

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 553.24:553.41 (575.2)

Кварц-турмалиновые метасоматиты на месторождениях золота в Актюз-Боординском рудном районе (Северный Тянь-Шань, Кыргызстан)

Пак Н. Т.¹, Ивлева Е. А.¹, Шатов В. В.², Шатова Н. В.², Гончаренко А. А.¹

¹ Институт геологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика; ² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, Россия

Аннотация. В Актюз-Боординском рудном районе в Северном Тянь-Шане развиты многочисленные месторождения и рудопроявления золота, редких и редкоземельных металлов и полиметаллов. Золоторудные месторождения характеризуются наличием ряда метасоматитов: березитов, листвени-тов, калишпатитов и др. Для многих из них характерны также кварц-турмалиновые золотоносные метасоматиты. Приводится минералого-петрографическое описание метасоматической зональности кварц-турмалиновых метасоматитов от слабо- до сильноизменённых зон. Кварц-турмалиновые метасоматиты образуют жилообразные тела и метасоматические брекчии, где они выполняют роль це-мента, а обломки могут состоять из интрузивной породы, березитов, калишпатитов, листвени-тов. Для Актюз-Боординского рудного района кварц-турмалиновые метасоматиты являются поисковым при-знаком на золото, а для других районов – поисковым критерием.

Ключевые слова: метасоматит, зональность, березит, листвени-т, золото, турмалин, возраст, мета-соматическая брекчия.

Для цитирования: Пак Н. Т., Ивлева Е. А., Шатов В. В., Шатова Н. В., Гончаренко А. А. Кварц-турмалиновые метасоматиты на месторождениях золота в Актюз-Боординском рудном районе (Северный Тянь-Шань, Кыргызстан). Руды и металлы. 2023. № 3. С. 106–120. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10015.

Quartz-tourmaline metasomatites in gold deposits in Aktyuz-Boordinsky ore district (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan)

Pak N. T.¹, Ivleva E. A.¹, Shatov V. V.², Shatova N. V.², Goncharenko A. A.¹

¹ Institute of Geology of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek, Kyrgyz Republic;

² All-Russian Scientific Research Geological Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia

Annotation. In the Aktyuz-Boordinsky ore district in the Northern Tien Shan, numerous deposits and ore occurrences of gold, rare and rare earth metals and base metals are discovered. Gold deposits are characterized by the presence of a number of metasomatites: beresites, listvenites, K-feldspatites, etc. Many of them are also characterized by quartz-tourmaline gold-bearing metasomatites. A mineralogical and petrographic description of the metasomatic zoning of quartz-tourmaline metasomatites from weakly to highly altered zones is given. Quartz-tourmaline metasomatites form vein-like bodies and metasomatic breccias, where they act as cement, and the fragments can consist of intrusive rock, beresites, K-feldspatites, and listvenites. For the Aktyuz-Boordinsky ore district, quartz-tourmaline metasomatites are a prospecting feature for gold, and for other areas they are a prospecting criterion.

Key words: metasomatite, zoning, beresite, listvenite, gold, tourmaline, age, metasomatic breccia.

For citation: Pak N. T., Ivleva E. A., Shatov V. V., Shatova N. V., Goncharenko A. A. Quartz-tourmaline metasomatites in gold deposits in Aktyuz-Boordinsky ore district (Northern Tien Shan, Kyrgyzstan). Ores and metals, 2023, № 3, pp. 106–120. DOI: 10.47765/0869-5997-2023-10015.



Кварц-турмалиновые метасоматиты (КТМ) являются индикаторами ряда золоторудных месторождений в России (Дарасун, Теремкинское, Ключевское), Казахстане (Васильковское, Уштаган, Шешенкара, Железная Горка и др.), Монголии (Хармагтай) и других странах [8]. Золотоносные КТМ периодически встречаются в разных районах Северного Тянь-Шаня на золото-медно-порфировых (Талды-Булак, Андаш, Узунбулак) и золоторудных месторождениях. Один из таких районов – Актюз-Боординский рудный, расположенный на севере Кыргызстана (рис. 1).

Рудный район находится на участке обширного Кыргызско-Казахского аллохтона, расчлененного на несколько этажей шарьяжных зон, которые обуславливают его покровно-чешуйчатое строение. Район имеет сложное мозаично-блоковое строение, где ведущая роль принадлежит крупным тектоническим блокам докембрийских метаморфических пород, прорванных разновозрастными многофазными магматическими образованиями [10]. Район характеризуется высокой степенью рудонасыщенности (см. рис. 1). В нём обнаружены месторождения золота, полиметаллов, редких

