка), который вместе с голубыми самплеитом, халькосидеритом и галлуазитом, могут усложнять диагностику и качественную оценку бирюзы, и вводить в заблуждение горняков и потребителей камнесамоцветной продукции.

3) На основе общей геолого-структурной позиции месторождения Бирюзакан с рудными месторождениями Тариэкан (Ag), Адрасман (Au), Каптархана (Ag) и др. намечается парагенетическая связь бирюзовой минерализации с рудными месторождениями Карамазара. Подтверждающим аргументом парагенетической связи месторождений является обнаружение диссертантом гидрооксилбастнезита-Nd и геохимической аномалии REE, Th, U, As, Sb, Zn, Cu, W, Bi, Cd, Se, Ag, Au – элементов характерных для рудных месторождений Карамазара.

Апробация работы и публикации. Результаты исследований докладывалось на международной конференции «XVI Новые идеи в науках о Земле МГРИ-РГГУ» (Москва, 2023); XI Международной конференции молодых ученых «Молодые – наукам о Земле» (Москва, 2024); III Международной конференции «Развитие национальной промышленности и геологии Таджикистана за годы независимости страны Горно-металлургический институт Таджикистана» (Бустон, 2024); XVII Международной конференции «Новые идеи в науках о Земле МГРИ-РГГУ» (Москва, 2025); XIV Международной конференции «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов ЦНИГРИ» (Москва, 2025).

Основные положения диссертации изложены в 8 печатных работах, включая 3 статьи в журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ.

Благодарности. Автор выражает признательность научному руководителю д.г.-м.н, профессору А.К. Литвиненко; сотрудникам кафедры минералогии, геммологии и петрографии: зав. кафедрой к.г.-м.н. Д.А. Петроченкову, к.г.-м.н. В.А. Утенкову, инженеру М. Саймудасири; сотрудникам кафедры месторождений полезных ископаемых: зав. кафедрой д.г.-м.н. П.А. Игнатову, д.г.-м.н. А.А. Верчебе, к.г.-м.н. С.А. Малютину, к.г.-м.н. А.П. Алёшину, сотруднику ФГБУН Южно-Уральского центра минералогии и геоэкологии УрО РАН М.А. Рассомахину, сотруднику Мин. музея им. А.Е. Ферсмана А.О. Карпову; сотрудникам Горно-металлургического института РТ ст. преподавателю А.О. Отаеву, к.б.н. А.А. Олимову, к.т.н. Ш.Дж. Мирбобоеву, ст. преподавателю Н.К. Усмонову.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ И ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Диссертационное исследование включает введение, 7 глав, заключение и список литературы. Общий объём работы составляет 116 страниц, включая 59 рисунков, 9 таблиц, списка литературы из 77 источников.

Во **введении** обоснованы актуальность темы, проанализирована степень научной разработанности проблемы, сформулированы цель и задачи, раскрыты научная новизна и практическая значимость, приведены данные об апробации результатов работы. **Первая** глава посвящена физико-географической характеристике Карамазара, истории изучения района работы и Бирюзакана. **Во второй** главе на основе материалов предшественников и диссертанта освещаются геологическое строение и полезные ископаемые района. **В третьей** – раскрываются структурно-вещественные особенности вмещающих бирюзу пород по нашим данным. **В четвёртой** – анализируются структурно-текстурные особенности бирюзы как критерия качества самоцвета. **В пятой** – исследуются минералы-обманки бирюзы – гиббсит, самплеит, халькосидерит и галлуазит. **В шестой** – характеризуются минералы и геохимические особенности. **В седьмой** – рассматриваются условия формирования месторождения, в **заключении** суммированы основные научные выводы исследования.

1. Вид текстуры определяет качественные кондиции бирюзы как драгоценного камня. В бирюзе колломорфной текстуры содержатся концентрические слои роста и секториальное строение. Пространство между сферолитами может быть заполнено другими минералами, в том числе тёмной окраски, что ухудшает ювелирные качества. В бирюзе массивной текстуры эти особенности отсутствуют, структура криптозернистая однородная. Именно эти признаки определяют самое высокое ювелирное качество.

Бирюза месторождения Бирюзакан по своим качественным кондициям является лучшей, а месторождение Бирюзакан одним из лучших среди бывших республик СССР (Менчинская, 1981; Киевленко. 2000). Она может быть сравнима с бирюзой Ирана, которая считается самой высококачественной. Для высокосортной бирюзы характерна однородная голубая окраска и массивная текстура. Зернистость её агрегата визуально не просматривается в силу микрокристаллической до криптозернистой структуры (Рис. 1 а).

Часто внутри жильного агрегата бирюзы наблюдаются кристаллы кварца, а также реликты вмещающей породы (Рис. 1 б). Такие образования встречаются на месторождении наиболее часто.

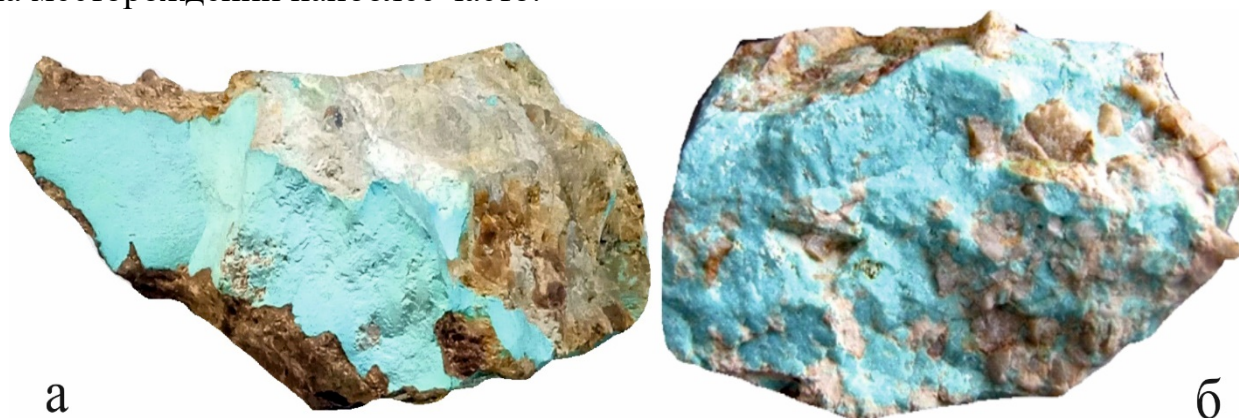


Рис. 1. а – Жила бирюзы ~ 20 см. музей Самоцветы; б – Бирюза с кварцем, 8×5 см, музей МГРИ-РГГРУ

Нами в 2023 году на участке 3 обнаружена жила с однородной бирюзой высшего сорта, несмотря на тщательность проведенных ранее разведочных работ (Рис. 2 а). Её мощность составила 0,4 мм, протяжённость 20 см. Из неё была изготовлена серия кабошонов массой 2.08, 1.86, 0.76 и 0.68 карат, подтвердившая хорошее ювелирное качество изучаемого самоцвета (Рис. 2 б), $n = 1.61\text{--}1.62$, плотность = $2.74\text{--}2.75\text{ г/см}^3$. Они близки параметрам бирюзы, приводимым в справочниках [Штрюбель, Циммер, 1987; Лазаренко, 1971].

Бирюза в составе бирюзовых и кварц-бирюзовых жил характеризуется двумя видами текстур: массивной, однородной (Рис. 1, Рис. 2) и колломорфной, неоднородной (Рис. 3, Рис. 4). Массивная бирюза является самой высококачественной в силу однородности строения и более высокой плотности.

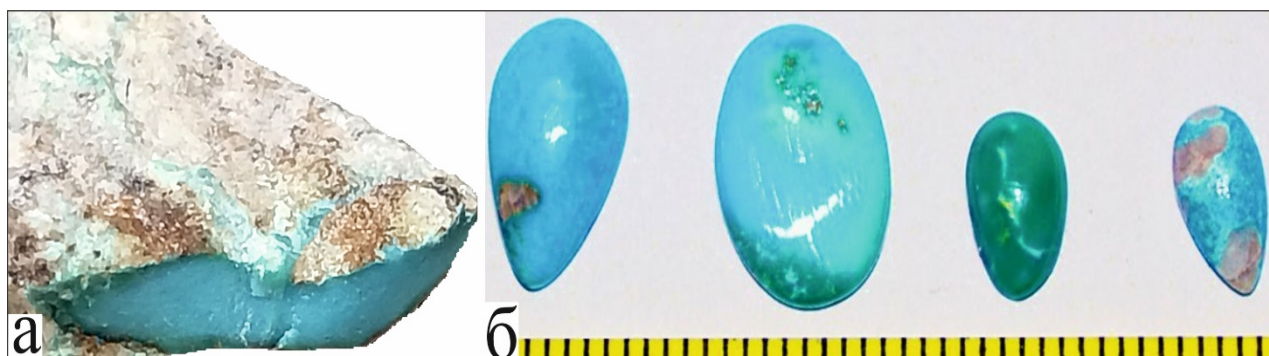


Рис. 2. а – Фрагмент бирюзовой жилы с апофизой в центре, 0,5×4 см; б – Пробная серия кабошонов, линейка миллиметровая

Колломорфная бирюза отличается контрастными цветами, которые могут придавать кристаллосырью декоративность (Рис. 3), но её качество снижается. Подобные образования Т.И. Менчинская [1981; 1989] определяет как сетчатую или вкрапленную бирюзу и относит к более низким сортам.

Автором внутри жильного кварц-бирюзового агрегата была обнаружена сферолитовая, колломорфная текстура. Она характеризуется голубой

концентрической окраской разной интенсивности. Наиболее интенсивно окрашена в голубой цвет периферия сферолитов, которые имеют различный диаметр (Рис. 4 б). Хотя наблюдается и другая вариация (Рис. 3). Этот текстурный рисунок резко контрастирует с хорошо оформленными кристаллами прозрачного, хорошо образованного кварца (Рис. 5). Между ними на поверхности бирюзы наблюдаются индукционные поверхности.

Парагенезис кристаллов кварца и бирюзы позволяет рассматривать её генезис гидротермальным.

