

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.411 (575.2)

Скарновые месторождения золота в Тянь-Шане (Кыргызстан)

Пак Н. Т., Ивлева Е. А.

Институт геологии НАН КР, г. Бишкек (Кыргызстан)

Аннотация. Скарновые месторождения золота широко развиты в Кыргызстане. Они составляют около 10 % запасов золота на территории страны, и среди них имеются крупные месторождения с запасами более 70 т. Выделяются три геодинамические обстановки, при которых формируется данный тип месторождений: островодужные обстановки раннего палеозоя, активные континентальные окраины и переходные к коллизии обстановки каменноугольного периода, пермская внутриплитная тектоно-магматическая активизация. В статье дана характеристика некоторых месторождений из каждой геодинамической обстановки, описаны особенности их строения, стадийность, минеральный состав и др.

Предложена принципиальная схема формирования и корреляции крупных, средних и мелких скарновых месторождений золота. Важную роль в образовании золотой минерализации играют околорудные метасоматиты, наложенные на скарны и на окружающие их породы. На ряде месторождений присутствуют редкие и нетрадиционные золотоносные метасоматиты: кварц-полевошпатовые и серпентиниты (апоскарновые), которые являются поисковыми критериями и признаками на золотое оруденение в областях развития скарновых месторождений.

Ключевые слова: геодинамическая обстановка, интрузия, метасоматиты, золото, запасы, стадийность, модель.

Для цитирования: Пак Н. Т., Ивлева Е. А. Скарновые месторождения золота в Тянь-Шане (Кыргызстан). Руды и металлы. 2025. № 2-3. С. 58–73. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10008.

Skarn-related gold deposits in Tian Shan, Kyrgyzstan

Pak N. T., Ivleva E. A.

Institute of Geology, Kyrgyz Academy of Sciences, Bishkek, Kyrgyzstan

Annotation. Skarn-related gold deposits are widely distributed in Kyrgyzstan. These deposits account for about 10% of gold reserves of the country, and they include large deposits with the gold reserves exceeding 70 tons. Three geodynamic settings are distinguished associated with formation of this type gold deposits: early Paleozoic island arcs, Carboniferous active continental margins and settings transitional to collisional, and Permian intraplate tectono-magmatic reactivation. This article characterizes several gold deposits and describes their structural features.

A conception of the formation and correlation of large, medium, and small skarn-related gold deposits is proposed. Of important significance for the gold mineralization formation are wallrock metasomatites superimposed on the skarns and their surrounding rocks. A number of the deposits are characterized by the presence of rare and unconventional types of the gold-bearing metasomatites, such as quartz-feldspar ones and hydrothermal (aposkarn) serpentinites, that serve as the prospecting guides and criteria for gold mineralization in areas of distribution of skarn-type ore deposits.

Keywords: geodynamic setting, intrusion, metasomatites, gold, mineral reserves, stages, model.

For citation: Pak N. T., Ivleva E. A. Skarn-related gold deposits in Tian Shan, Kyrgyzstan. Ores and metals. 2025. No. 2-3. pp. 58–73. DOI: 10.47765/0869-5997-2025-10008.



Территория Кыргызстана составляет около 0,2 млн км² и почти полностью сложена горами Тянь-Шань, которые являются частью Урало-Монгольского складчатого пояса, а в современной трактовке – частью Центрально-Азиатского орогенного пояса. Тянь-Шань в пределах Кыргызстана делится на Северный, Срединный и Южный Тянь-Шань, имеющие в целом субширотную ориентировку (рис. 1). Они отделены друг от друга сутурами палеоокеанических бассейнов. Кроме того, имеется региональный Таласо-Ферганский разлом северо-западного простирания, представляющий собой правосторонний сдвиг с амплитудой около 200 км. Этот разлом делит Срединный Тянь-Шань на Чаткальский (западный) и Нарынский (восточный) секторы, а Южный Тянь-Шань – на западный и восточный секторы.

Геодинамическое развитие Тянь-Шаня имеет длительную историю от архея–протерозоя и доныне. Для формирования скарновых месторождений золота значение имеют геодинамические обстановки палеозойской эры (таблица).

Островодужные обстановки раннего палеозоя развиты в Северном Тянь-Шане, где в связи с ними сформирован субширотный пояс медно-порфировых месторождений, имеющих ордовикский возраст [3]. В западной части этого пояса были сформированы несколько скарновых месторождений золота.

Активные континентальные окраины и переходные к коллизии обстановки каменноугольного возраста расположены в Чаткальском (западном) секторе Срединного Тянь-Шаня. Здесь в связи с сандалаш-чаткальским интрузивным комплексом (C₂₋₃) образовался ряд скарновых месторождений золота.

Внутриплитная тектоно-магматическая активизация пермского возраста проявилась в Срединном и Южном Тянь-Шане. С этой обстановкой связано наибольшее количество скарновых месторождений золота.

В Кыргызстане имеется более 100 месторождений золота [6, 9] (см. рис. 1), в том числе суперкрупное месторождение Кумтор (запасы золота около 1000 т, добыто 470 т) и до де-

сяти крупных месторождений с запасами свыше 70 т. Скарновые месторождения золота отличаются небольшими масштабами и играют незначительную роль в общем балансе производства золота в мире (~ 1 %), однако в пределах Кыргызстана они встречаются довольно часто и составляют около 10 % запасов золота на территории страны. Среди крупных объектов имеются и скарновые месторождения золота:

- крупные (более 70 т) – Макмал, Куру-Тегерек, Чалкуйрюк-Анджилга;
- средние (10–70 т) – Алтын-Джилга, Бозымчак, Кичи-Сандык, Насоновское, Акташ, Караказыкская группа и др.;
- мелкие (1–10 т): Турпактушты, Чанач, Каратюбе, Кумбель, Тохтонысай, Каратор и др.

В целом все скарновые месторождения золота по своему строению схожи друг с другом. Они формируются на контакте интрузивных и карбонатных пород. Основные минералы скарнов – гранат, пироксен, волластонит, однако некоторые месторождения имеют свои особенности. Ниже даётся описание отдельных скарновых месторождений по каждой группе, исходя из вышеприведённой типизации (см. таблицу).

Месторождение Акташ находится в северо-западной части Северного Тянь-Шаня на южных склонах Киргизского хребта. Оно сложено в основном ордовикскими известняками и мраморами, которые прорываются среднеордовикскими интрузиями порфировидных гранитов и гранодиоритов. Вдоль контакта с интрузией в карбонатных породах сформированы скарны с золото-медным оруденением, реже образуются скарны трещинного типа и эндоскарны. Мощность скарнов составляет от 1 до 70 м. Скарновые тела, сформированные в экзоконтакте, имеют падение под интрузию (рис. 2). Состав скарнов гранатовый и гранат-пироксеновый; гранат представлен мелкозернистым гроссуляром и андрадитом с преобладанием последнего, а пироксен представлен шестоватыми (3 мм и более) сноповидными тёмно-зелёными кристаллами геденбергита. Среди скарнов залегают линзообразные и гнездовые магнетитовые тела



1 – Северный Тянь-Шань; 2 – Срединный Тянь-Шань; 3 – Южный Тянь-Шань; 4 – государственные границы; 5 – региональные разломы; 6 – запасы и прогнозные ресурсы золота (в т): $a - > 100$, $b - 30-100$, $c - 10-30$, $d - 1-10$, $e - < 1$; 7 – скарновые месторождения золота

1 – Northern Tien Shan; 2 – Middle Tien Shan; 3 – Southern Tien Shan; 4 – state borders; 5 – regional faults; 6 – gold reserves and forecasted resources (in tons): *a* – > 100, *b* – 30–100, *c* – 10–30, *d* – 1–10, *e* – < 1; 7 – skarn-related gold deposits