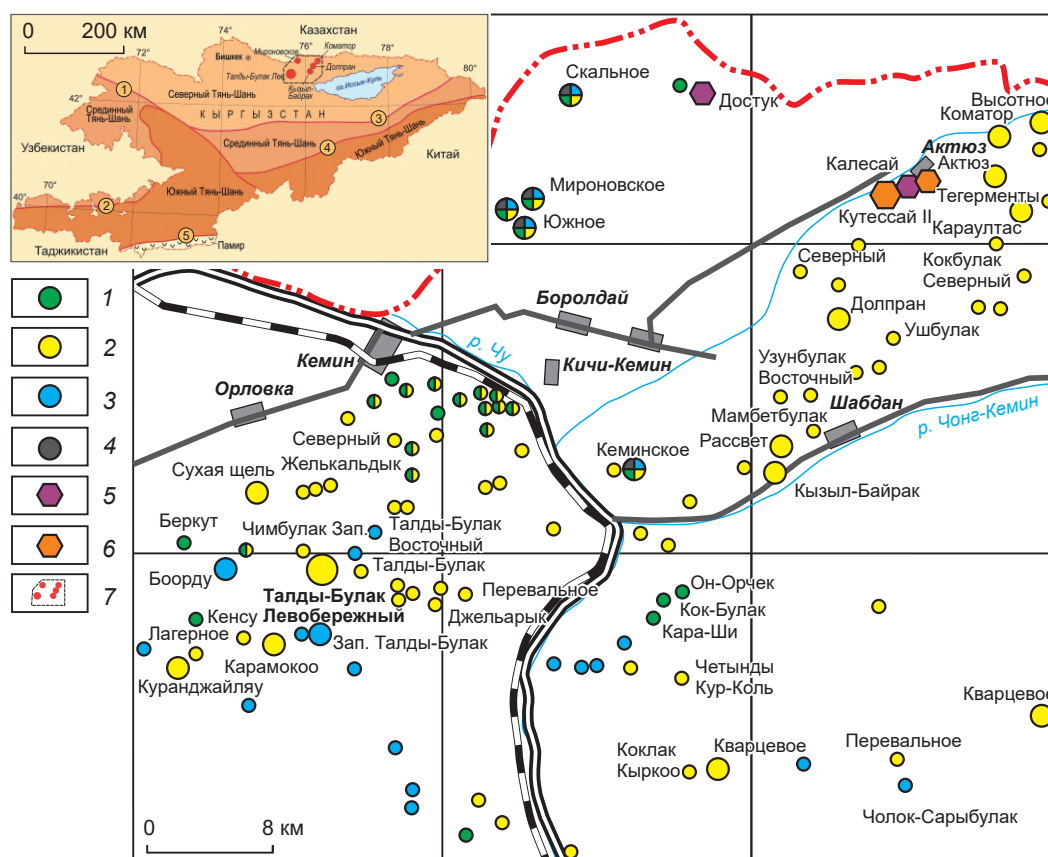


Рис. 1. Рудные месторождения Актюз-Боординского рудного района и схема его размещения:

1 – медь; 2 – золото; 3 – свинец-цинк; 4 – редкие металлы; 5 – бериллий; 6 – редкие земли; на схеме: 7 – Актюз-Боординский рудный район; цифры в кружках – основные разломы: 1 – Таласо-Ферганский, 2 – Южно-Ферганский, 3 – линия Николаева, 4 – Атбаш-Иныльчекский, 5 – Вахшский

Fig. 1. Ore deposits of the Aktuz-Boordinsky ore district and the layout of its location:

1 – copper; 2 – gold; 3 – lead-zinc; 4 – rare metals; 5 – beryllium; 6 – rare earths; on the diagram: 7 – Aktuz-Boordinsky ore district; numbers in circles are the main faults: 1 – Talas-Fergana, 2 – South Fergana, 3 – Nikolaev line, 4 – Atbashi-Inylchek, 5 – Vakhsh



металлов, редких земель и радиоактивных элементов как результат совмещения металлогенических структур (рудных поясов и зон) с различной рудной специализацией [3]. Среди них большой интерес представляют месторождения золота: крупное (Талды-Булак Левобережный) и ряд мелких и средних. На многих из них развиты КТМ, вмещающие золотое оруденение [6], в частности Талды-Булак Левобережный, Мироновское, Коматор, Долпран, Кызыл-Байрак и др. (см. рис. 1).

Вмещающие породы этих месторождений – докембрийские метаморфические комплексы, которые прорываются докембрийскими и палеозойскими интрузиями. В рудном районе выделяют два крупных докембрийских метаморфических комплекса: более древний – актюзский (PR₁) [2], затем следует кеминский [11], а на них с тектоническим несогласием залегают зеленосланцевые породы куперлисайской свиты. Золоторудные месторождения в основном приурочены к кеминскому комплексу (PR₂?) гнейсов, мигматитов, слюдистых и амфиболовых сланцев, мраморов с линзами и прослоями амфиболитов (месторождения Талды-Булак Левобережный, Долпран, Кызыл-Байрак) и куперлисайской свиты (R₂?) амфиболитов и актинолитовых сланцев с реликтами базальтов и диабазов (месторождения Талды-Булак Левобережный, Мироновское, Коматор).

Кеминский комплекс разными исследователями подразделяется на несколько отдельных метаморфических комплексов. Чаще всего в нём выделяют онарыкский и тегерментинский комплексы [2], но иногда применяют более дробное деление на онарыкский, джолбулакский, конджонский, тегерментинский комплексы (В. П. Морозов и др., 1993), что порой вызывает путаницу (в данной статье к докембрийским метаморфическим породам применены названия «комплекс» или «свита», имеющие равное значение). Так, породы кеминского комплекса, развитые в районе месторождения Талды-Булак Левобережный, на геологической карте Кыргызстана [1] обозначены как онарыкский комплекс, в съёмочном отчёте эти же породы обозначены как кон-

джонский комплекс (В. П. Морозов и др., 1993), а Б. А. Трифонов, который является одним из пионеров изучения месторождения Талды-Булак Левобережный, эти породы относит к тегерментинской свите [9]. Описывая геологию месторождений, авторы придерживаются названий метаморфических комплексов, принятых рудными геологами для каждого конкретного месторождения. Возрасты метаморфических пород приняты нами согласно работе [1], хотя на основании проведённого U-Pb (SHRIMP) датирования по цирконам А. Крёнер и его коллеги [11] относят эти породы к более молодым образованиям.