Интерстиции между сферолитами имеют разные размеры и сложены разными минералами рассмотренными ниже. Колломорфная бирюза обладает повышенной пористостью и более низкой плотностью. Она хуже полируется и относится к более низкосортной. Особенностью бирюзы, наблюдаемой в шлифах, является отсутствие окраски, которая характерна для цветных минералов: лазурита, сапфира и др. (Рис. 5, Рис. 6).



Рис. 3. Колломорфная бирюза, 10 см по длинной оси, музей Самоцветы

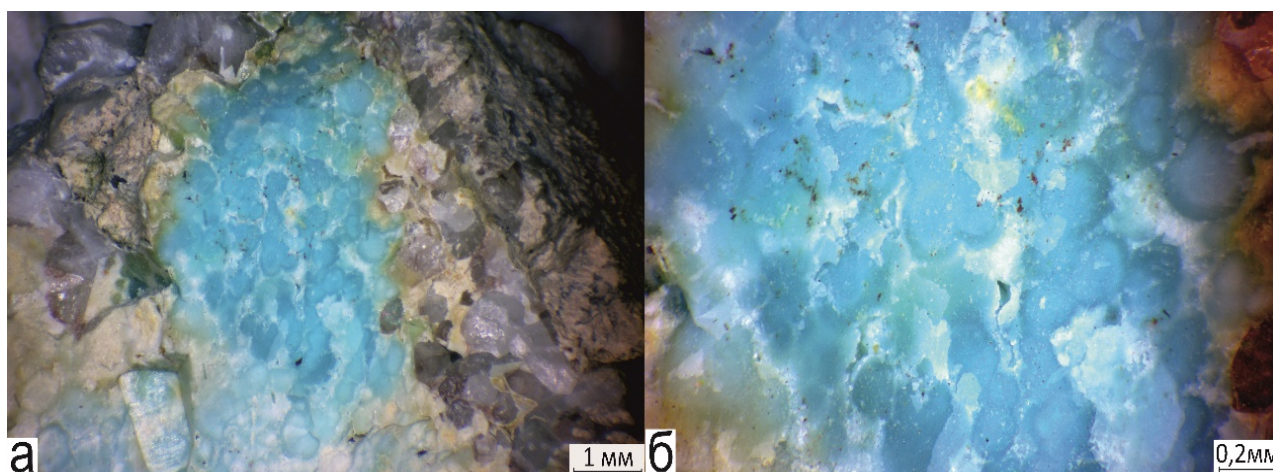


Рис. 4. Колломорфная бирюза в кварцевой жиле:

а – общий вид; б – её фрагмент. Между сферолитами – щелевидные полости

В исследуемой нами бирюзе отсутствовала люминисценция, характерная для бирюзы с месторождения Техут (Армения), которая в ультрафиолете светилась светло-канареечным цветом (Менчинская, 1981). В сферолитах в скрещенных николях, наблюдается концентрическая зональность и

секториальность – 4 конусовидных тёмных контура от тёмного центра (Рис. 5 б). Рядом находится призматический, зональный контур кристалла кварца. Между ними индукционные поверхности, указывающие на одновременный рост. Размеры зёрен бирюзы оцениваются на уровне глинистых частиц (Рис. 7 а).

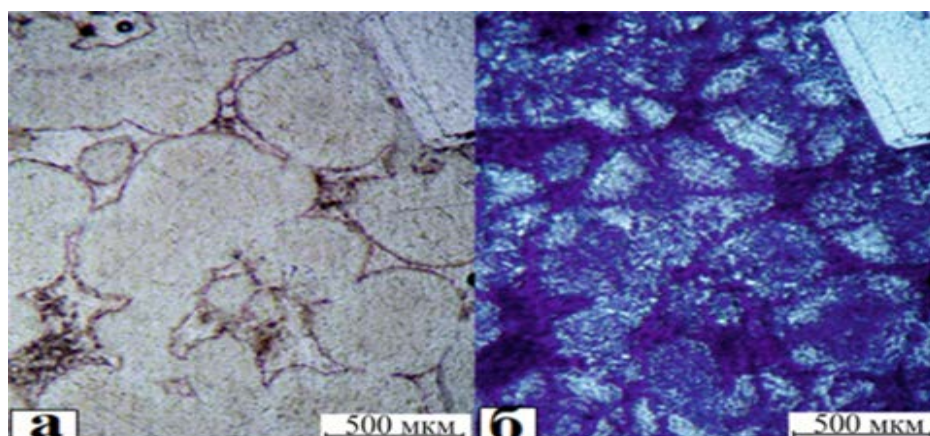


Рис. 5. Сферолиты бирюзы при одном (а) и в скрещенных николях (б)

Детали строения межзернового пространства, сложенного минералом светлого цвета, образующего веерообразные призматические кристаллики с маленькой полостью. В нём на фоне криптозернистой белой массы наблюдаются зёрна – тёмные точки (Рис. 6 а). Для микрокристаллов бирюзы характерна разная оптическая ориентировка, создающая муаровый эффект, интерференционную чёрно-белую картину (Рис. 6 б). Белый минерал интерстиций является бирюзой с более низким содержанием FeO 1.3% по сравнению с 1.9 для сферолитовой части. Эту бирюзу можно рассматривать как более позднюю генерацию. Сами сферолиты с концентрической зональностью также можно рассматривать как многостадийные образования (Рис. 5, Рис. 6).

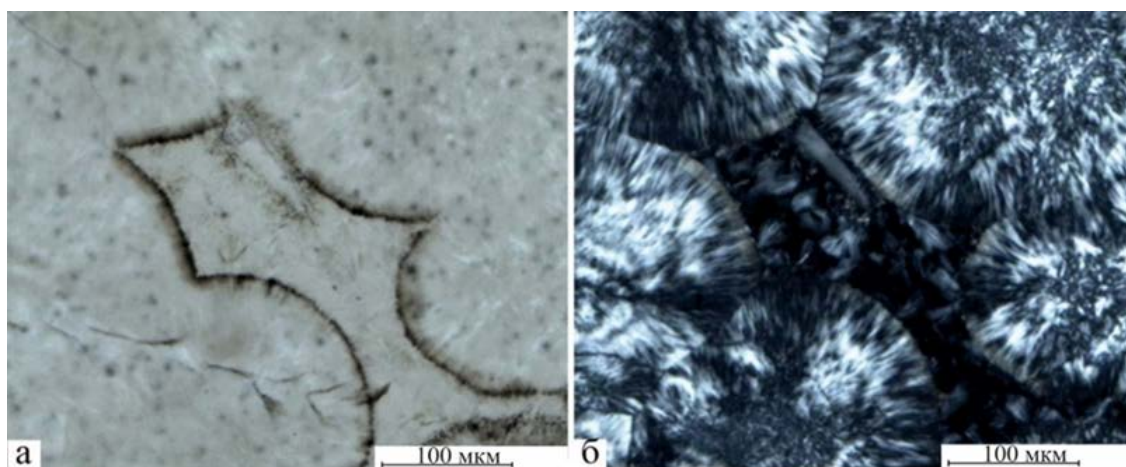


Рис. 6. Шлифы сферолитовой бирюзы.

а – при одном николе; б – муаровый, интерференционный рисунок, в скрещенных николях

Кроме бирюзы в интерстициях отмечаются микроагрегаты халькосидерита и крадаллита (Рис. 7). Микрозондовые исследования показали широкую изоморфную вариацию в составе бирюзы железа от 0.58 до 1.88 и меди от 6.38 до 7.97 мас.% (Таблица 1). В составе бирюзы установлены CaO до 0.32 и SO₃ до

0.5 мас.%. Гидроксильная группа составляет от 9.5 до 15 мас. %. ИК-спектроскопией она установлена достоверно (Рис. 8).

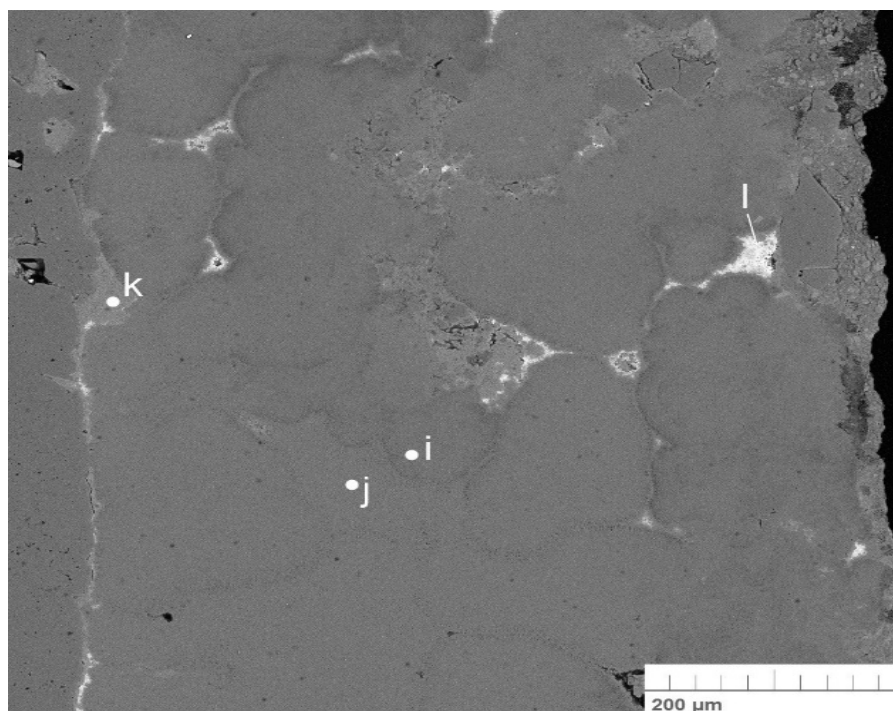


Рис. 7. Сферолиты бирюзы (i, j), в интерстициях которой крадалит (k) и халькосидерит (l). Фото в отражённых электронах (BSE)

Таблица 1 – Химические составы (1) и формульные единицы (2) бирюзы

Окси- ды	Ато- мы	Бирюза ярко голубая		Бирюза ярко голубая		Бирюза ярко голубая		Бирюза ярко голубая		Бирюза тёмно голубая	
1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Al ₂ O ₃	Al	41.19	5.81	41.73	5.87	39.49	6	39.7	6	40,2	6
P ₂ O ₅	P	38.77	3.93	39.10	3.95	37.09	4.04	36.31	3.94	37,35	3,99
SO ₃	S	0.5	0.04	0.28	0.02	-	-	-			-
CaO	Ca	0.32	0.04	0.27	0.04	-	-	0.17	0.26	0,35	0,03
FeO	Fe ⁺³	1.88	0.19	1.32	0.13	0.58	0.80	0.73	0.15	1,81	0,19
CuO	Cu	6.38	0.58	7.73	0.70	7.97	0.8	7.81	0.76	7,97	0,82
Сумм а		89.04		90.44		85.13		84.72		87,68	

В пространстве между сферолитами бирюзы установлен также крадаллит, в сотые доли мм. Для него характерны высокие содержания кальция до 12.5, SO₃ до 12, F до 0,5 и OH до 13 мас.%.