Таблица. Типизация скарновых месторождений золота Кыргызстана по геодинамической обстановке

Table. Classification of skarn-related gold deposits of Kyrgyzstan according to the geodynamic setting

Геодинамические обстановки, возраст	Северный Тянь-Шань	Срединный Тянь-Шань	Южный Тянь-Шань
Островодужные обстановки раннего палеозоя	Акташ, Тохтонысай, Насоновское		
Активные континентальные окраины и переходные к коллизии обстановки каменноугольного возраста		Бозымчак, Куру-Тегерек, Каратюбе, Чанач	
Внутриплитная тектоно-магматическая активизация пермская		Макмал, Кумбель, Кичи-Сандык	Алтын-Джилга, Гавиан, Чалкуйрюк-Анджилга, Караказыкская группа, Каратор

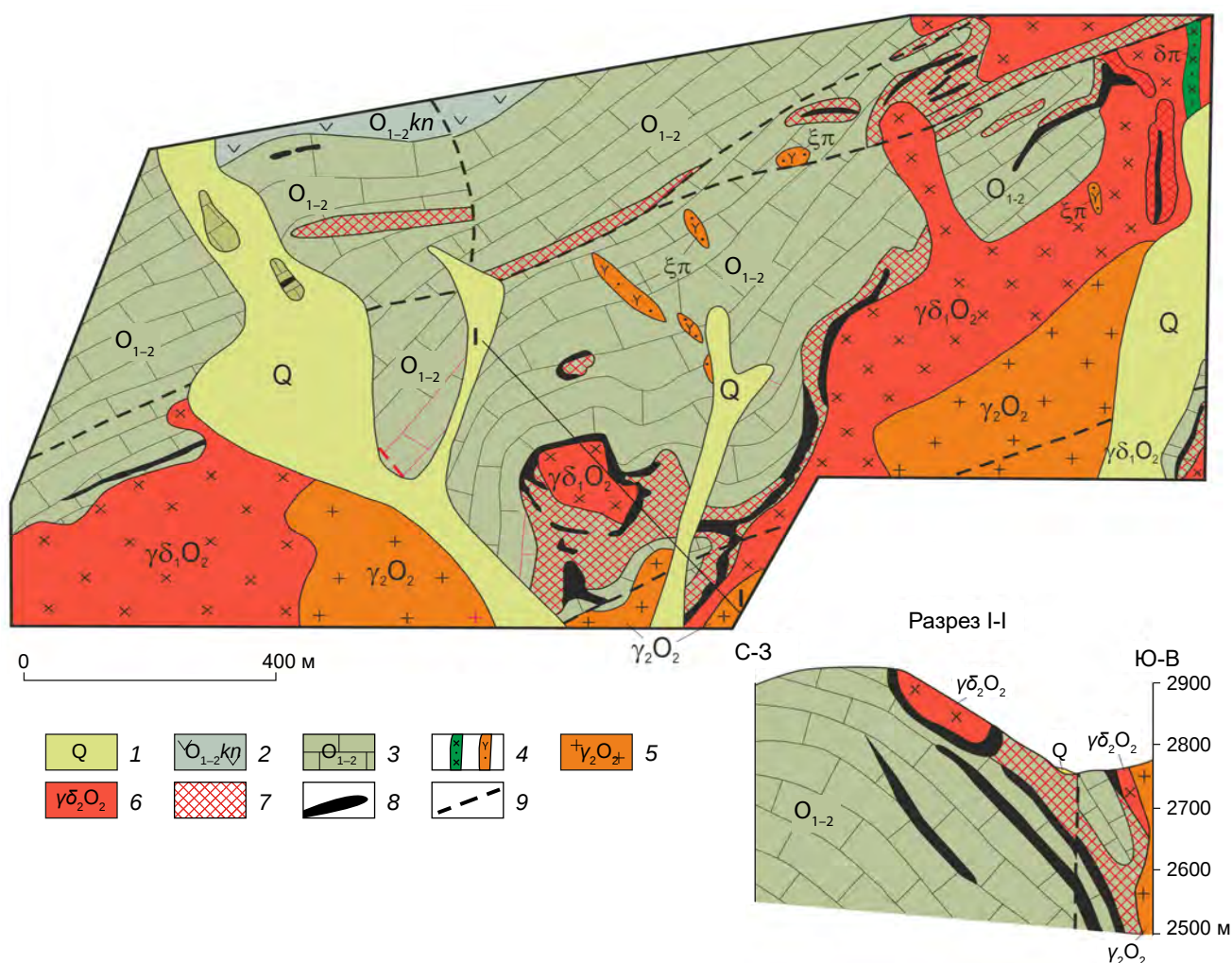


Рис. 2. Схематическая геологическая карта месторождения Акташ [9]:

1 – четвертичные отложения; 2 – кенташская свита, базальты, андезиты; 3 – мраморы, известняки; 4 – диоритовые порфириты (δπ), сиенит-порфиры (ξπ); 5 – граниты порфировидные; 6 – гранодиориты; 7 – скарны; 8 – рудные тела; 9 – разрывные нарушения

Fig. 2. Schematic geological map of the Aktash deposit [9]:

1 – Quaternary deposits; 2 – Kentash Formation: basalts, andesites; 3 – marbles, limestones; 4 – diorite porphyrites (δπ), syenite porphyry (ξπ); 5 – porphyritic granites; 6 – granodiorites; 7 – skarns; 8 – ore bodies; 9 – faults

мощностью от 0,2–2 до 12–16 м, протяжённостью до десятков метров. Магнетит мелкозернистый развивается по гранату (андрадиту) по трещинам, корродирует его и находится в прямой зависимости от количества андрадита.

Скарны подвергаются метасоматическому и прожилковому замещению. По скарнам развивается кварц-кальцит-эпидотовый метасоматит. В дальнейшем наблюдается замещение

эпидота и граната кварцем и кальцитом. Окварцевание скарнов часто наблюдается и под микроскопом. В скарнах также наблюдается хлоритизация, актинолитизация и др.

В скарновых образованиях выявлено 12 рудных тел длиной от 70 до 260 м, мощностью от 4 до 50 м, и множество более мелких тел. Содержание золота колеблется от следов до 10 г/т, среднее содержание золота составляет

от 2 до 3,1 г/т. Запасы золота составляют 10 т. Золото концентрируется чаще всего в андрадитовых иgrossуляр-андрадитовых скарнах, а также среди магнетитовых тел. Среди магнетита отмечены наиболее высокие содержания золота – от 4 до 70 г/т.

По размерам выделений различается золото видимое и тонкодисперсное. Самородное золото в виде примазок и дендритов приурочено к микротрещинам в гранате и магнетите и имеет размеры от сотых долей до 1,5 мм. Мелкие выделения золота имеют форму вытянутых, изометричных пластинок. Золото в халькопирите располагается по трещинам, в заливах.

Самородное золото отлагалось после формирования скарнов, т. е. оно оказалось наложенным как на скарны, так и на гранитоиды. При этом оруденение сопровождалось формированием кварцевых жил, прожилков и гнезд. Среди пироксеновых скарнов сопряжена с золотым оруденением оказалась актинолитизация. Встречены многочисленные золотинки, вкрапленные среди актинолита и синформные их радиальным, сноповидным агрегатам.

Скарны и магнетиты минерализованы халькопиритом, вторичными минералами меди. Нередко медная минерализация фиксируется в эндоконтакте гранитоидов. Халькопирит-борнитовая минерализация со свинцом, висмутом и серебром, приуроченная к скарновой зоне, относится к сульфидному типу оруденения в скарнах.