На золоторудных месторождениях в различных сочетаниях проявлены метасоматически изменённые породы: калишпатиты, березиты, листовениты, кварц-полевошпатовые метасоматиты, аргиллизиты и др. Общими для обсуждаемых в статье месторождений являются развитые на них золотоносные КТМ, которые могут формироваться по породам различного состава: амфиболитам, сланцам, песчаникам, интрузивным породам и др. Кварц-турмалиновые метасоматиты образуют линзовидные, гнездообразные, прожилково-ветвистые тела, часто брекчиевидного облика, где они играют роль метасоматического цемента среди трещиноватой дроблёной замещаемой породы (рис. 2). Макроскопически они распознаются по пятнистой чёрной, тёмно-серой окраске. Часто выветрелые поверхности образцов похожи на «сажистые» образования, которые обусловлены микроскопическими размерами турмалина.

Формирование КТМ покажем на примере месторождения Коматор.

Месторождение Коматор находится в 6 км к востоку от пос. Актюз среди метаморфических пород и приурочено к зоне разлома. Непосредственно в строении месторождения участвуют породы куперлисайской свиты (R₂?), которые представлены здесь в основном амфиболовыми сланцами (рис. 3). Они состоят из амфибола актинолит-роговообманкового ряда (60–90 %), плагиоклаза (5–10 %), кварца (5–10 %), эпидота, цоизита, хлорита. Структура сланцев микрогранонематобластовая, тек-

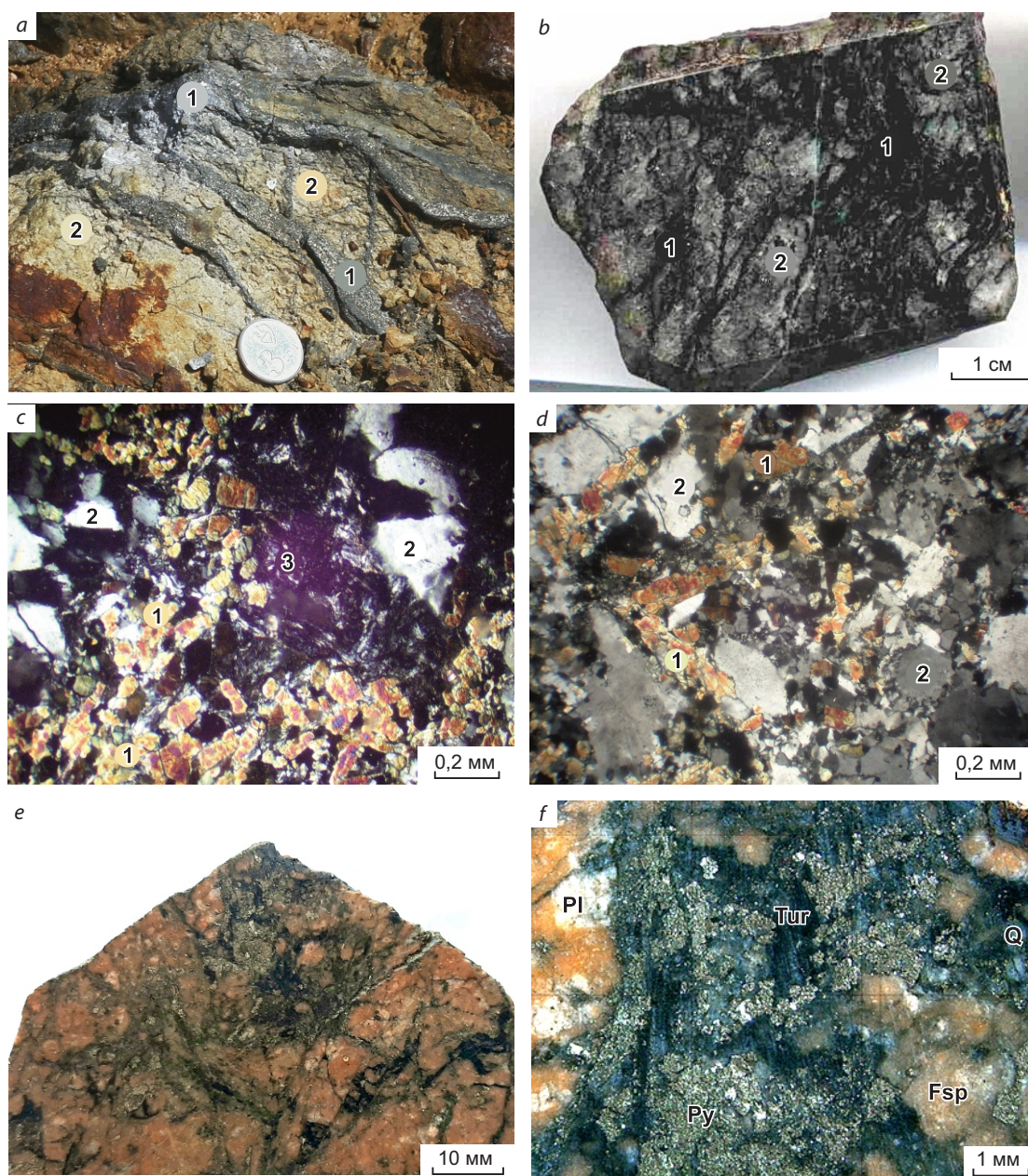


Рис. 2. Кварц-турмалиновые метасоматиты:

a – КТМ (1) секут березиты (2), месторождение Талды-Булак Левобережный; *b* – КТМ (1) секут листвениты (2), месторождение Долпран; *c, d* – микрофотографии шлифов, николи + (в кружках: 1 – турмалин, 2 – кварц, 3 – хлорит); *e, f* – брекчия в сиенит-порфирах с кварц-турмалиновым метасоматическим цементом (чёрное): Pl – плагиоклаз, Fsp – калиевый полевой шпат, Tur – турмалин, Q – кварц, Py – пирит, месторождение Талды-Булак Левобережный

Fig. 2. Quartz-tourmaline metasomatites:

a – quartz-tourmaline metasomatites (1) cutting beresites (2), Taldy-Bulak Levoberezhny deposit; *b* – quartz-tourmaline metasomatites (1) cutting listvenites (2), Dolpran deposit; *c, d* – microphotographs of thin sections, nicol +; in circles: 1 – tourmaline, 2 – quartz, 3 – chlorite; *e, f* – breccia in syenite porphyry with quartz-tourmaline metasomatic cement (black): Pl – plagioclase, Fsp – potassium feldspar, Tur – tourmaline, Q – quartz, Py – pyrite, Taldy-Bulak Levoberezhny deposit

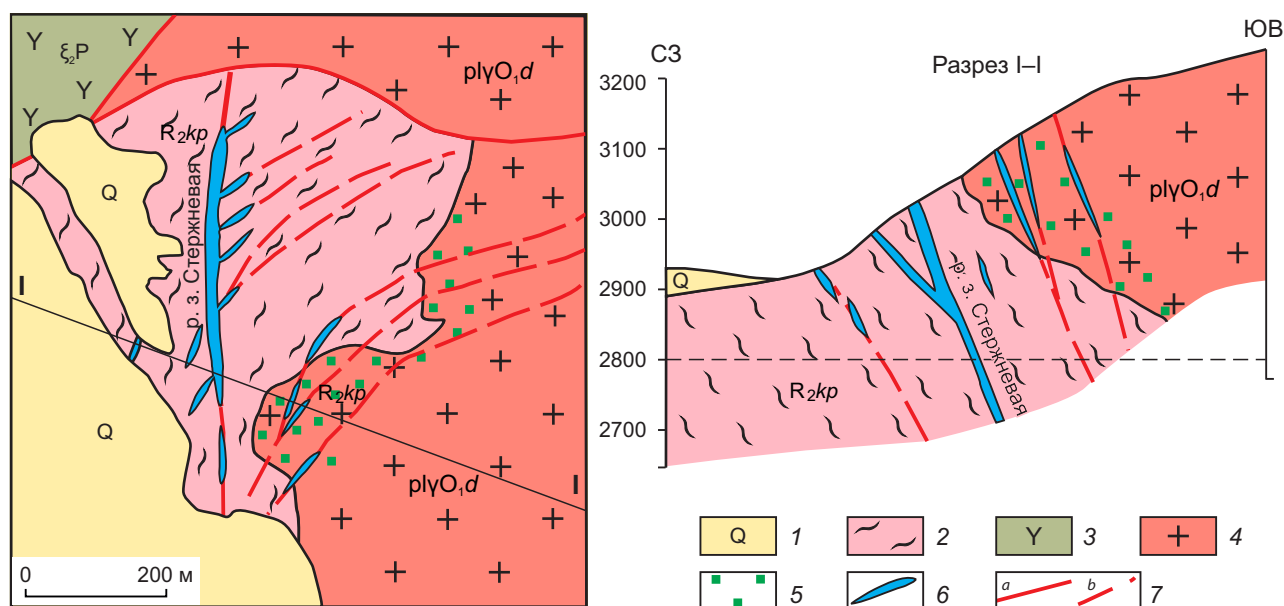


Рис. 3. Схематическая геологическая карта месторождения Коматор:

I – четвертичные отложения; 2 – куперлисайская свита (R_2kp): амфиболовые сланцы, амфиболиты, гнейсы; 3 – сиенодиориты, диориты (ξ_2P); 4 – долпранский интрузивный комплекс ($plyO_1d$): плагиограниты, гранодиориты; 5 – березиты; 6 – рудные тела; 7 – разломы: *a* – основные; *b* – оперяющие

Fig. 3. Schematic geological map of Komator deposit:

I – Quaternary sediments; 2 – Kuperlisay suite (R_2kp): amphibole schists, amphibolites, gneisses; 3 – syenodiorites, diorites (ξ_2P); 4 – Dolpran intrusive complex ($plyO_1d$): plagiogranites, granodiorites; 5 – beresites; 6 – ore bodies; 7 – faults: *a* – main; *b* – feathering

стура сланцеватая. Размеры зёрен составляют сотые и десятые доли миллиметра. В меньшем количестве присутствуют амфиболиты, слюдястые сланцы, гнейсы и мигматиты.