Полученные 4 ИК-спектра бирюзы (Рис. 8) идентичны и близки к спектрам бедной Fe³⁺ бирюзы (содержащей не более 7 мас. % Fe₂O₃) из месторождений

Армении, Египта, Ирана, Китая, Сенегала, США и Узбекистана, и местонахождений Уральско-Пайхойского региона.

В жильном комплексе выделено несколько генераций кварца. Бирюза ассоциирует с его последней генерацией [Менчинская, 1981]. Автором наблюдалась бирюзовая жила секущая горизонтальную кварцевую (Рис. 9). Это позволяет определить, что бирюза сформировалась после кварца предпоследней генерации. Индукционные поверхности в бирюзовом агрегате с кристаллами кварца можно рассматривать как парагенезис бирюзы и кварца последней генерации.

Жилы бирюзы как в кайнотипных (тёмных) (Рис. 10 б), так и палеотипных (светлых) вулканитах (Рис. 10 а,в,г). По данным геологов экспедиции «Средазсамоцветы» по «свежим» вулканитам бирюза не формируется. Это было подтверждено работами Т.И. Менчинской [1981;1989]. Наши многочисленные наблюдения в штольнях не подтверждают это мнение. Также отсутствует бирюзовая минерализация в вертикальных трещинах.

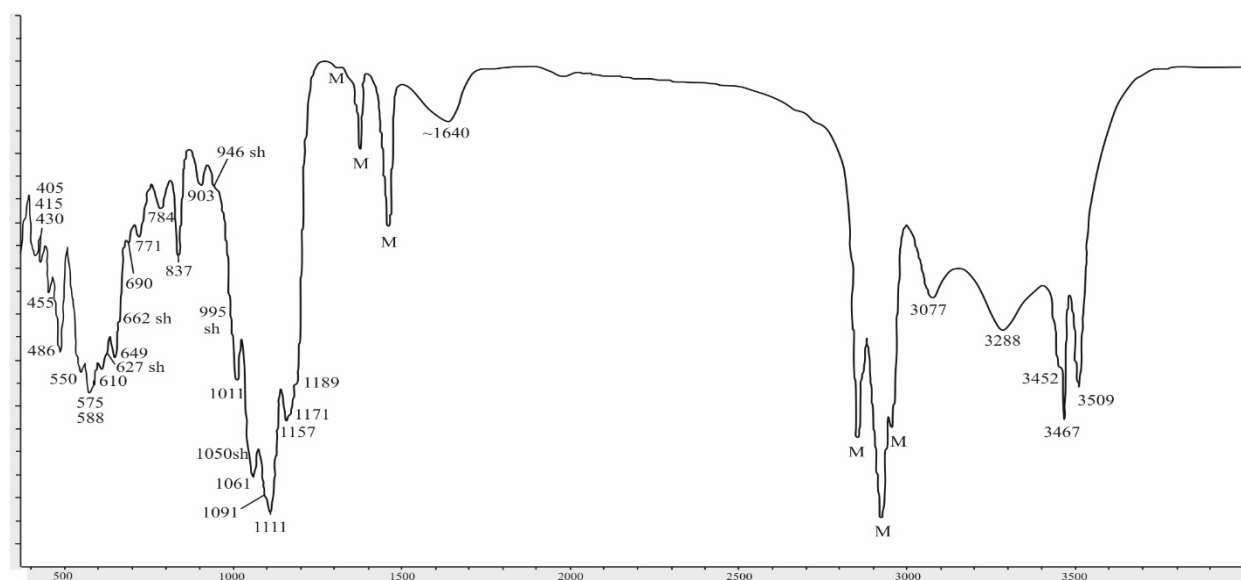


Рис. 8. ИК-спектр бирюзы, образец В-1.

Sh – плечо, М – полоса вазелинового масла

Бирюзовые жилки в основном встречаются в пологих под углом 3-15°, слабо наклонных 21-35° и крутых 35-55° трещинах. Наблюдалось несколько направлений и два типа трещин. Азимут простираения бирюзовых жилок (Рис. 10) совпадают с направлением главной тектонической структуры – разломом Бирюзовым. Наши наблюдения подтверждают данные Т.И. Менчинской [1989] о пологих, почти горизонтальных бирюзоносных трещинах, характерных для всех месторождений бирюзы в СССР.

Таким образом, можно сказать, что один из поисковых признаков бирюзы на Бирюзакане является структурный. Он характеризуется субгоризонтальными трещинами отрыва с жильным выполнением.



Рис. 9. Рассечение бирюзовыми жилами кварцевых жил и трещин

Жилки бывают очень тонкими, как примазки (Рис. 10 г); встречаются прерывистыми, трассирующими (Рис. 10) или линзовидными, в которых встречается ярко голубая бирюза (Рис. 2 а). Бирюза сформировалась раньше гипергенных бурых охр глинистых минералов (Рис. 11 а,б), т.е. позже бирюзы минералообразующие процессы не закончились. В бирюзе наблюдаются зоны роста (Рис. 5) и растворения (Рис. 6). Нами отмечалось гипергенное изменение бирюзы: в жилах проявились следы растворения и образование каплевидных форм и рыхлость и сыпучесть.

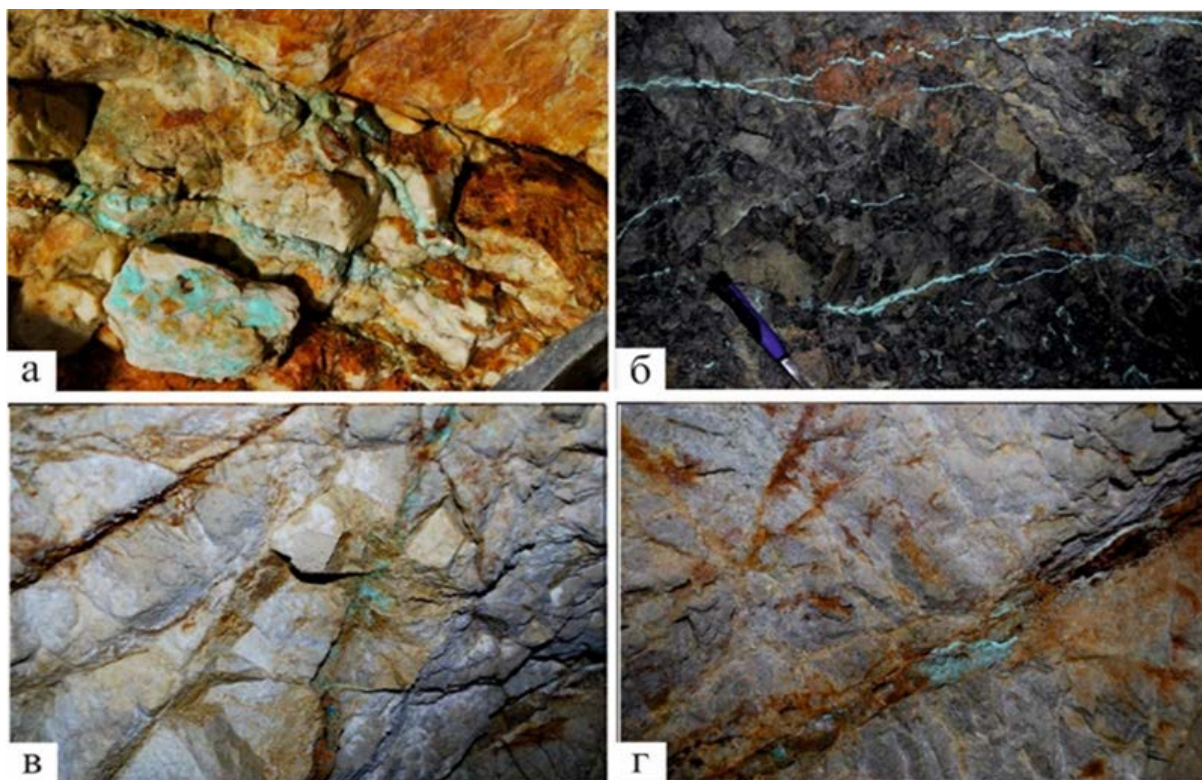


Рис. 10. Жилы бирюзы в кайнотипных (тёмные) и палеотипных (светлое) вулканитах:

б – жилы бирюзы в кайнотипных; а, в, г – палеотипных

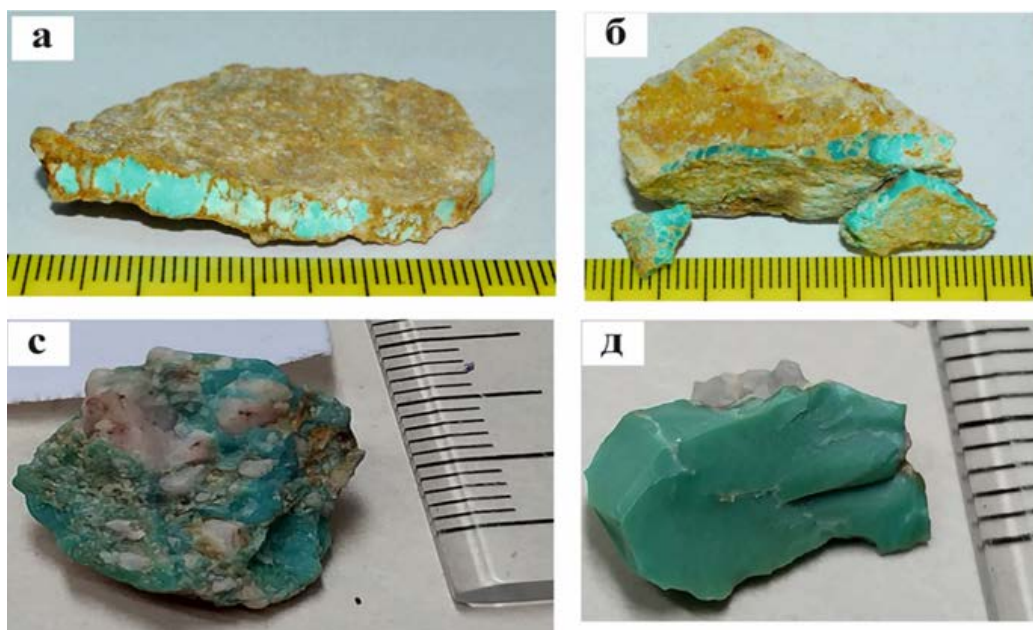


Рис. 11. Бирюза разного цвета:
а-б – из штольни №4, с-д – из карьера №3

Генезис. По мнению геологов-производственников [Отчёт ..., 1982] наиболее существенное влияние на распространение бирюзы оказывал Бирюзовый разлом, к оперяющим трещинам которого приурочена бирюза. В контуре разлома мощностью ~ 120м и в его лежащем боку бирюзу никогда не находили. Поэтому он выступает как структурный, а его породы, как геохимический барьеры для бирюзы.