Полевые исследования последних лет показали наличие золотого оруденения не только среди скарновых тел, но и в кварцевых жилах и прожилках, секущих как гранитоиды, так и сами скарны. При этом гранитоиды березитизируются, но зоны березитизации имеют очень небольшие мощности. Кварцевые жилы имеют более высокие содержания золота (до 4,3 г/т) в приальбандовой и в выклинивающейся части жилы.

Месторождение Акташ имеет перспективы для прироста запасов за счёт обнаружения слепых рудных тел. Необходимо провести более тщательные, нежели до сих пор, поисково-оценочные работы.

Месторождение Бозымчак находится в западном (Чаткальском) секторе Срединного Тянь-Шаня на сочленении Чаткальской и Кураминской структурно-формационных зон, которые являются восточной ветвью позднепалеозойского Бельтау-Кураминского вулканоплутонического пояса. Месторождение комплексное, разрабатывается компанией «KAZ Minerals Bozymbchak». Изначально запасы месторождения по категории C_2 по золоту составляли 35 т при среднем содержании почти 2 г/т, по меди – 243 тыс. т при среднем содержании 1,1 %, по серебру – 255 т при среднем содержании 12 г/т [9].

На месторождении осадочные толщи представлены преимущественно карбонатными породами – известняками, доломитами, доломитистыми известняками девон-каменноугольного возраста. Реже встречаются терригенные и кремнистые породы в виде отдельных пачек или прослоев. Породы прорваны интрузией гранодиоритов сандалаш-чаткальского комплекса (C_{2-3}), возраст которых по циркону составляет $303,8 \pm 1,5$ и $304,8 \pm 1,6$ млн лет. Модельный возраст оруденения на месторождении Бозымчак по молибдениту составил $305,4 \pm 2,7$ млн лет [13]. При внедрении гранодиоритов в контактовой зоне в магматический этап сформировались магнезиальные скарны по доломитам и доломитистым известнякам, в постмагматический этап в раннюю щелочную стадию образовались апомагнезиальные известковые и собственно известковые скарны. Последние развились по известнякам и мраморам и представлены гранатовыми, пироксеновыми и волластонитовыми скарнами в разных количественных соотношениях. Скарновые тела образуют дугообразную залежь согласно контакту с интрузивными породами и имеют протяжённость около 2 км, мощность 7–85 м, прослежены на глубину до 400 м. Залегание скарнов крутое, часто имеет падение под гранодиориты.

Месторождение состоит из четырёх основных сближенных участков: Юго-Западный, Центральный, Восточный и Даван (рис. 3). Золото-медное оруденение наложено преимущественно на гранат-волластонитовые (рис. 4, а)



Рис. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Бозымчак:

1 – четвертичные отложения; 2 – минбулакская свита, андезиты, дациты и их туфы; 3 – доломиты, известняки; 4 – песчаники, известняки, доломиты; 5 – гранодиориты; 6 – граниты; 7 – дайки порфиритов; 8 – скарны рудоносные (a), эндоскарны (b)

Fig. 3. Schematic geological map of the Bozymchak deposit:

1 – Quaternary deposits; 2 – Minbulak Formation: andesites, dacites and their tuffs; 3 – dolomites, limestones; 4 – sandstones, limestones, dolomites; 5 – granodiorites; 6 – granites; 7 – porphyrite dikes; 8 – ore-bearing skarns (a), endoskarns (b)

и гранат-пироксеновые скарны, серпентинизированные метасоматиты (см. рис. 4, b), апомагнезиальные скарны. Основными рудными минералами являются халькопирит, борнит, пирит, пирротин, золото (см. рис. 4, d). Реже встречаются халькозин, ковеллин, молибденит, магнетит, галенит, сфалерит, теннантит и др.

Формирование месторождения Бозымчак происходило в позднекарбонное время и связывается нами с переходным режимом от субдукционной обстановки к коллизии и с началом коллизии [8]. Стадия кислотного выщелачивания характеризует послескарные изменения. Проявления метасоматических процессов на месторождении связаны с образованием серпентина, хлорита, флогопита, тремолита, актинолита, эпидота, кварца, позднего кальцита и др.

Наиболее широко и ярко на месторождении Бозымчак проявлены процессы серпентинизации с образованием серпентинитов. Они развиваются по доломитам и по магнезиальным и преобразованным скарнам. Внешне это тёмно-зелёные, почти чёрные породы (см. рис. 4, b), сложенные серпентином, включающие местами скопления реликтов пироксена, форстерита и шпинели, иногда с примесью карбонатов и талька. Порода обычно имеет петельчатую структуру, местами в ячейках находится магнетит.

Золото-медное оруденение располагается в пределах развития скарнов и серпентинитов. Оруденение наложено на гранат-волластонитовые и гранат-пироксеновые скарны, апомагнезиальные скарны с серпентинитами. Кроме основных компонентов – золота, меди и серебра, также руды месторождения содержат молибден, теллур, селен, индий, рений, бор [1, 2].

Отложение рудных минералов происходило в стадию кислотного выщелачивания и сопровождалось метасоматическим замещением.

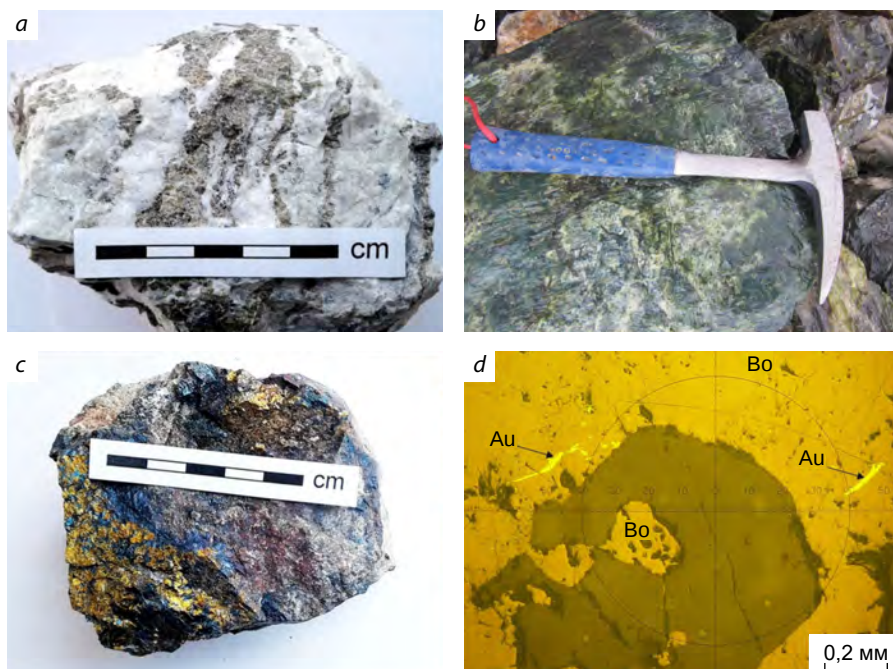


Рис. 4. Фотографии образцов месторождения Бозымчак:

a – гранат-волластонитовый скарн; *b* – серпентинит; *c* – массивная борнит-халькопиритовая руда с содержанием золота 77 г/т; *d* – золото самородное (Au) в борните (Bo) (аншлиф)

Fig. 4. Photographs of samples from the Bozymchak deposit:

a – garnet-wollastonite skarn; *b* – serpentinite; *c* – massive bornite-chalcopyrite ore with a gold grade of 77 g/t; *d* – native gold (Au) in bornite (Bo), polished section

ем пород: серпентинизацией, окварцеванием, карбонатизацией, серицитизацией и т. п. Часто наблюдается отложение сульфидов по трещинам в минералах скарнов, в интерстициях зёрен и в плоскостях отслоения по спайности. Среднее количество сульфидов составляет 5–8 %. Они образуют как рассеянную вкрапленность, так и крупные сульфидные гнёзда (см. рис. 4, с). Основными рудными минералами являются халькопирит, борнит, пирит, пирротин, золото, магнетит. Реже встречаются арсенопирит, кобальтин, молибденит, галенит, сфалерит, теннантит и др.