Интрузивные породы на месторождении представлены массивом долпранского комплекса ($plyO_1d$), пермскими дайками и штоками кыртабылгинского комплекса ($P?kb$).

Долпранский комплекс представлен порфировидными, крупно-, среднекристаллическими плагиогранитами и гранодиоритами, секущими толщи куперлисайской свиты. Плоскость контакта падает на восток под интрузию под углом 70–80°. Плагиограниты состоят из пелитизированного олигоклаза (45–60 %), кварца (25–35 %), калишпата (5 %), биотита (5 %). Во вмещающих их амфиболовых сланцах наблюдаются мигматизация и ороговико-

вание. Возраст интрузий долпранского комплекса по циркону составляет 472 млн лет, что соответствует раннему ордовику [11].

Кыртабылгинский комплекс пермского возраста в районе месторождения представлен серией штоков и даек сиенит-порфиров, кварцевых диоритовых порфиров, гранитов, на самом месторождении вскрытых в штольнях.

Метасоматические породы. Для месторождения характерна интенсивная метасоматическая переработка вмещающих пород, изменению подвергнуты как метаморфические, так и магматические породы. Изменения представлены калишпатитами, скарнированными породами, березитами, листовенитами, пропилитами. Особый интерес представляют золотоносные КТМ, которые широко распространены на месторождении. Они развиваются по



амфиболитам, амфиболовым сланцам, занимают текущее положение по отношению к другим метасоматитам.

Исследования, проведённые на месторождении, показали наличие последовательных переходов от неизменённых амфиболитов и амфиболовых сланцев до кварц-турмалиновых и турмалиновых метасоматитов и жил. Изменения проявляются сначала в частичной, а затем более полной хлоритизации и карбонатизации амфиболов и плагиоклазов. Тектурные особенности не изменяются. Структура становится тонкозернистой за счёт замещения первичных минералов более мелкими новообразованными. Порода становится более плотной. При усилении метасоматического процесса хлорит и реликты амфибола и плагиоклаза замещаются серицитом, количество карбоната уменьшается, а кварца увеличивается. Порода преобразуется в кварц-хлорит-серицитовый метасоматит (см. рис. 2, с). В нём проглядывается тень текстуры сланцев. Иногда появляются отдельные кристаллы и скопления турмалина. В дальнейшем хлорит полностью замещается кварцем и серицитом. Образуется кварц-серицитовая зона, которая полностью теряет структурно-тектурные особенности первичных пород – амфиболитов и сланцев. Серицит располагается между зёрнами кварца. В кварц-серицитовой зоне выделяются вкрапления, гнёзда и агрегаты турмалина.

Во всех зонах порода имеет тонкозернистую структуру с размерами зёрен сотые и десятые доли миллиметра. Количественные соотношения минералов сильно варьируют. Однако заметно преобладание кварца в более изменённых породах.

Кварц-серицитовая зона сменяется кварц-турмалиновой (см. рис. 2, d). Турмалин образует скопления в виде гнёзд из разноориентированных кристаллов и густые вкрапления среди кварца. Количество кварца 60–80 %, турмалина 20–40 %. Зернистость пород увеличивается до 0,5–1 мм. Среди кварц-турмалиновой породы встречаются прожилки, нацело сложенные призматическим турмалином. Они имеют ветвящийся характер, занимают осевую часть кварц-турмалиновой зоны и образуют сетчатую текстуру. Наблюдаемая зо-

нальность может быть выражена следующей идеализированной метасоматической колонкой:

0. Амфибол, плагиоклаз, кварц;
1. Амфибол, плагиоклаз, кварц, хлорит, карбонат;
2. Кварц, альбит, серицит, хлорит, карбонат;
3. Кварц, серицит, хлорит, карбонат;
4. Кварц, серицит, хлорит (\pm турмалин);
5. Кварц, серицит, турмалин;
6. Кварц, турмалин;
7. Турмалин.

Выявленная метасоматическая зональность отвечает кварц-хлорит-турмалиновой метасоматической формации, описанной Б. И. Омеляненко [5]. Образование турмалина он связывает с высокой активностью бора. Отличие состоит в том, что в нашем случае турмалин появляется уже в средних зонах метасоматической колонки. По нашему мнению, формацию следует называть кварц-турмалиновой метасоматической. Данная формация на месторождении Коматор впервые выделена Н. Т. Паком [6].

Кварц-турмалиновые метасоматиты обнаружены во всех канавах, вскрывающих рудные тела. Мощность внешней зоны (1) достигает десятка метров, однако слабые изменения в сланцах отмечаются только при микроскопических исследованиях. Мощности следующих зон (2, 3 и 4) не превышают 0,5–1 м, а зоны 5 и 6 имеют мощности от сантиметров до десятка сантиметров. Турмалиновая зона чаще всего составляет 1–3 мм, однако она имеет ветвящийся характер, и в результате сочленения примыкающих зон общая мощность зон 5, 6 и 7 может составлять 1–3 м. Внутренние зоны (5, 6 и 7) КТМ принимают непосредственное участие в строении рудных тел, а внешние обрамляют их. Часто внутренние зоны подвержены дроблению и ожелезнению, местами секутся более поздними кварцевыми и кальцитовыми жилами мощностью 5–10 см.