Бирюзовые жилы расположены параллельно Бирюзовому разлому и не образуют вертикальных жильных тел. Вероятно, это связано с тем, что на данном гипсометрическом уровне подвижные истинные гидротермальные растворы переходили в коллоидные, более тяжёлые и менее мобильные. Это нашло отражение в колломорфных текстурах (Рис. 4). Горняки прекращали проходку восстающих штреков из-за отсутствия бирюзы.

Индукционные отпечатки граней кварца в бирюзе указывают на их одновременный рост. Бирюза ассоциирует с кварцем третьей генерации (Рис. 10 а). Поскольку кварц имеет гидротермальное происхождение, можно с уверенностью сказать, что бирюза – гидротермального генезиса.

Источник гидротермальных растворов мы видим в магматических ультракислых магматитах шайданского гранитоидного комплекса (T_1) – самыми поздними магматическими образованиями Карамазара (Рис. 18). Для рудных гидротермальных жил Большого Канимансура выдвинута аналогичная гипотеза [Файзиев, 2008; Файзиев, 2024]. Фацию серицитовых кварцитов можно коррелировать с аналогичным процессом на близлежащем месторождении Pb-Zn с Ag Большой Канимансур, а сольфатарная фация, установленная на нём [Файзиев, 2008], проявилась на Бирюзакане образованием сульфатов: крандаллита, аргентоярозита и ганнингита. Кроме того, сера входит в бирюзу и гиббсит. Начало и протекание серицит-хлоритового метасоматоза на Канимансуре происходило (по данным изучения газово-жидких включений) при

температуре 420-280°C и давлении 720-670 кбар [Файзиев, 2008]. С изменением андезитовых порфириров на последних его стадиях связано образование бирюзы.

Замещение минералов и стекла вулканитов привело в подвижное состояние многие элементы, в том числе, составляющих бирюзу, Al и P. Третий её элемент Cu, появился при окислении халькопирита. Две его генерации установлены нами [Литвиненко, Восихов, и др., 2024]. Бирюза находится в парагенезисе с кварцем последней генерации. На Бирюзакане выделено 4-е генерации кварца [Менчинская, 1989]. На Большом Канимансуре он отнесён к пятой минеральной ассоциации, включающей также флюорит, барит, урановую смолку, пирит, халькопирит, сфалерит, галенит и самородное серебро. Становление минералов этой стадии происходило при температуре 235-50°C и давлении 350-100 бар; в составе газовой-жидких включений установлены F, HCO₃, Cl, SO₄ [Файзиев, 2008]. В этих P-T параметрах происходила, вероятно, кристаллизация бирюзы.

По данным [Менчинская, 1989] со ссылкой на неопубликованные данные Н.И. Андрусенко, в бирюзе были обнаружены единичные включения коллоидных растворов, что подтверждает наше предположение об их участии в кристаллизации бирюзы. В том же источнике указывается, что в пластинках бирюзы под увеличением (x200) установлены газовой-жидкие включения размером 0.0006-0.0012 мм с наполнением 0.97-0,88%. При гомогенизации их в газовую фазу были получены два температурных интервала: 195-135° и 120-90°C, которые близки температурам гомогенизации включений в кварце – 170-90°C [Менчинская, 1989]. Таким образом, нужно подчеркнуть, что процесс образования бирюзы начался с автометаморфизма андезитовых порфириров и других средних вулканитов. Результатом этого явились вторичные кварциты серицитово-й фации и кварцевые жилы с относительно редкой бирюзой, кристаллизовавшейся на самых поздних стадиях при 350-100 бар и 235-50°C.

2. Впервые установлено, что в парагенезисе с бирюзой находится голубой гиббсит (минерал-обманка), который вместе с известным на месторождении голубым самплеитом, халькосидеритом и галлуазитом могут усложнить диагностику и качественную оценку кондиций бирюзы, и вводить в заблуждение как горняков, так и потребителей камнесамоцветной продукции.

Гиббсит обнаружен в жильном кварце с малахитом. Он образует небольшие жилки длиной до нескольких сантиметров и мощностью до 0,5 см, от светло-серого до голубого цвета (Рис. 12). Контакты между гиббситом разного цвета волнистые, резкие [Восихов и др., 2025]. Голубые жилки по цвету и жильной форме очень похожи на бирюзу (Рис. 12).

Поверхность гиббситовых агрегатов почковидная, приближающаяся к сферолитам. В их составе рентгенофазовым анализом обнаружены редкие, мелкие до 10 µm в поперечнике, округлые зёрна магнетита, с примесью, в мас. %: 3.5 CuO, 3.6 MnO, 4.8 SiO₂, 8.3 Al₂O₃.



Рис. 12. Многоцветная жилка гиббсита в кварце, 1,8×0,5 см

Внутри гиббситых образований наблюдаются концентрически-зональные, натёчные агрегаты похожие на колломорфную текстуру рудных минералов. Жилы имеют псевдослоистую текстуру, обусловленную развитием тонких разноцветных полос. Наряду с колломорфными агрегатами отмечаются микрокристаллы гиббсита. Главные линии на рентгенограмме гиббсита представлены следующими значениями: 4.816 (100), 4.334 (40), 4.169 (10), 3.327 (15), 2.429 (15), 1.996 (10), 1.445 (10). Они близки к эталонным. Гиббсит с непостоянным химическим составом, в мас. %: SiO_2 от 0.6 до 12.4, CuO от 0.4 до 3.8, MnO от 0 до 5.5, FeO от 0 до 0.3, SO_3 от 0 до 1.2, F от 2.8 до 4.9. Максимальные содержания примесей в гиббсите [Минералы, 1967] не должны превышать 3 мас. %. В нашем они достигают более 17 мас. %. Примеси в составе гиббсита мы рассматриваем как изоморфные. Голубая окраска различных оттенков, вероятно, обусловлена высокими содержаниями меди, а её изменения от светлой до тёмно-голубой, как вариации её колебаний.

В связи с высоким содержанием элементов-примесей варьирует также содержание главного вещества минерала – глинозёма от 51.6 до 63.7 мас. %. Его количество в «чистом» гиббсите [Минералы, 1967] составляет 65.4, а остальное количество 35.6 мас. %, соответственно, вода.

Положение гиббсита среди кварцевых жил с малахитом позволяет отнести его к гидротермальным минералам. Его образование можно коррелировать с гиббситом из золоторудного месторождения Бургунда, расположенного в 4.5 км северо-западнее Бирюзакана, в известняках (D_2 - C_1). Его образование связывают с низкотемпературным гидротермальным процессом [Файзиев и др., 2018].

Гиббситовые жилы Бирюзакана и Бургунды позволяют отнести изменения в андезитовых порфиритах к алунитовой формации низкотемпературных гидротермальных образований по Е.К. Лазаренко [1971]. Источником глинозёма для гиббсита и бирюзы послужили средне-кислые вулканы, в которых протекали процессы замещения полевых шпатов кварцем, с образованием вторичных кварцитов и пропилитов [Менчинская, 1981]. Высвободившийся при этом глинозём мигрировал в зоны пониженных давлений – трещины.

Ярко голубой гиббсит Бирюзакана, вероятно, встречался геологам, отработавшим месторождение на бирюзу. При диагностике некоторых голубых образцов и вставок может оказаться её ошибочная диагностика, т.к. голубой гиббсит легко визуально можно спутать с высокосортной бирюзой. Наша находка гиббсита расширяет спектр минеральных ассоциаций и ставит задачу проверки добытой ранее бирюзы и изделий из неё.

При изучении коллекции бирюзы в музее Самоцветы и Мин. музее им. А.Е. Ферсмана в одной из витрин мы обнаружили экспонат голубого самплеита с месторождения Бирюзакан, очень похожего на бирюзу (Рис. 13 а,б). Его кристаллохимическая формула: $\text{NaCaCu}_5(\text{PO}_4)_4\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Твёрдость – 4, близка бирюзе. В самплеите также угадывается колломорфная текстура. Публикаций о самплеите с Бирюзакана нам не известно. Очевидным является большое внешнее сходство этих минералов, что может привести к ошибкам при их диагностике, а значит и при оценке количественных и качественных кондиций Бирюзакана.

В жильном комплексе нами установлен халькосидерит – гидрофосфат Cu и Fe – минерал из группы бирюзы, светло-зелёного цвета. Халькосидерит Бирюзакана содержит, в мас. %: 8.8 Al_2O_3 , 31.2 P_2O_5 , 34 FeO, 6.7 CuO, 1 SO_3 , 0.1 CaO, сумма = 82%. Его идеализированная кристаллохимическая формула имеет следующий вид: $\text{CuFe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. В крупных скоплениях минерал нам не встречался. Как минерал-обманка он может рассматриваться при наличии крупных выделений, которые на месторождении вполне ожидаемы.