Видимое под микроскопом самородное золото чаще всего встречается внутри борнита (см. рис. 4, *d*) или в его краевых частях, в халькопирите или в непосредственной близости от борнита в нерудных минералах. Очень редко включения золота наблюдались в арсенопирите, пирите и др. Размеры наблюдаемых под микроскопом золотинок колеблются от 1 мкм

до 0,3 мм. Формы золотинок комковидные, пластинчатые и ветвистые. Вероятно, что золото также находится в сульфидах в тонкодисперсном виде размером менее 1 мкм [1].

Таким образом, наряду со скарновым типом золотомедных руд на месторождении Бозымчак имеется нетрадиционный серпентинитовый промышленный тип руд, который перерабатывается на фабрике.

Месторождение Каратюбе Северное (рис. 5) приурочено к северо-восточному экзоконтакту гранодиоритового Андагульского массива (С₂₋₃). Вмещающие породы представлены известняками, мергелями и сланцами живетского яруса, подвергшимися в зоне контакта ороговикованию, скарнированию и метасоматически-гидротермальному изменению. Контакт Андагульской интрузии со вмещающими породами осложнён серией разломов, которые являются контролирующими и рудо-локализирующими структурами для наложен-

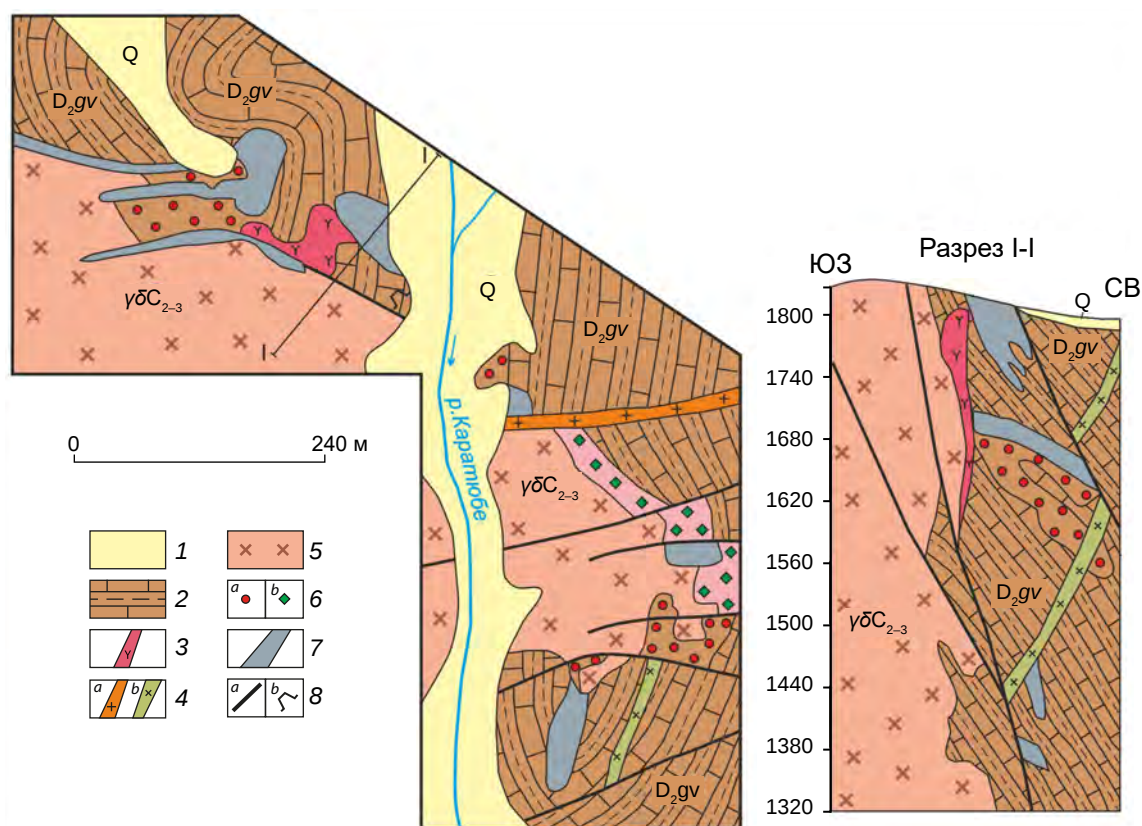


Рис. 5. Схематическая геологическая карта месторождения Каратюбе Северное [9]:

1 – четвертичные отложения (Q); 2 – известняки, сланцы, алевролиты, мергели (D_2gv); 3 – дайки гранит-порфиров; 4 – дайки граносиенит-порфиров (a), лампрофиров (b); 5 – гранодиориты, кварцевые диориты ($\gamma\delta C_{2-3}$); 6 – скарны (a), березиты (b); 7 – рудные тела; 8 – разломы (a), штольня (b)

Fig. 5. Schematic geological map and cross-section of the Karatyube Severnoe deposit [9]:

1 – Quaternary deposits (Q); 2 – limestones, shales, siltstones, marls (D_2gv); 3 – granite porphyry dikes; 4 – granosyenite porphyry dikes (a), lamprophyres (b); 5 – granodiorites, quartz diorites ($\gamma\delta C_{2-3}$); 6 – skarns (a), beresites (b); 7 – ore bodies; 8 – faults (a), adit (b)

ных метасоматических изменений и гидротермального оруденения.

Мощность скарнов и скарнированных пород достигает 40 м. Скарны имеют гранатовый, пироксеновый, гранат-пироксеновый и амфиболовый состав. В скарнах встречается магнетит, наложенный эпидот и хлорит. Гидротермальные изменения наложены на скарны и выражены окварцеванием, анкеритизацией, сульфидизацией. Рудная минерализация относится к золото-сульфидно-кварцевой формации. Золотое оруденение приурочено почти ко всем гидротермально-изменённым породам, содержащим сульфидную минера-

лизацию вблизи тектонических нарушений. Руда вкрапленная, реже полосчатая, массивная, прожилковая, гнездовая, брекчиевая.

Рудные тела представляют собой небольшие по размерам (от $0,5 \times 2,0$ до $20 \times (40-50)$ м) линзы и тела неправильной формы. Длина рудных тел по падению 20–75 м. Рудные тела на глубине часто расщепляются на мелкие линзы, при этом содержание золота уменьшается. Средние содержания золота в рудных телах колеблются от 1,5–2 до 8–9 г/т, максимальное отмеченное содержание золота – 167 г/т. Содержание серебра – доли и единицы г/т, редко первый десяток, максимум

51 г/т. Из прочих металлов отмечаются медь – 0,68 %, свинец – 0,25 %, сурьма – 0,17 %, мышьяк – 0,05 % (указаны средние содержания). Распределение рудной минерализации крайне неравномерное.

Среди главных рудных минералов преобладает пирит, реже встречаются арсенопирит, халькопирит, пирротин, магнетит, гематит, ещё реже галенит, сфалерит, борнит, халькозин, ковеллин, молибденит. Золото самородное, ассоциирует с кварцем и сульфидами, преимущественно с пиритом (среднее содержание золота в пирите 26 г/т). Размер золотин редко достигает более 0,1 мм.

Утверждённые запасы золота по месторождению 5 т при среднем содержании 5,34 г/т [9]. В целом месторождение может представлять интерес как небольшой объект после организации золотодобычи в районе.

Месторождение Макмал находится в западной части Нарынской складчатой зоны Срединного Тянь-Шаня и приурочено к юго-западному окончанию Чаарташского гранитного массива (P_1). Оно является одним из крупнейших в мире месторождений золота в скарнах. Запасы золота изначально составляли около 80 т при среднем содержании 7 г/т. За время работы комбината по 2016 г. карьерным способом добыто около 37 т золота. В настоящее время идёт подготовка к подземной добыче и разведка на флангах (уч. Диоритовый и Восточный).