Метасоматические изменения затронули также интрузию гранитов. Метасоматиты образуют околотрещинные контрастные линейные зоны мощностью до 1–5 м. Изменения выражены в серицитизации, окварцевании и пиритизации и относятся к процессу березитизации.



Оруденение. На месторождении прослежена одна главная субвертикальная линейная рудная зона (Стержневая), имеющая меридиональное простирание. Протяжённость зоны на поверхности около 800 м, мощность от 1 до 10–12 м. Зона представляет собой тектонический разлом, выполненный трещиноватыми, дроблёнными, ожелезнёнными, окварцованными породами, изменёнными амфиболовыми сланцами. Рудная зона сложена одним или несколькими параллельными рудными телами, хорошо выдержанными по простиранию на поверхности и прерывистыми на горизонте штольни (100–120 м от поверхности). Мощности рудных тел на глубине уменьшаются. От основной рудной зоны отходят маломощные (до 1 м) оперяющие рудные зоны северо-восточного простирания.

Золотоносность неизменённых сланцев колеблется от 0,005 до 0,015 г/т, слабоизменённых сланцев – до 0,05 г/т. Кварц-хлорит-серицитовая и кварц-серицитовая с турмалином зоны обладают повышенной, иногда промышленной золотоносностью. Здесь содержания Au варьируют от 0,015 до 5 г/т, максимальные значения (до 50 г/т) наблюдаются в передроблённых, ожелезнённых, окварцованных породах, которые представляют собой внутренние зоны КТМ с резким преобладанием кварца и подчинённым количеством серицита и турмалина. Поздние кварцевые жилы содержат Au не более 0,3 г/т.

Оперяющие рудные зоны в амфиболовых сланцах сложены теми же метасоматитами, что и основная зона, а в гранитах – березитами. Содержания Au в них достигают 20 г/т, но обычно 1–2 г/т и менее.

Основной компонент – самородное золото в ассоциации с кварцем, турмалином, пиритом. Размеры золотинок не превышают десятых долей миллиметра, преобладает золото пылевидное и очень мелкое, отмечается как высокопробное, так и низкопробное. Содержание Ag в золоте колеблется от 0,0 до 5,3 % в высокопробных золотинок и от 16,4 до 28,4 % в низкопробных. Таким образом, некоторые золотинок представлены серебросодержащей разновидностью – электрумом. Второй полезный

компонент – серебро. Его содержания достигают в единичных пробах 350 г/т.

Самым распространённым сульфидом является пирит, его содержания достигают 3 %, размеры чаще всего до 1 мм. Пирит встречается как в виде рассеянной вкрапленности мелких одиночных кристаллов, так и в виде прожилков и гнезд, редко образует штуфные выделения. Из других рудных минералов присутствуют арсенопирит, халькопирит, борнит, блёклые руды и др., впрочем, не имеющие практического значения.

Кварц-турмалиновые метасоматиты развиваются после процессов лиственитизации и березитизации, и это выразилось в следующей вертикальной зональности. На глубоких горизонтах отмечаются выклинивание КТМ, уменьшение мощности рудных тел, уменьшение содержания золота в два-пять раз, появляется прерывистость рудных тел. Одновременно с глубиной фиксируется большее развитие лиственитизации по амфиболитам и сланцам.

Месторождение Долпран. Вмещающие породы района месторождения сложены метаморфическими породами тегерментинской толщи – гнейсами, амфиболитами, мигматитами, слюдяными сланцами с линзами и блоками кварц-карбонатного состава и мраморов. Северо-восточная часть сложена гранодиоритами ордовикского тасакеминского комплекса ($\gamma\delta O_1 tk$). Возраст гранодиоритов, полученный U-Pb методом SHRIMP по циркону, составляет $471,9 \pm 3,5$ и $472 \pm 3,1$ млн лет [11]. Гранодиориты по взбросо-надвику надвинуты на метаморфические толщи с северо-востока на юго-запад. Вдоль надвиговой зоны прослеживается полоса метасоматически изменённых пород, к которым приурочена рудная минерализация месторождения Долпран.

Месторождение делится на Северный и Южный участки. На Северном участке преобладает кварц-хлорит-сульфидный тип руд, а на Южном – тремолит-актинолитовый.

Метасоматические изменения представлены хлоритизацией, окварцеванием, серицитизацией. Основная часть процессов развивается по метаморфическим породам, реже – по



интрузивным. По соотношению метасоматических ассоциаций выделяются листвениты и березиты. Характерной особенностью является наличие площадных полей турмалинизации. Встречены КТМ, секущие листвениты, где они заполняют трещины и создают брекчиевидную текстуру (см. рис. 2, *b*). Внутри этих полей и за их пределами встречены более локальные зоны золотоносных КТМ. Макроскопически это мелко-среднезернистые породы серовато-зелёного, тёмно-зелёного, почти чёрного цвета. Состоят из переменного количества главных минералов – турмалина (25–40 %), кварца (35–60 %), хлорита (до 10 %), второстепенных и аксессуарных – карбоната, серицита, апатита, сфена, циркона, рутила, ожелезнённого лейкоксена, рудных минералов (пирита, часто замещённого минералами группы лимонита и др.). Структура породы гранобластовая с участками лепидогранобластовой. Текстура полосчатая, сетчатая.