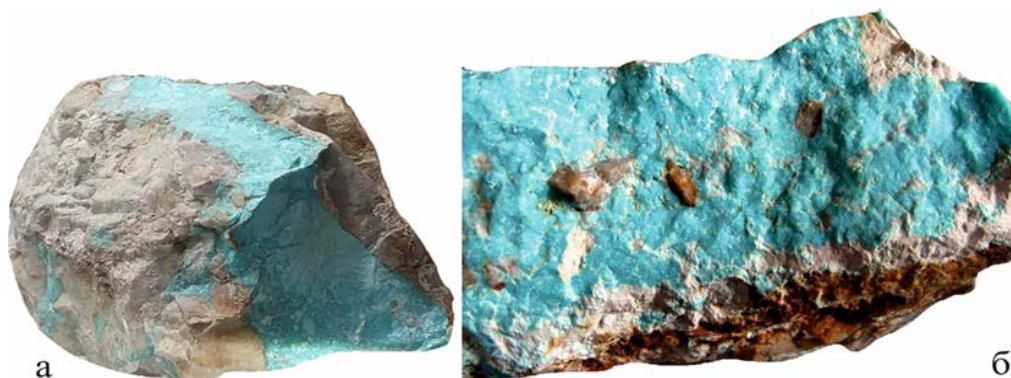


Рис. 13. Самплеит с Бирюзакана – двойник бирюзы

а – размер образца 7×4 из музея Самоцветы; б – размер 10×5см, Мин.музея им. А.Е. Ферсмана

Галлуазит – водосодержащий силикат алюминия $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Т.И. Менчинской [1989] он был только упомянут в ассоциации с голубой бирюзой и кварцем без описания и химического анализа. Диссертантом этот минерал установлен в составе гиббситовых жил в форме неправильных зёрен до 150 микрометров. Форма зёрен галлуазита неопределённая, с сильно размытыми краями, но чётко отделяется от гиббсита. В них наблюдаются растворённые кристаллы магнетита, содержащего в мас. % до 3.4 Al_2O_3 , 5.3 SiO_2 , 0.6 MnO, 0.7CuO. В составе галлуазита много примесей. Содержание меди более 1 мас. %

может окрасить минерал в голубой цвет, что также будет создавать внешнее сходство с бирюзой. От неё галлуазит отличается более низкой твёрдостью.

3. На основе общей геолого-структурной позиции месторождения Бирюзакан с рудными месторождениями Тариэкан (Ag), Адрасман (Au), Каптархана (Ag) и др. намечается парагенетическая связь бирюзовой минерализации с рудными месторождениями Карамазара. Подтверждающим аргументом парагенетической связи месторождений является обнаружение диссертантом гидрооксилбастнезита-Nd и геохимической аномалии REE, Th, U, As, Sb, Zn, Cu, W, Bi, Cd, Se, Ag, Au – элементов характерных для рудных месторождений Карамазара.

Важнейшее значение в образовании и размещении рудных месторождений Карамазара играли системы сближенных глубинных разломов субширотного и северо-западного простирания. По данным [Вольфсон и др., 1972] глубинные, долгоживущие разломы выполняли большую роль в геологической истории региона. Одним из них является разлом Бирюзовый, контролирующий размещение Ag-Pb-Zn и Cu-Bi месторождений, в том числе, бирюзовых объектов. Последние локализованы в центре сложной системы глубинных разломов северо-восточного простирания: Тарыэканского, Баштавакского, Кошмулинского, Кызылтурского и Бирюзового (Рис. 14) [Литвиненко, Восихов, 2024]. Эти разломы определяют блоковое строение Карамазара [Мещеркова, 1960].

Район является крупнейшим рудным регионом мирового значения. На его площади выделено 14 рудных полей [Бабаходжаев и др., 2001]. Они представлены крупными, средними и мелкими Pb-Zn (Альтынтюпкан, Куруксай, Турангли, Сардоб, Учочак, Кансай, Акташ, Замбарак, Канимансур, Адрасман, Гудас и др.), Ag (Большой Канимансур, Канджол и др.), Fe-рудными (Чокадамбулак), Au (Бургунда, Иккижелон, Тутли, Апрелевка, Кариахан, Школьное, Кызылчеку, Чарби, Чашмадинар и др.), Cu-Bi (Каптархана, Перевальное, Тариэкан и др.), Bi-W (Чорухдарон) и U (Табошар и др.) месторождениями.

Месторождение Бирюзакан и 4-е бирюзовых проявлений (Бирюзасай, Карамазар, Кызылташ и Шорбулак) расположены в центре района. На западе бирюзоносная зона приближается к месторождениям Школьное (Ag-Au) и Табошар (U); на севере – к Канджолу (Ag-Pb-Zn), Кариахану (Au), Замбараку (Cu-Pb-Zn), Перевальному и Тариэкану (Cu-Bi-Pb-Zn); на востоке – к Большому Канимансуру (Ag-Pb-Zn), Канимансуру (Pb-Zn) и Адрасману (Cu-Bi-Pb-Zn); на юге – к Каптархане (Cu-Bi), Акташу, Кансаю (Pb-Zn) и Кызылчеку (Au). На более дальнем расстоянии от бирюзовой зоны, на западном фланге Карамазара расположены месторождения Сардоб, Алтынтюпкан, Куруксай, Турангли, Учочак (Pb-Zn), Чашли (Fe), Бургунда, Иккижелон, Тутли (Au); на юге – Чокадамбулак (Fe), Чорухдайрон (W-Bi) и Апрелевка (Au); на востоке – Чарби, Чашмадинар (Au) и Гудас (Pb-Zn) (Рис. 14) [Литвиненко, Восихов, 2025].

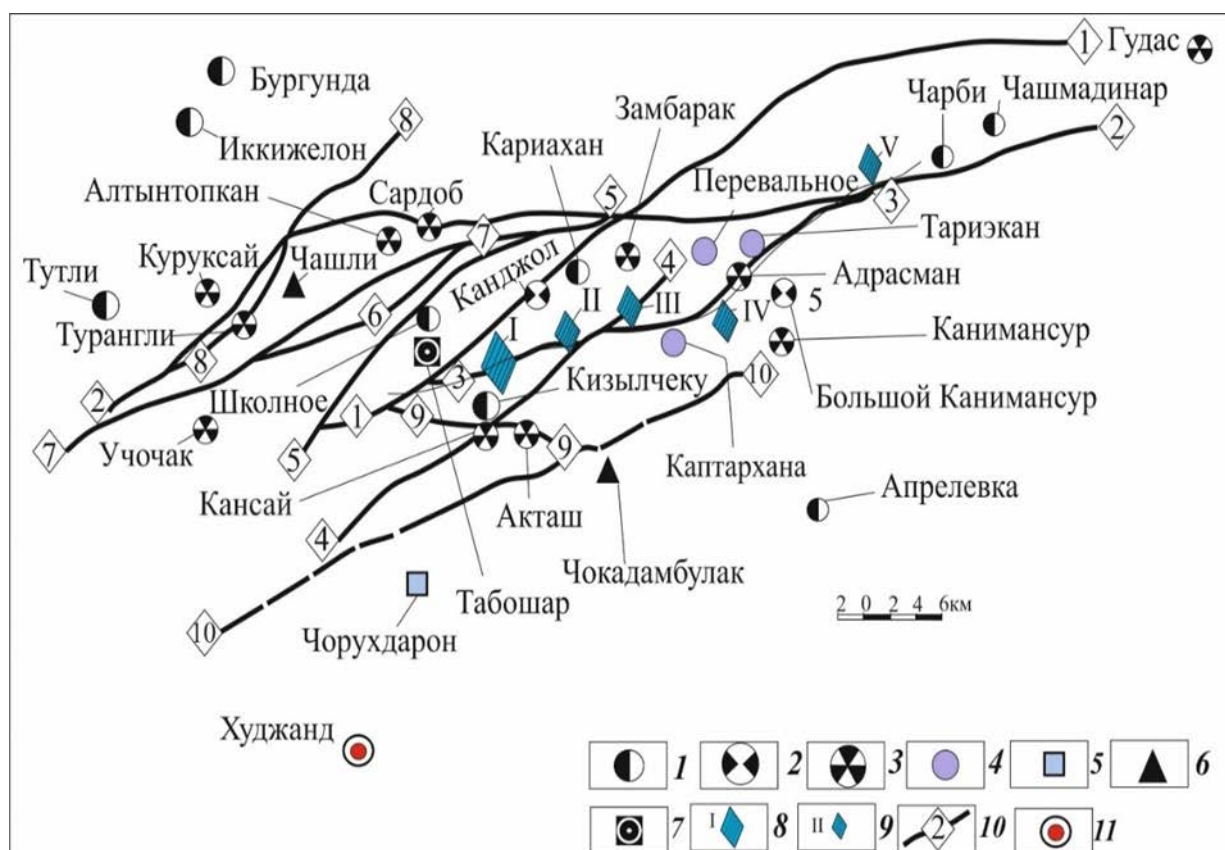


Рис. 14. Карта размещения рудных месторождений и бирюзы Карамазара, составлена с использованием карты м-ба 1:200000 из отчёта В.Н. Байкова и др., 1968 г.:

1-7 – виды месторождений: 1 – Au, 2 – Ag, 3 – Pb-Zn, 4 – Cu-Bi, 5 – Bi-W, 6 – Fe, 7 – U, 8-9 – бирюза: I – Бирюзакан, 9 – проявления: II – Бирюзасай, III – Карамазар, IV – Кызылташ, V – Шорбулак, 10 – глубинные разломы и их номера: 1 – Тарызканский, 2 – Баштавакский, 3 – Бирюзовый, 4 – Кошмулинский, 5 – Канджольский, 6 – Токмакский, 7 – Редкометальный, 8 – Алтынтопканский, 9 – Оккурдаванский, 10 – Кызылтурский, 11 – город.

Нами была установлена большая группа рудных и нерудных минералов с высоким содержанием изоморфных рудных элементов [Литвиненко, Восихов и др., 2025]. В жиле гиббсита с малахитом мощностью ~ 3 см, в обломке 6х6 мм обнаружена группа минералов более 70 микрозёрен, неправильной формы до 15 μm , (Рис. 15). Это гидроксилбастнезит-(Nd): в мас. %: 29.3 Nd_2O_3 , 8.7 Gd_2O_3 , 7.4 Sm_2O_3 , 6.2 La_2O_3 , 6.1 Y_2O_3 , 5.1 Pr_2O_3 , 3 Ce_2O_3 , 2.3 Dy_2O_3 , 3.2 CuO , 4.9 CaO , 3.6 F, сумма 75.7. Во флюорите Кансайского рудного поля установлены повышенные содержания REE [Файзиев, 2008], которые можно коррелировать с редкоземельной минерализацией Бирюзакана. Вероятно, это первая находка редкоземельной минерализации в Карамазаре.