Вмещающие толщи сложены турнейскими и визейскими кремнисто-карбонатными породами, имеющими субширотное моноклинальное залегание с падением пластов на юг под углом 65–80° (рис. 6). Карбонатные породы представлены известняками, реже доломитами и доломитистыми известняками. Кремни в нижней части разреза залегают в виде желваков и мелких линз, а в верхней – в виде прослоев среди карбонатных пород. Количество кремней составляет 10–40 %. Незначительное развитие получили также углито-глинистые маломощные линзы и прослои. Общая мощность отложений составляет 1200–1500 м.

Интрузивные образования представлены двумя комплексами:

- среднекарбонный интрузивный комплекс состоит из диоритов, которые развиты на глубоких горизонтах месторождения Макмал и выходят на поверхность к западу от него, а также даек и дайкообразных тел лампрофиров и плагиопорфиров;

- раннепермский интрузивный комплекс представлен порфировидными гранитами и гранит-порфирами Чаарташского массива и его дайкообразной апофизой, возраст гранитов 286 ± 5 млн лет [14].

При внедрении Чаарташского массива карбонатные породы были мраморизованы, а вдоль контакта образовались магнезиальные и известковые скарны. Магнезиальные скарны остались в виде реликтов форстеритового или шпинель-форстеритового состава среди преобразованных магнезиальных и апомагнезиальных известковых скарнов. Последние характеризуются развитием пироксен-флогопитовых, везувиан-гранатовых, гранатовых, флогопит-магнетитовых и магнетитовых ассоциаций с серпентином [4, 12]. Известковые скарны широко развиты в южном экзоконтакте апофизы гранитов, они слагают субширотную зону мощностью от 30 до 100 м и протяжённостью до 2 км. Представлены они преимущественно почти мономинеральными волластонитовыми, в меньшей мере – волластонит-гранат-пироксеновыми скарнами с различными количественными соотношениями. Наличие большого количества волластонита объясняется присутствием кремней до 40 % среди карбонатной породы.

На более поздних постмагматических стадиях как скарны, так и интрузивные и карбонатные породы подверглись метасоматическому изменению.

Кварц-полевошпатовые метасоматиты (КПМ) развиваются по плагиопорфирам, гранитам и скарнам. Граниты и плагиопорфиры начинают замещаться кварцем и плагиоклазом с основной массы и по периферии порфировых выделений полевых шпатов; постепенно порфировые выделения полностью

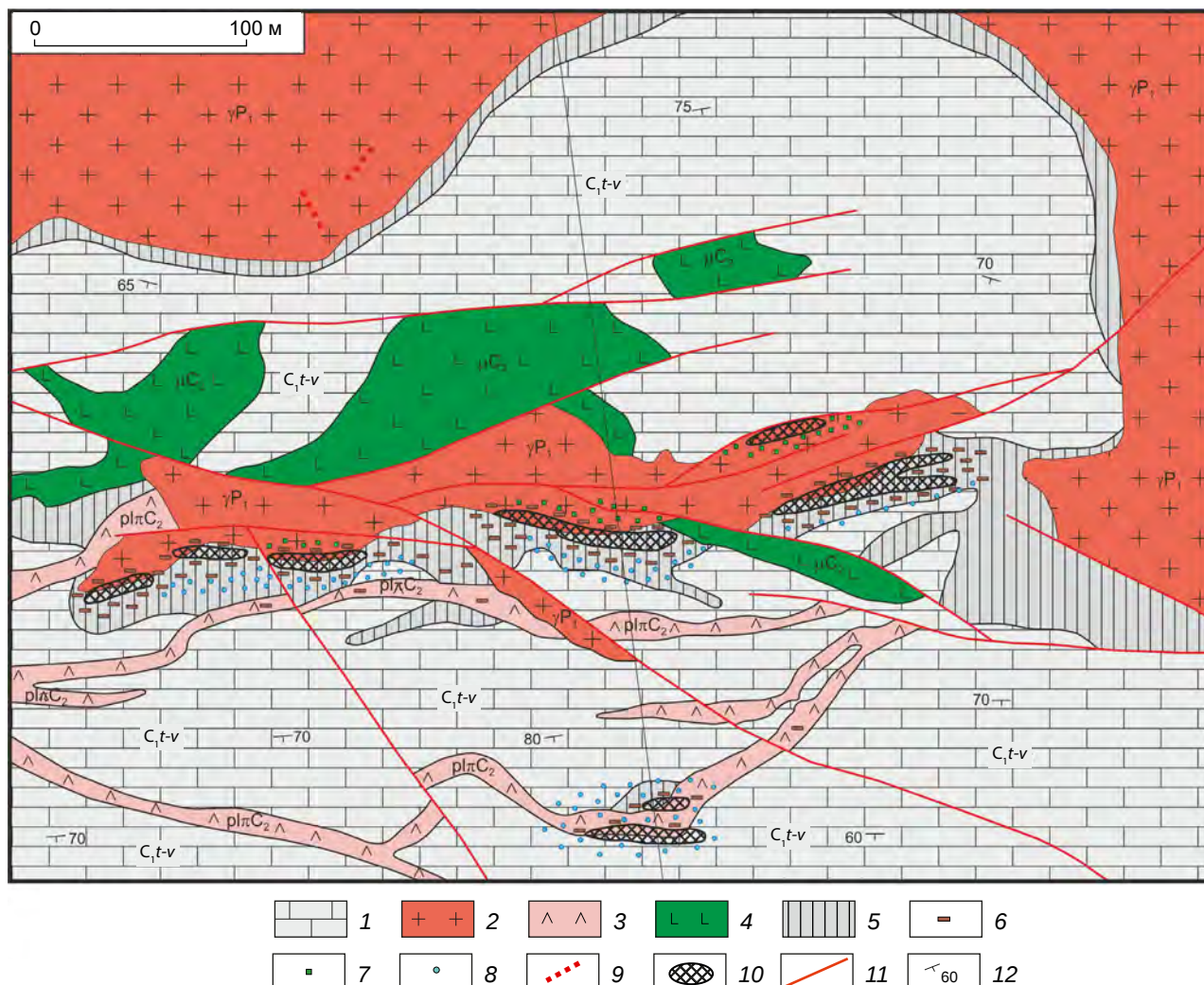


Рис. 6. Схематическая геологическая карта месторождения Макмал:

1 – известняки, доломиты с прослоями и линзами кремней (C_1t-v); 2 – граниты (γP_1); 3 – плагиопорфиры ($pl\pi C_2$); 4 – лампрофиры (μC_2); 5 – скарны; 6 – кварц-полевошпатовые метасоматиты; 7 – березиты; 8 – окварцованные породы; 9 – грейзены; 10 – золоторудные тела; 11 – разломы; 12 – элементы залегания пород

Fig. 6. Schematic geological map of the Makmal deposit:

1 – limestones and dolomites with interlayers and lenses of chert (C_1t-v); 2 – granites (γP_1); 3 – plagioporphyrates ($pl\pi C_2$); 4 – lamprophyres (μC_2); 5 – skarns; 6 – quartz-feldspar metasomatites; 7 – beresites; 8 – silicified rocks; 9 – greisens; 10 – gold ore bodies; 11 – faults; 12 – rock bedding attitudes

замещаются, порода приобретает массивное, плотное, тонкозернистое строение и состоит из примерно равного количества кварца и альбита. Ядерные части метасоматической колонки представлены кварцем. КПП по скарнам (в основном, волластонитовым) развиваются в зонах трещиноватости. Развитие новообразованного кварца и плагиоклаза начинается

по трещинам и постепенно расширяется в стороны, при этом образуются метасоматические брекчии, где КПП выполняет роль цемента, а обломки – это реликты скарнов. В конце концов КПП могут полностью заместить скарны [5, 10].