Турмалин имеет зелёную окраску с плеохроизмом от тёмно-зелёного до светло-зелёного и светло-бурого цвета. Представлен удлинёнными, короткопризматическими и почти округлыми (в сечении) кристаллами, образующими тонкозернистые агрегаты, прожилковидные выделения, гнездовидные скопления. Размер выделений турмалина 0,01–0,1 мм в поперечном сечении.

Кварц образует зёрна почти изометрической и неправильной формы с неровными, волнисто-зазубренными границами, волнисто-мозаичным погасанием и участками перекристаллизации. Размеры зёрен кварца варьируют от 0,02 до 1,5 мм.

Главные рудные минералы – пирит, халькопирит и арсенопирит. Золото ассоциирует с кварцем и сульфидами. Площадные поля КТМ являются безрудными или слабозолотоносными, а более контрастные зоны КТМ несут промышленное золотое оруденение.

Месторождение Талды-Булак Левобережный. Крупное месторождение с запасами золота до 130 т при средних содержаниях 6–7 г/т разрабатывается подземным способом. Оно развивалось в несколько стадий, но основное промышленное оруденение было сформировано в условиях постколлизийной активизации

в силурийское время. В строении месторождения участвуют докембрийские метаморфические породы: амфиболиты, биотит-амфиболовые и хлорит-амфиболовые сланцы, мигматиты, слюдястые сланцы и гнейсы. Метаморфические породы прорываются дайками, мелкими штоками и силлами сиенит-порфиров и монцодиоритов, U-Pb возраст которых по циркону составляет 440 млн лет (S), и палеогеновыми дайками долеритов. Считается, что силурийские интрузивные породы являются материнскими для золоторудной минерализации, Re-Os возраст золотоносного пирита на месторождении составляет 434 млн лет [13]. Формирование метасоматитов и золотой минерализации, по нашему мнению, связано с постмагматической деятельностью интрузий сиенит-порфиров и монцодиоритов.

Золотое оруденение располагается в крупной зоне смятия общей мощностью более 700 м. Зона смятия представляет собой хаотичное нагромождение обломков различных пород: сланцев, амфиболитов, гнейсов и др. В ней выделяются три локальные зоны дробления: Нижняя, Средняя и Верхняя. Основное промышленное оруденение приурочено к Нижней зоне, а верхние части рудных залежей размещаются в Средней зоне (рис. 4). Рудные тела протяжённостью 200–500 м, мощностью до нескольких десятков метров представлены сульфидной вкрапленной и прожилково-вкрапленной минерализацией. Наблюдаются две системы рудных тел: крутопадающие и пологие. Система пологих рудных тел – главная, рудные тела пластообразные и в целом субсогласные элементам зоны смятия. Система крутопадающих тел имеет резко подчинённое значение, контролируется в основном разрывными структурами. Золото-сульфидное вкрапленное оруденение тяготеет к кровле зоны смятия и часто контролируется КТМ, которые имеют единый структурный план со штоками и дайками монцодиоритов.

Месторождение характеризуется развитием значительных объёмов метасоматически изменённых пород как в пределах рудных зон, так и в околорудном пространстве [7]. Породы подвергаются серицитизации, окварцеванию, турмалинизации, карбонатизации и другим