В бирюзоносном кварце обнаружены кристаллики пирита до 10 мкм, которые с 1,48 Co и 0,85 As мас.%. Там же определены рутил до 20 мкм с примесью V_2O_5 1,83 мас.%, а также циркон. В зальбандах бирюзовых жил обнаружена мелкая вкрапленность халькопирита, которая не проникла внутрь бирюзы. Это позволяет предположить его более поздний, чем бирюза, характер кристаллизации. Более ранний халькопирит наблюдается совместно с пиритом в вулканитах. Это наблюдение позволяет выделить две генерации халькопирита:

первая в вулканитах, вторая – в жилах кварца и бирюзы. Ранее в зальбандах бирюзовых жил установлены сульфиды, более точно не диагностированные [Менчинская, 1989].

Внутри жил наблюдается плотный агрегат малахита 3x2,5x2 см. Минерал встречается на многих месторождениях Карамазара [Файзиев, 2024]. Его поверхность покрыта мелкими впадинами и коричневыми тонкими корочками более поздних минералов. В малахите установлена вкрапленность гидроксилбастнезита-(Nd). Эта находка гидротермальной редкоземельной минерализации расширяет область её распространения на Бирюзакане. В гиббсите – изоморфная примесь, в мас. %: CuO 2.7, MnO 0.4, SO₃ 1.2, F 4.5. В нём обнаружены мелкие до 10 μm, округлые зёрна магнетита с 3.5 CuO, 3.6 MnO, 4.8 SiO₂, 8.3 Al₂O₃ мас. %: . Возможно, магнетит при окислении являлся источником меди и алюминия для кристаллизации бирюзы. Там же установлены мелкие зёрна кальцита, содержащего по 1.5% Mn и Fe.

Трещинно-жильная система Бирюзакана изобилует бурыми скоплениями гидрооксидов и сульфатов железа и других рудных низкотемпературных минералов. Среди бирюзовых линз рентгенофазовым анализом определены (аналитик Саймудасири М.): фаустит ZnAl₆(PO₄)₈•4H₂O, аргентоярозит AgFe₃(SO₄)₂OH, ганнингит Zn(SO₄)•H₂O, ванадинит Pb(VO₄)₃Cl и климанит ZnAl₂(PO₄)₂(OH)₂•3H₂O (Таблица 2).

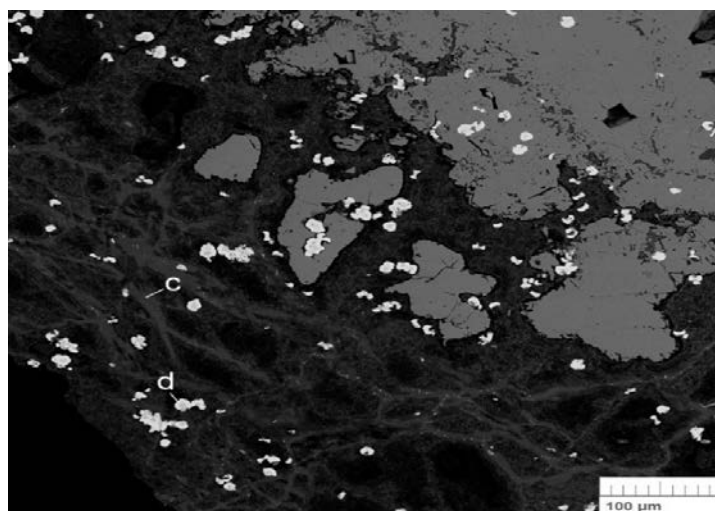


Рис. 15. Участок образца в отражённых электронах (BSE):
(d) – гидроксилбастнезит-(Nd), c – гиббсит и b –малахит

Таким образом, вырисовывается парагенетическая связь бирюзы с минералами Zn, Ag, Fe, Pb, V и REE.

Выявленная нами в составе кварцевых жил с бирюзой многочисленная группа рудных элементов и рудных минералов позволяет провести парагенетические связи территории бирюзовой минерализации с рудными объектами Карамазара и включить кристаллизацию бирюзы в процесс рудогенеза. Минеральный состав сопровождающих бирюзу минералов,

содержащих Fe, Mn, Cu, Zn, V, Ag, REE, даёт основания выдвинуть Бирюзакан в ранг перспективного объекта для постановки поисково-оценочных работ.

Таблица 2 – Рудные и нерудные минералы из бирюзовых жил

Минерал	Кристаллохимическая формула	Класс
Магнетит с Cu и Mn	Fe_3O_4	Оксид
Пирит с Co и As	FeS_2	Сульфид
Гиббсит Cu, Mn	$Al(OH)_3$	Гидрооксид
Малахит	$Cu_2[CO_3](OH)_2$	Карбонат
Халькопирит	$CuFeS_2$	Сульфид
Фаустит	$ZnAl_6(PO_4)_8 \cdot 4H_2O$	Фосфат
Климанит	$ZnAl_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 3H_2O$	Фосфат
Самплеит	$NaCaCu_5(PO_4)_4Cl \cdot 5H_2O$	Фосфат
Халькосидерит	$CuFe_6(PO_4)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$	Фосфат
Аргентоярозит	$AgFe_3(SO_4)_2OH$	Сульфат
Ганнингит	$Zn(SO_4) \cdot H_2O$	Сульфат
Ванадинит	$Pb(VO_4)_3Cl$	Хлориды

По штучным пробам, отобранным в лежащем и висячем боках Бирюзового разлома (Рис. 16), установлены очень высокие содержания редкоземельных и радиоактивных элементов (Таблица 3 и Таблица 4). Рассчитанные нами кларки концентрации варьируют: Y 6-8, Ce 3-4, La 8-10, Pr 30-100, Nd 16-17, Th 1-6, U 6-140. Редкоземельная аномалия, вероятно, обусловлена минерализацией обнаруженной нами в жиле гиббсита с малахитом распространённой на всю площадь.

Таблица 3 Редкоземельные металлы (г/т)

№ п/п	Y	Ce	La	Pr	Nd	Сумма
33	29	150	-	-	289	468
35	25	-	-	-	-	25
38	5	-	-	-	-	5
40	42	-	59	150	115	366
42	20	-	-	-	-	20
44	26	-	-	-	-	26
58	-	177	-	-	-	177
59	14	-	170	206	378	768
82	-	209	157	201	395	962
84	45	-	-	-	-	45
85	47	219	130	244	423	1093
86	8	205	-	221	438	872
87	12	155	-	-	-	167
88	25	190	144	-	316	675
89	31	169	103	-	286	589
90	5	198	-	204	375	782
91	45	170	139	-	-	374
92	15	156	-	-	-	171
93	45	-	-	919	277	1238
94	177	315	139	244	422	297
95	255	-	152	-	-	407

Таблица 4 – Радиоактивные металлы (г/т)

№ п/п	Th	U	Сумма
33	29	9	38
35	14	6	20
38	5	7	13
40	9	6	15
42	44	12	56
44	14	5	19
58	9	6	15
59	34	10	44
82	12	4	16
83	42	13	55
84	16	-	16
85	39	16	55
86	35	19	54
87	47	16	63
88	40	11	51
89	29	6	35
91	-	3	3
92	-	4	4
93	16	7	23
94	35	10	45
95		420	420

После нанесения высоких содержаний элементов на план месторождения определились контуры двух геохимических аномалий (Рис. 16). Площадь северной составила 250х25-60, а южной – 250х60-90 метров. РФА штучных проб показал очень высокие значения содержаний As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au с кларками концентрации в десятки раз выше фоновых значений (Таблица 5). Нами была опробована практически вся площадь месторождения Бирюзакан и его северный фланг, выше Бирюзового разлома (Рис. 17). Общая площадь аномалии составила 0,25 км².

Внутри вулканитов, без видимой связи с жильными образованиями отмечается тонко рассеянная вкрапленность рудных минералов и их скопления вокруг тёмноцветных фенокристаллов.

Выявленная нами в составе кварцевых жил с бирюзой многочисленная группа рудных минералов, содержащих химические элементы, характерных для рудных месторождений района, подчеркивает геохимическую и парагенетическую связь бирюзы с рудными месторождениями Карамазара. Кристаллизация бирюзы (минерал Cu), фаустита (минерал Zn) и других сопутствующих рудных минералов (халькопирит 2-й генерации и гидроксилбастнезит-Nd и др.) связана с процессом регионального рудогенеза, в котором они составляют самое позднее звено эндогенного цикла.