Березиты формируются по гранитам и пространственно примыкают к КПП. Они сла-

гают линейные, линзовидные субширотные тела мощностью 15–20 м и длиной до сотен метров. Замещение гранитов начинается с развития мелкозернистого кварца, серицита, карбоната, хлорита и пирита. При дальнейшей березитизации постепенно исчезает сначала карбонат, затем хлорит, остаются собственно березиты, состоящие из кварца, серицита и пирита.

В распределении метасоматических формаций наблюдается зональность (см. рис. 5). Максимальная метасоматическая проработка приурочена к субширотной зоне тектонических нарушений в южном экзоконтакте апофизы гранитов. Здесь метасоматоз проявился в образовании скарнов, а затем КПМ. К северу от этой зоны кварц-полевошпатовый метасоматоз сменяется процессом березитизации в гранитах, а к югу – окварцеванием в карбонатных породах, дайках и скарнах. Завершается гидротермальный процесс образованием сначала золотоносных кварцевых жил, а затем более поздних безрудных секущих кварцевых и карбонатных жил.

Золотое оруденение связано с послескарновыми метасоматитами. В КПМ содержится максимальное количество золота – до сотен г/т. Содержание золота закономерно повышается от слабоизменённых (внешних) зон к сильноизменённым (внутренним) зонам. КПМ являются околорудными и составляют основную массу промышленных руд месторождения. Березиты также содержат промышленное количество золота, вплоть до десятков г/т. Золотая минерализация также развита в зонах окварцевания скарнов, мраморов и даек. Часть золота находится в поздних кварцевых жилах. Оруденение на месторождении представлено самородным золотом. Выделены две генерации золота: 1-я генерация, основная, связана с околорудными метасоматитами, 2-я генерация – с поздними кварцевыми жилами. Размеры золотинок колеблются от 0,001 до 1–2 мм, пробыность золота изменяется от 904 до 997 ‰. Золото является единственным полезным компонентом месторождения [12]. Среднее содержание сульфидов составляет 2–4 %, большинство представлены пиритом, реже пирротин и др.

По температуре образования наиболее высокотемпературными на месторождении являются скарны, которые относятся к пироксен-гранат-волластонитовой и пироксен-гранатовой фациям, характеризующимся температурами образования 750–450 °С [7]. По данным гомогенизации и декрипитации газовой-жидких включений в кварце из различных метасоматитов интервалы температур образования КПМ составляют 440–300, грейзенов – 400–230, березитов – 350–230, кварцевых жил – 250–200 °С [12]. Температуры формирования метасоматитов снижаются от ранних стадий к более поздним.

Таким образом, золотое оруденение связано с метасоматитами, сформированными уже после образования скарнов и наложенными как на скарны, так и на граниты, карбонатные породы и дайки.

Месторождение Алтын-Джилга находится в западной части Южного Тянь-Шаня на западном окончании Алайского хребта в верховьях бассейна реки Сох. Район месторождения имеет покровно-складчатое строение, площадь месторождения сложена девон-каменноугольными терригенно-карбонатными отложениями, сформированными в условиях пассивной континентальной окраины. Мощности отдельных свит в районе месторождения составляют 100–300 м. В регионе развиты многочисленные интрузии караказского комплекса раннепермского возраста, что было обусловлено режимом внутриплитной активизации. К этому комплексу относится Алтын-Джилгинский массив монцодиоритов ($\mu\delta_2P_1$), к которому приурочено месторождение Алтын-Джилга (рис. 7). Массив представляет собой вытянутое в северо-восточном направлении тело площадью около 2 км².

В эндоконтактной части интрузии развиты пироксен-плаггиоклазовые околоскарновые породы мощностью 1–3 м. В экзоконтактной части сформировались известковые скарны пироксенового, гранатового и смешанного составов. Гранатовый скарн состоит на 60–90 % из граната андрадит-гроссулярового ряда. Зёрна граната имеют буроватый цвет, иногда с зеленоватым оттенком. Гранаты образуют скопления из мелких неправильных зёрен и бо-

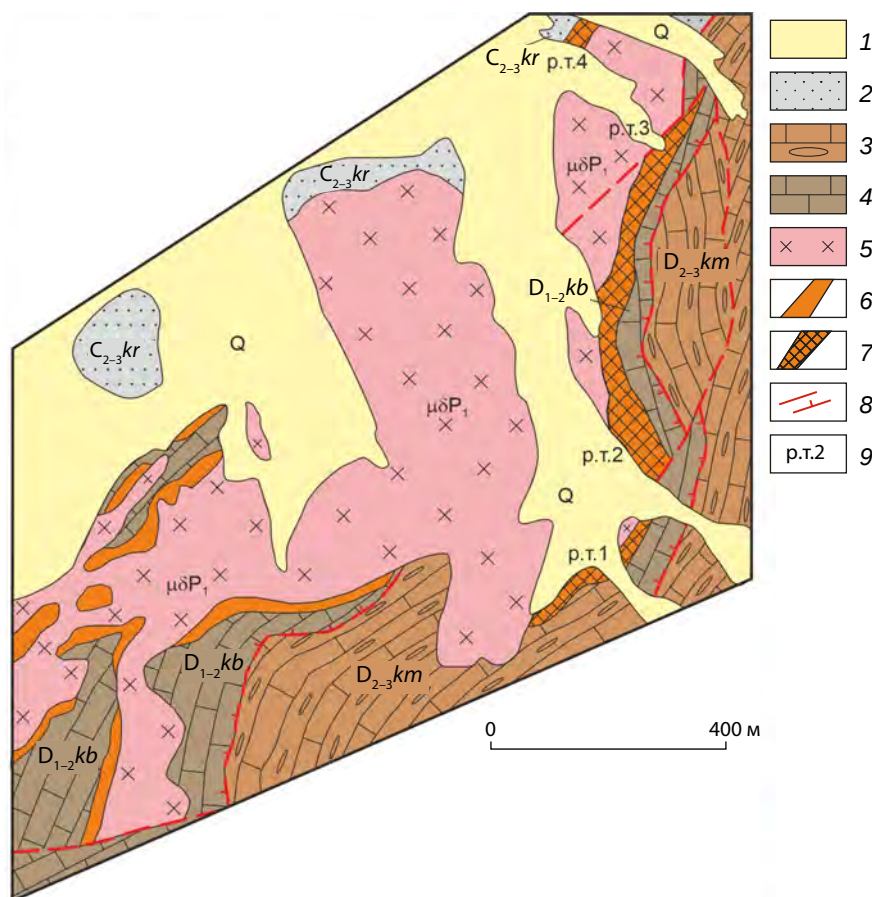


Рис. 7. Схематическая геологическая карта месторождения Алтын-Джилга [11]:

1 – четвертичные отложения; 2 – алевролиты, песчаники куруксайской свиты; 3 – известняки, кремни, алевролиты калаймахмудской свиты; 4 – известняки, доломиты кумбельской свиты; 5 – монцодиориты Алтын-Джилгинского массива; 6 – безрудные скарны; 7 – рудные тела в скарнах; 8 – тектонические нарушения; 9 – номера рудных тел

Fig. 7. Schematic geological map of the Altyn-Dzhilga deposit [11]:

1 – Quaternary deposits; 2 – siltstones, sandstones of the Kuruksay Formation; 3 – limestones, cherts, siltstones of the Kalaymakmud Formation; 4 – limestones, dolomites of the Kumbel Formation; 5 – monzodiorites of the Altyn-Dzhilga massif; 6 – barren skarns; 7 – ore bodies in skarns; 8 – tectonic faults; 9 – ore body numbers

лее крупных изометричных кристаллов размером 1–5 мм, иногда 10–15 мм. Кроме граната присутствуют карбонат, амфибол, биотит, рудные минералы. Пироксеновый скарн почти полностью состоит из крупных идиоморфных удлиненно-призматических кристаллов и мелких ксеноморфных зёрен диопсида-геденбергита. Пироксены замещаются карбонатом, амфиболом, хлоритом, биотитом. Пироксен-гранатовый скарн состоит примерно из равного или переменного количества пироксена и гра-

ната. Встречаются линзовидные волластонитовые скарны. Мощность скарнов колеблется от 10 до 70 м. Магнезиальные скарны получили ограниченное распространение.