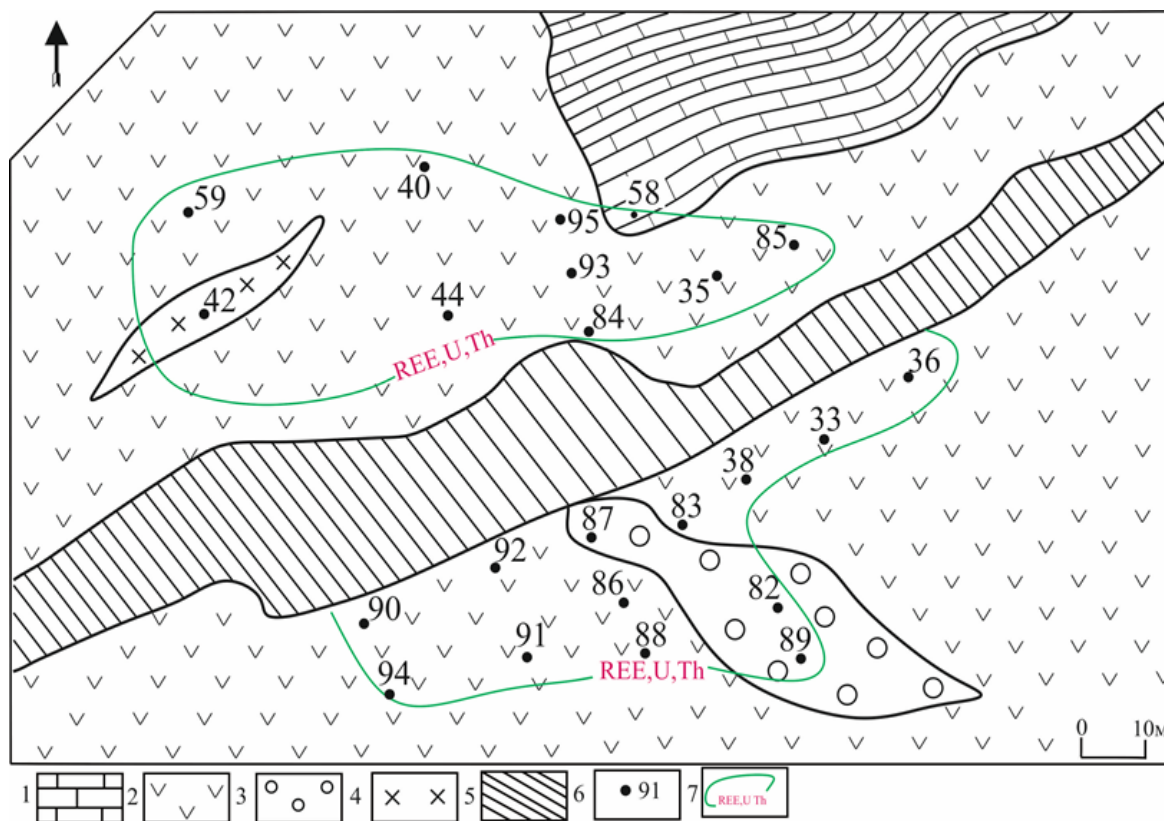


Рис. 16. Геохимические аномалии редкоземельных и радиоактивных элементов Бирюзакана (составлена на основе геологической карты м-ба 1:1000, Нитман и др. 1985).

- 1 – мраморизованные известняки и доломиты (D₂-C₁); 2 – андезитовые порфириты акчинской свиты (C₂); 3 – вторичные кварциты; 4 – монцограниты; 5 – Бирюзовый разлом; 6 – точки отбора проб; 7 – контур геохимической аномалии

Таблица 5 – Содержания рудных элементов в вулканитах месторождения Бирюзакан (г/т)

№№	Se	W	Mo	Cd	Bi	Cu	As	Sb	Ba	Zn	Ag	Au
33	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
35	-	-	5	-	-	-	25	-	3365	-	-	-
36	8	-	8	-	-	-	15	-	1444	-	-	-
38	-	-	9	-	-	-	49	-	187	-	-	-
42	-	-	5	-	-	-	66	-	1919	-	-	-
44	-	-	11	-	-	-	19	-	1771	-	-	-
58	-	-	9	-	-	-	18	-	1259	-	-	7
59	-	-	5	-	-	-	16	-	1292	-	-	-
82	3	18	16	-	-	-	11	-	242	-	11	-
83	3	-	-	-	-	-	29	43	2142	-	-	-
84	5	-	50	-	-	401	29	-	982	-	-	-
85	6	20	15	18	-	406	6	-	1721	-	-	-
86	5	-	56	-	31	3894	111	-	288	-	11	-
87	-	-	13	-	-	-	13	-	575	-	6	-
88	7	-	-	-	-	491	13	-	1640	-	-	-
89	4	29	33	-	-	-	10	-	1281	-	9	-
90	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
91	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	-	-	-	-	-	428	10	40	-	-	12	-
93	5	62	9	24	52	3725	13	44	1164	198	-	8
94			6			42992	79	34	1975	395		
95			50	33	22		34			1682		

Примечание. Пробы анализировались в Инжиниринговом центре МГРИ

Полученный минеральный состав сопровождающих бирюзу жильных и рудных минералов, содержащих Fe, Mn, Cu, Zn, Co, As, V, Ag, REE, F, а также выявленная геохимическая аномалия представленная REE, Th, U, As, Sb, Zn, Bi, W, Mo, Cu, Cd, Se, Ba, Ag, Au с кларками концентрации в десятки раз выше фоновых значений дает основание обозначить Бирюзакан в качестве перспективного объекта для постановки поисково-оценочных работ на рудную минерализацию. Также это позволит расширить генетические представления о развитии самоцвета на флангах и более глубоких горизонтах месторождения. Автор полагает, что существуют перспективы обнаружения бирюзовой минерализации на смежных рудных месторождениях.

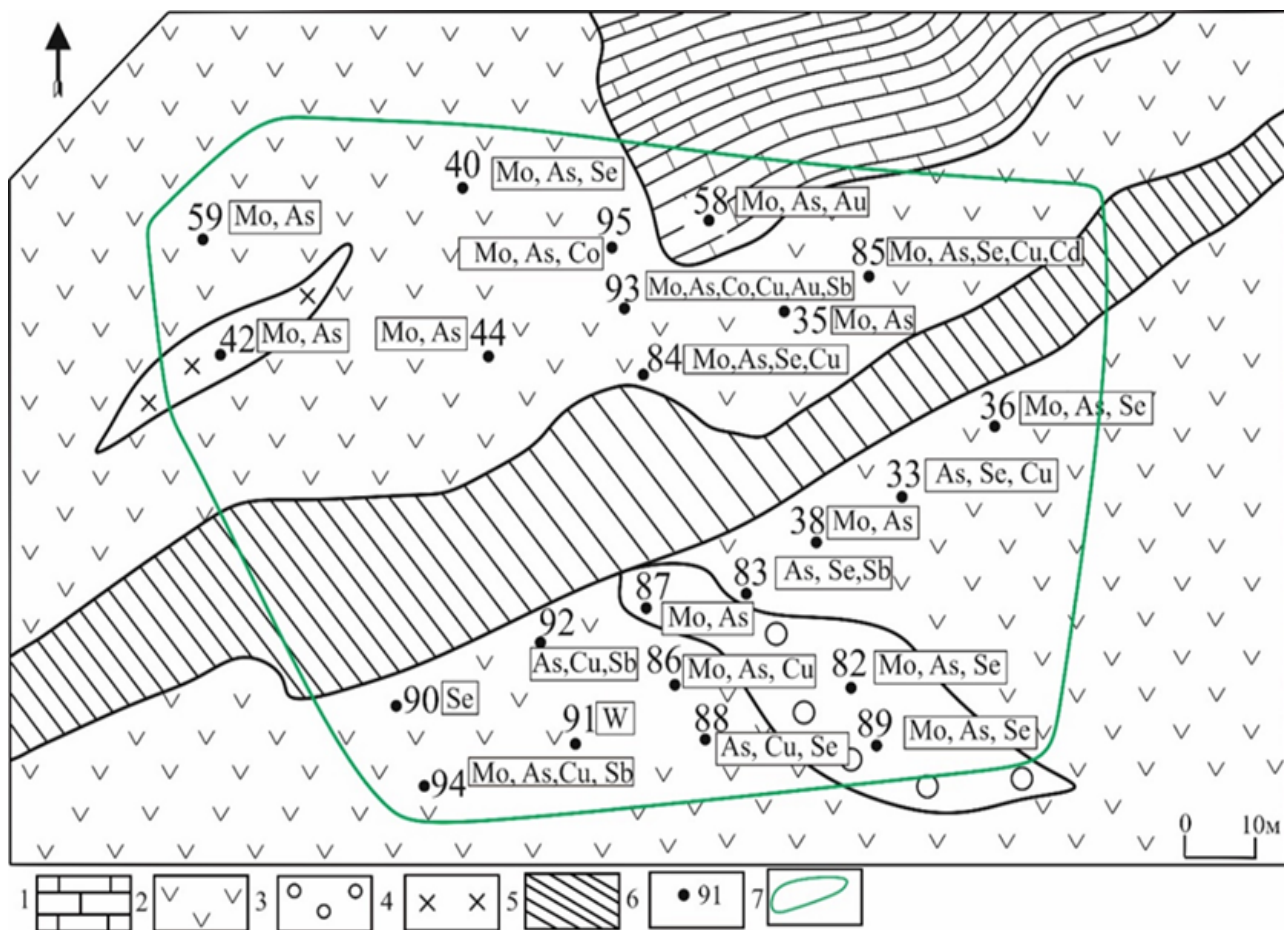


Рис. 17. Результаты геохимического опробования месторождения Бирюзакан, Условные значения на Рис. 16

Внутри вулканитов, без видимой связи с жильными образованиями отмечается тонко рассеянная вкрапленность рудных минералов (Рис. 18 а) и их скопления вокруг тёмноцветных фенокристаллов (Рис. 18 б).

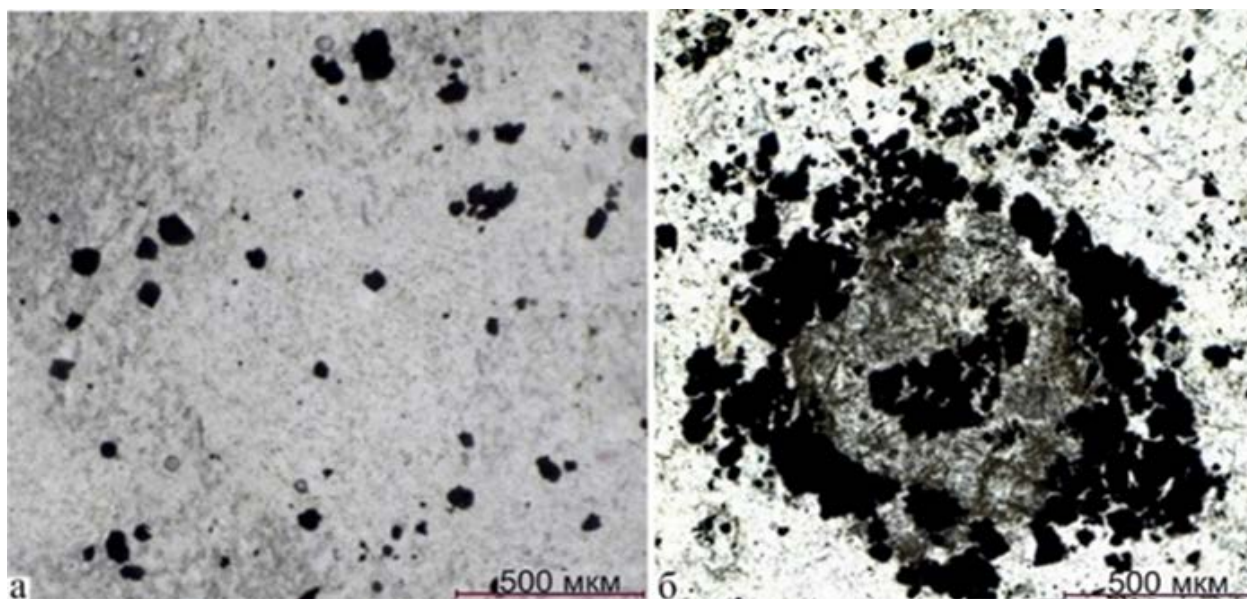


Рис. 18. Характер распределения рудных минералов по массе вулканитов
а – редкие, мелкие рудные минералы по осветлённой породе; б – скопление рудных минералов вокруг тёмного выделения, возможно, вулканического стекла.