Нашими исследованиями в пределах рудных зон выявлены кварц-полевошпатовые метасоматиты, кварц-карбонатные метасоматиты и березиты [11]. В КПМ полевой шпат представлен плагиоклазом кислого-среднего состава, они развиваются в основном по скаернам, реже по пироксен-плагиоклазовой околоскар-

новой породе. При кварц-полевошпатовом метасоматозе происходит замещение крупнозернистой структуры исходных пород на более мелкозернистую структуру, порода начинает осветляться сначала мелкими пятнами, а затем более крупными участками. Состав пород становится существенно кварц-плагиоклазовым с реликтами исходных минералов. При более интенсивном метасоматозе формируются существенно кварцевые породы. КППМ на месторождении являются золотоносными, их состав и строение соответствуют КППМ месторождения Макмал, где они были впервые описаны нами [5, 12].

В скарнах также развиваются кварц-карбонатные и карбонат-кварцевые метасоматиты, содержащие реликты скарновых минералов. Данные метасоматиты, вероятно, относятся к так называемым серым (без фуксита) листовенитам. Березиты выявлены на некотором удалении от интрузии, где они развиваются по дайкам диоритовых порфириров, иногда по роговикам, и состоят из кварца, серицита, анкерита и пирита.

На месторождении выделяются несколько рудных тел протяжённостью до сотен метров и мощностью до первых десятков метров со средними содержаниями 6,5–7,5 г/т и запасами до 40 т золота. В основном они расположены в пределах скарнов и приурочены к местам их метасоматического преобразования.

Основное золотое оруденение тяготеет к зонам кварц-карбонатного замещения скарнов. Гранат замещается кальцитом, кварцем, хлоритом с сохранением отдельных участков, зон, а пироксены часто замещаются кальцитом с образованием полных псевдоморфоз. При этом скарны значительно обогащаются рудными минералами: пиритом, арсенопиритом, медными и другими минералами, тяготеющими в большей степени к кальциту. Меньшая часть золотой минерализации сформировалась при апоскарновом кварц-полевошпатовом метасоматозе и березитизации диоритовых порфириров. Отмечается отсутствие золотого оруденения в чистых, неизменённых скарнах.

Рудная минерализация состоит из небольшого набора: пирит, арсенопирит, пирротин, магнетит, халькопирит, халькозин, золото.

Другие рудные минералы присутствуют в единичных знаках. Общее количество рудных минералов составляет 3–5 %.

Золото встречено только в самородном виде. Оно относится к классу видимого (от 0,01 до 0,8 мм) и тонкодисперсного (менее 0,01 мм). Форма золотинок разнообразная: чешуйчатая, комковатая, пластинчатая, каплевидная, иногда идиоморфная кристаллическая. Цвет ярко-жёлтый, светло-жёлтый. Золото находится в виде включений в пирите, арсенопирите, халькозине, карбонате, кварце, а также на контакте зёрен. Границы срастания золота извилистые, неровные. По данным атомно-абсорбционного единичного анализа, пробность золота составляет 973 ‰.

Пирит является преобладающим рудным минералом в рудах. Он образует рассеянную вкрапленность в породе, реже прожилки и гнезда. Размеры зёрен пирита составляют от тысячных долей до 2–3 мм. Кристаллы представлены кубами и пентагондодекаэдрами и различными их комбинациями. Пирит содержит включения золота, нерудных минералов, зёрна часто катаклазированы, замещены по трещинам минералами группы лимонита. По данным спектрального анализа, в идиоморфных кристаллах выявлено содержание золота до 20 г/т.

Общая геологическая позиция месторождения Алтын-Джилга, набор метасоматических формаций, рудная минерализация позволяют сделать вывод, что данное месторождение очень похоже на крупное месторождение Макмал.

Заключение

В Тянь-Шане доля скарновых месторождений золота в целом выше, чем во многих регионах мира. По относительному количеству месторождений и запасам золота территория Тянь-Шаня (по крайней мере, в пределах Кыргызстана) может считаться золото-скарновой провинцией. Формирование золото-скарновых месторождений происходило в палеозое при различных геодинамических обстановках (см. таблицу).

На золото-скарновых месторождениях на начальных стадиях формируются магнезиальные и известковые скарны. В последующие



Рис. 8. Принципиальная схема формирования и корреляции крупных, средних и мелких скарновых месторождений золота

Fig. 8. Schematic diagram of the formation and correlation of large, medium, and small skarn-related gold deposits

стадии (кислотного выщелачивания) происходят различные метасоматические изменения, наложенные в основном на скарны и в меньшей мере на окружающие их породы – гранитоиды, терригенные и карбонатные породы и др. Механизм рудоотложения – это главным образом процесс метасоматического замещения скарнов или жильного выполнения в скарнах с отложением рудных минералов.

Первым разрабатываемым золоторудным объектом в Кыргызской Республике стало месторождение золота в скарнах Макмал. Это месторождение может оказаться крупнейшим в мире месторождением золота в скарнах (запасы 80 т). В связи с этим необходимо обратить внимание на недоразведанные месторождения подобного типа. В Киргизском хребте находится ряд объектов, имеющих перспективы для прироста запасов. Особенно перспективным является месторождение Насоновское, несколько менее перспективным – Акташ.

Впервые выявленные нами на месторождении Макмал золотоносные кварц-полевошпатовые метасоматиты были спрогнозированы

на других золоторудных месторождениях подобного типа и найдены на месторождении Алтын-Джилга. Таким образом, для ряда скарновых месторождений золота Тянь-Шаня кварц-полевошпатовые метасоматиты являются околорудными образованиями, на которые нужно обращать более пристальное внимание.

Нетрадиционным типом метасоматитов являются рудоносные серпентиниты, развивающиеся по магнезиальным и преобразованным скарнам. Данный тип имеется только на месторождении Бозымчак, где он наряду со скарновым типом перерабатывается на фабрике.

Почему в одних случаях образуются крупные месторождения, а в других нет? Одним из факторов являются степень и масштабы наложенной метасоматической проработки скарнов (рис. 8). Крупные месторождения характеризуются многостадийностью, большими полями развития скарнов и наложенных околорудных метасоматитов, полиформационностью метасоматитов, несколькими генерациями золота. На средних месторождениях отме-

чаются меньшие масштабы развития скарнов и, главное, меньшее развитие рудоносных метасоматитов. Мелкие месторождения имеют маломощные скарны, слабое проявление или

отсутствие метасоматических изменений, отложение золота происходит по трещинам в минералах скарнов или сопровождается микропрожилками кварца.