Парагенетические связи территории бирюзовой минерализации с рудными объектами Кармазара и включение кристаллизации бирюзы в процесс рудогенеза может быть аргументирована металлогенограммой (Рис. 19). Её анализ позволяет проследить участие бирюзовой минерализации в общем процессе образования рудных месторождений.

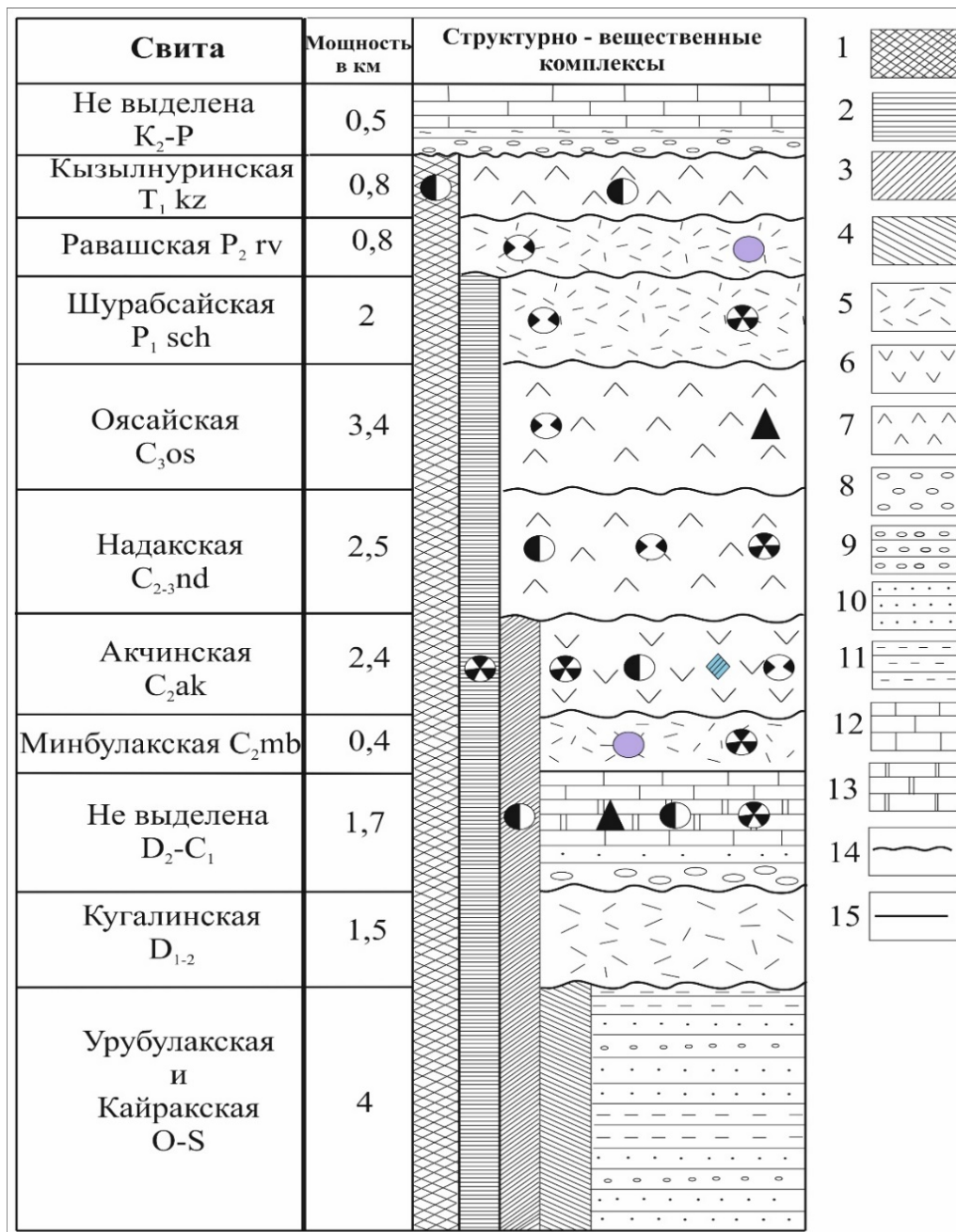


Рис. 19. Металлогенограмма Кармазара и положение в ней бирюзы.

Составлена по [Геология и...,1972;Геология СССР...,1959; Рудные ...,1972]: 1-4 – интрузии: 1 – шайданский, гранитоидный (Т₁) 2 – чорухдайронский, сиенитовый (Р); 3 – кармазарский, гранодиоритовый (С₂); 4 – бургундинский, микродиоритовый (S₂); 5-7 – вулканиты: 5 – андезиты, базальты, туфы; 6 – липариты, дациты, туфы; 7 – липариты, трахилипариты, туфы; 8-13 – осадочные породы: 8 – базальные конгломераты; 9 – конгломераты; 10 – песчаники; 11 – алевролиты; 12 – известняки; 13 – доломиты; 14-15 – контакты: 14 – несогласные; 15 – согласные; 16-18 – месторождения: 16 – а) бирюзы, б) Fe; 17 – а) Au, б) Ag; 18 – а) Pb-Zn, б) Cu-Bi

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Колломорфная текстура бирюзы и гиббсита, с хорошо выраженными сферолитами является признаком кристаллизации самоцвета из коллоидных низкотемпературных растворов, в которые перешли истинные растворы после кристаллизации кристаллов кварца 4-й генерации. Вероятно, массивные агрегаты бирюзы являются более высокотемпературными, чем колломорфные. Они также являются более качественным кристаллосырьём.

Возможное обнаружение новых проявлений бирюзы можно связывать с восточными флангами и более глубокими горизонтами месторождения.

Установленные нами минералогические признаки позволяют выделить некоторые фациальные и формационные особенности месторождения. Например, крадаллит и бирюза, содержащие, соответственно, до 12.5 и до 0.5 % SO_3 позволяют наметить проявление сольфатарной стадии (фации) развития вулканического процесса в Карамазаре. Гиббсит является признаком алунитовой формации метасоматитов.

На месторождении нами была установлена группа новых для него минералов: фаустит $\text{ZnAl}_6(\text{PO}_4)_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, аргентоярозит $\text{AgFe}_3(\text{SO}_4)_2\text{OH}$, ганнингит $\text{Zn}(\text{SO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$, ванадинит $\text{Pb}(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$ и климанит $\text{ZnAl}_2(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, халькосидерит $\text{CuFe}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, гиббсит $\text{Al}(\text{OH})_3$, также подтверждающая фациальные и формационные особенности месторождения.

Бирюза Карамазара сформирована на самой последней низкотемпературной стадии эндогенного цикла развития. Мезозойский чехол осадочных пород, перекрывающий бирюзоносные породы Бирюзакана, в котором отсутствуют гидротермальные жилы, позволяет определить время образования бирюзы, как домезозойское. Нами была установлена парагенетическая связь месторождения бирюзы Бирюзакан с рудными месторождениями региона позднепалеозойского возраста.

Широкий спектр редкоземельных, радиоактивных, редких, цветных и благородных элементов, установленных на площади месторождения создают перспективы для выявления их промышленных концентраций.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ:

1. Литвиненко А.К., **Восихов Ш.Т.** Месторождения и проявления бирюзы и варисцита в Республике Таджикистан // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2024. № 3. С.19-25.

2. Литвиненко А.К., **Восихов Ш.Т.**, Рассомахин М.А., Якушина О.А. О парагенетической связи месторождения Бирюзакан с рудными месторождениями Карамазара // Горный журнал. 2025. №2. С. 15-20.

3. **Восихов Ш.Т.**, Литвиненко А.К., Рассомахин М.А. Первая находка гиббсита на месторождении бирюзы Бирюзакан, Северный Таджикистан // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2025. №1. С.49-55.

В других изданиях и материалах различных конференций

4. Литвиненко А.К., **Восихов Ш.Т.** Проблема источника вещества для бирюзы месторождения Бирюзакан, Карамазар, Северный Таджикистан // XVI Меж.-го научно-прак. конф. «Новые идеи в науках о Земле».-Москва. МГРИ-РГГУ. 2023.-с.53-55.

5. **Восихов Ш.Т.**, Литвиненко А.К., Особенности размещения месторождений бирюзы в Таджикистане //XI Меж.-го научная конф. молодых ученых «Молодые-Наукам о Земле».-Москва. МГРИ-РГГУ. 2024.-с.340-343.

6. **Восихов Ш.Т.**, Литвиненко А.К. Геологические особенности и качественные кондиции бирюзы из месторождения Бирюзакан, Карамазар (Северный Таджикистан //III ежегодной Межд.-го научно-практической конф. «Развитие национальной промышленности и геологии Таджикистана за годы независимости страны».-Бустон. ГМИТ. 2024.-с.21-22.

7. Литвиненко А.К., **Восихов Ш.Т.** Структурно-текстурные особенности бирюзы с месторождения Бирюзакан, Северный Таджикистан // XVII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» МГРИ-РГГУ. 2025 (в печати)

8. **Восихов Ш.Т.**, Литвиненко А.К. О перспективах месторождения бирюзы Бирюзакан, Северный Таджикистан на редкоземельные и радиоактивные металлы // XIV Межд.-го научно-практическая конф. «Геология, прогноз, поиски и оценка месторождений алмазов, благородных и цветных металлов».-Москва. ЦНИГРИ.2025. – с.81-83.

9. **Восихов Ш.Т.**, Литвиненко А.К. Геохимическая аномалия рудных элементов на площади месторождения бирюзы Бирюзакан, Северный Таджикистан // XVII Международная научно-практическая конференция «Новые идеи в науках о Земле» – Москва. МГРИ-РГГУ. 2025. – с.106-110.