Список литературы

1. Альпиев М. Е., Пак Н. Т. Медная минерализация месторождения Бозымчак (Кыргызстан) // Геология и охрана недр. – 2022. – № 3 (14). – С. 30–38.
2. Альпиев Е. А., Альпиев М. Е. Новые данные по минералогическому составу серпентинитовых руд медно-скарнового месторождения Бозымчак // Горно-геологический журнал (Житикара). – 2015. – № 3–4 (43–44). – С. 5–17.
3. Дженчураева Р., Пак Н., Усманов И. Типы месторождений медно-золото-порфирового пояса Северного Тянь-Шаня / Проблемы рудообразования и поисковой геохимии. – М. : ИМГРЭ, 2013. – С. 76–84.
4. Дженчураева Р. Д. Скарны Срединного Тянь-Шаня. Закономерности размещения и рудоносность. – Фрунзе : Илим, 1983. – 308 с.
5. Дженчураева Р. Д., Пак Н. Т. Новый тип золотоносных метасоматитов // Доклады АН СССР. – 1990. – Т. 311, № 5. – С. 1208–1211.
6. Дженчураева Р. Д., Пак Н. Т., Никоноров В. В., Ивлева Е. А. Золоторудные месторождения Кыргызстана. – Бишкек, 2020. – 494 с.
7. Жариков В. А. Скарновые месторождения / Генезис эндогенных рудных месторождений. – М. : Наука, 1968. – С. 220–302.
8. Ивлева Е. А., Пак Н. Т., Альпиев Е. А. Региональные факторы размещения золото-медного оруднения в Гава-Сумсарском рудном районе // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2019. – № 3. – С. 113–120.
9. Никоноров В. В., Караев Ю. В., Борисов Ф. И., Тольский В. И., Замалетдинов Т. С., Ларина Т. В., Горбачева Т. В. Золото Кыргызстана. Кн. 2. – Бишкек, 2004. – 342 с.
10. Пак Н. Т. Золотоносные кварц-полевошпатовые метасоматиты // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологическая. – 2008. – № 5. – С. 21–26.
11. Пак Н. Т. Метасоматиты и оруденение месторождения золота в скарнах Алтын-Джилга (Кыргызстан) // Геология и охрана недр (Алматы). – 2010. – № 1 (34). – С. 42–50.
12. Пак Н. Т. Формации рудоносных метасоматитов Чаарташских гор. – Бишкек : Илим, 1992. – 124 с.
13. Zu Bo, Seltmann Reimar, Xue Chunji, Wang Tao, Dolgoplova Alla, Li Chao, Zhou Limin, Pak Nikolay, Ivleva Elena, Chai Mingchun, Zhao Xiaobo. Multiple episodes of Late Paleozoic Cu-Au mineralization in the Chatkal-Kurama terrane: New constraints from the Kuru-Tegerek and Bozymchak skarn deposits, Kyrgyzstan // Ore Geology Reviews. – 2019. – V. 113. – Article 103077.
14. Seltmann R., Konopelko D., Biske G., Divaev F., Sergeev S. A. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tien Shan orogenic belt // Journal of Asian Earth Sciences. – 2011. – No 42. – P. 821–838.

References

1. Al'piev M. E., Pak N. T. Mednaya mineralizatsiya mestorozhdeniya Bozymchak (Kyrgyzstan) [Copper mineralization of the Bozymchak deposit (Kyrgyzstan)], *Geologiya i okhrana nedr* [Geology and conservation of mineral resources], 2022, No 3 (14), pp. 30–38. (In Russ.)
2. Al'piev E. A., Al'piev M. E. Novye dannye po mineralogicheskomu sostavu serpentinitovykh rud medno-skarnovogo mestorozhdeniya Bozymchak [New data on the mineralogical composition of serpentine ores of the Bozymchak copper-skarn deposit], *Gorno-geologicheskii zhurnal (Zhitikara)* [Mining and geological journal (Zhitikara)], 2015, No 3–4 (43–44), pp. 5–17. (In Russ.)
3. Dzhenchuraeva R., Pak N., Usmanov I. Tipy mestorozhdenii medno-zoloto-porfirovogo poyasa Severnogo Tyan'-Shanya [Types of deposits of the copper-gold-porphyry belt of the Northern Tien Shan], *Problemy rudoobrazovaniya i poiskovoi geokhimii* [Problems of ore formation and prospecting geochemistry], Moscow, IMGRE Publ., 2013, pp. 76–84.



4. Dzhenchuraeva R. D. Skarny Sredinnogo Tyan'-Shanya. Zakonomernosti razmeshcheniya i rudonosnost' [Skarns of the Middle Tien Shan. Regularities of placement and ore potential], Frunze, Ilim Publ., 1983, 308 p.
5. Dzhenchuraeva R. D., Pak N. T. Novyi tip zolotonosnykh metasomatitov [New type of gold-bearing metasomatites], *Doklady AN SSSR [Reports of the USSR Academy of Sciences]*, 1990, V. 311, No 5, pp. 1208–1211. (In Russ.)
6. Dzhenchuraeva R. D., Pak N. T., Nikonorov V. V., Ivleva E. A. Zolotorudnye mestorozhdeniya Kyrgyzstana [Gold ore deposits of Kyrgyzstan], Bishkek, 2020, 494 p.
7. Zharikov V. A. Skarnovye mestorozhdeniya [Skarn deposits], *Genezis endogennykh rudnykh mestorozhdenii [Genesis of endogenous ore deposits]*, Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 220–302.
8. Ivleva E. A., Pak N. T., Al'piev E. A. Regional'nye faktory razmeshcheniya zoloto-mednogo orudneniya v Gava-Sumsarskom rudnom raione [Regional factors of gold-copper mineralization placement in the Gava-Sumsar ore region], *Izvestiya NAN KR [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic]*, 2019, No 3, pp. 113–120. (In Russ.)
9. Nikonorov V. V., Karaev Yu. V., Borisov F. I., Tol'skii V. I., Zamaletdinov T. S., Larina T. V., Gorbacheva T. V. Zoloto Kyrgyzstana. Kniga 2 [Gold of Kyrgyzstan. Book 2], Bishkek, 2004, 342 p.
10. Pak N. T. Zolotonosnye kvarts-polevoshpatovye metasomatity [Gold-bearing quartz-feldspar metasomatites], *Izvestiya Natsional'noi akademii nauk Respubliki Kazakhstan. Seriya geologicheskaya [Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Geological Series]*, 2008, No 5, pp. 21–26. (In Russ.)
11. Pak N. T. Metasomatity i orudnenie mestorozhdeniya zolota v skarnakh Altyn-Dzhilga (Kyrgyzstan) [Metasomatites and mineralization of the gold deposit Altyn-Djilga in skarns (Kyrgyzstan)], *Geologiya i okhrana nedr (Almaty) [Geology and conservation of mineral resources (Almaty)]*, 2010, No 1 (34), pp. 42–50. (In Russ.)
12. Pak N. T. Formatsii rudonosnykh metasomatitov Chaartashskikh gor [Formations of ore-bearing metasomatites of the Chaartash Mountains], Bishkek, Ilim Publ., 1992, 124 p.
13. Zu Bo, Seltmann Reimar, Xue Chunji, Wang Tao, Dolgoplova Alla, Li Chao, Zhou Limin, Pak Nikolay, Ivleva Elena, Chai Mingchun, Zhao Xiaobo. Multiple episodes of Late Paleozoic Cu-Au mineralization in the Chatkal-Kurama terrane: New constraints from the Kuru-Tegerek and Bozymchak skarn deposits, Kyrgyzstan, *Ore Geology Reviews*, 2019, V. 113, Article 103077. DOI: 10.1016/J.OREGEOREV.2019.103077.
14. Seltmann R., Konopelko D., Biske G., Divaev F., Sergeev S. A. Hercynian post-collisional magmatism in the context of Paleozoic magmatic evolution of the Tien Shan orogenic belt, *Journal of Asian Earth Sciences*, 2011, No 42, pp. 821–838. DOI: 10.1016/j.jseas.2010.08.016.

Пак Николай Тимофеевич (paknikolay50@mail.ru)

кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией

Ивлева Елена Александровна

старший научный сотрудник

Институт геологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,
г. Бишкек, Кыргызстан