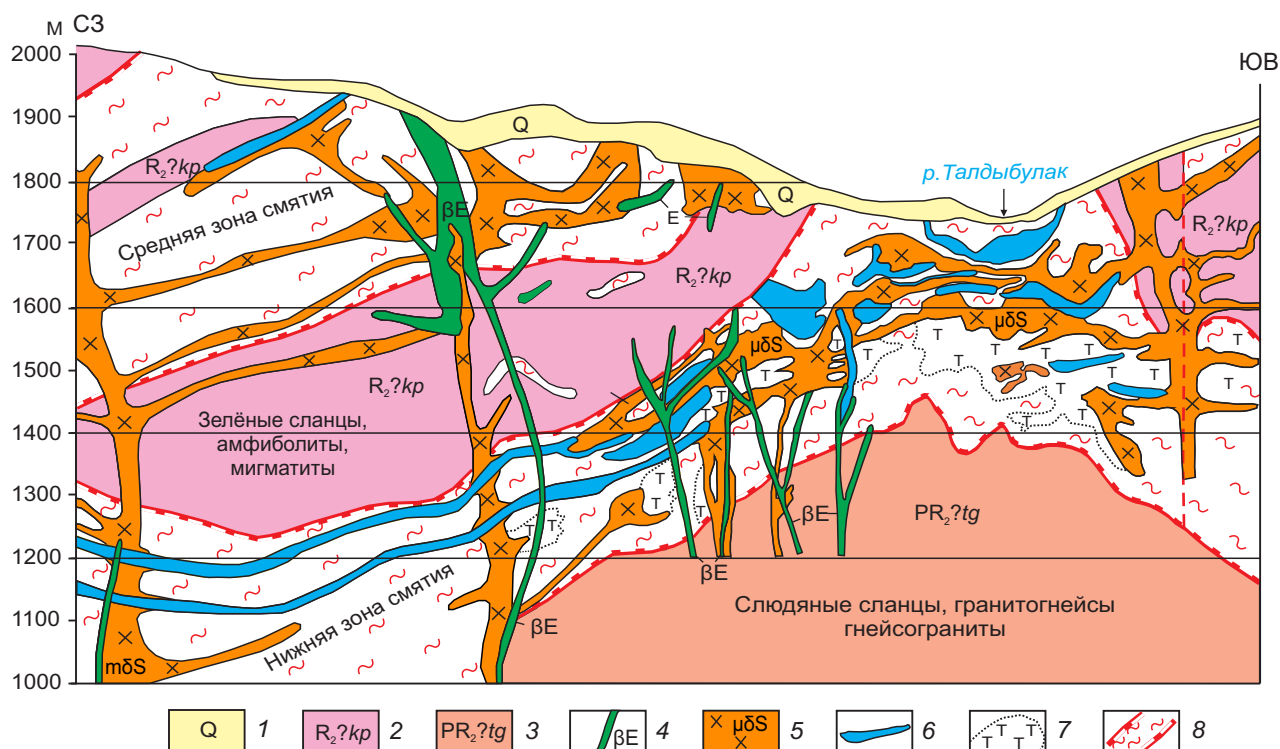


Рис. 4. Схематический геологический разрез месторождения Талды-Булак Левобережный (по Б. А. Трифонову, с изменениями [9]):

1 – четвертичные отложения; 2 – куперлисайская свита; 3 – тегерментинская свита; 4 – палеогеновые дайки долеритов; 5 – дайки и силлы монцодиоритов, сиенит-порфиров; 6 – золоторудные тела; 7 – поля развития кварц-турмалиновых метасоматитов; 8 – зоны смятия

Fig. 4. Schematic geological section of the Taldy-Bulak Levoberezhny deposit (according to B. A. Trifonov, with modifications [9]):

1 – Quaternary sediments; 2 – Kuperlisay formation; 3 – Tegermentinskaya formation; 4 – Paleogene dolerite dikes; 5 – dikes and sills of monzodiorites, syenite porphyry; 6 – gold ore bodies; 7 – fields of quartz-tourmaline metasomatites; 8 – crumple zones

процессам, которые проявлены и в отдельности друг от друга, и в сложном сочетании между собой.

Дорудные метасоматиты представлены в основном калишпатизированными породами, развитыми по гнейсам и мигматитам. Кроме главного минерала – ортоклаза, развиты биотит, альбит и кварц. Полевошпатовые метасоматиты образуют корневую часть вертикальной зональности и не несут рудной нагрузки.

Рудные метасоматиты представлены лиственитами, березитами и КТМ.

Листвениты развиваются по амфиболитам и кварц-карбонатно-магнезиальным породам

спорного генезиса и представляют собой мелко-, среднезернистые породы серого, серовато-зеленоватого, светло-зеленоватого цветов. Листвениты образуют линзовидные, жиллообразные тела, часто слагают тектонически обособленные вытянутые блоки мощностью от 1 до 40 м и протяжённостью до 250 м. Состав лиственитов в основном кварц-карбонатный, появляется фуксит, развивающийся за счёт реликтов темноцветных минералов вмещающих пород. Из рудных минералов в метасоматитах присутствуют пирит, халькопирит, редко – блёклые руды, галенит, арсенопирит, хромит, магнетит.



Березиты развиваются как по гнейсам, сланцам, мигматитам, так и по интрузивным породам – сиенит-порфирам, монцодиоритам и др. Породы зеленовато-бледные, бежевые, желтовато-буроватые. Структура мелко-, тонкозернистая, текстура во внутренних зонах массивная, во внешних – сланцеватая или массивная в зависимости от текстур замещающих пород. Тела березитов, развитых по метаморфическим породам, имеют линзовидное строение, контролируются тектоническими зонами и тяготеют к контакту или верхним частям штоков и даек монцодиоритов. При развитии березитов по монцодиоритам, сиенит-порфирам они повторяют форму штоков и даек. Помимо пирита, в березитах встречаются халькопирит, миллерит, сфалерит, галенит, тетраэдрит.

Листвениты и березиты являются золотоносными метасоматитами с содержаниями Au от 0,1 до первых г/т.

Характерными метасоматитами являются КТМ. Они развиваются главным образом по сиенит-порфирам и монцодиоритам (см. рис. 2, e, f), редко выходят за их пределы, при этом накладываются или секут листвениты и березиты (см. рис. 2, a). Кварц-турмалиновые метасоматиты имеют тёмно-серую до чёрного окраску. При микрозернистом строении порода имеет как бы «сажистую» поверхность. Формирование этих метасоматитов начинается с процессов хлоритизации темноцветных минералов, серицитизации и окварцевания полевых шпатов. Турмалин появляется в средних зонах метасоматической колонки. Внутренние зоны сложены кварц-турмалиновым агрегатом, а ядерные части – турмалином.

В сравнении с березитами и лиственитами КТМ являются более контрастными образованиями и имеют гнездовый, прожилковый, ветвящийся, брекчиевый характер выделения. Прожилки, соединяясь между собой, образуют поля и зоны турмалинизации. Из рудных минералов в них присутствуют пирит и халькопирит. Содержание Au в среднем составляет 5–15 г/т. Кварц-турмалиновые метасоматиты с обильной сульфидной минерализацией являются главным промышленным типом для золотой руды.

Самые поздние гидротермальные образования представлены безрудными кварц-карбонатными жилами и прожилками с редкой вкрапленностью пирита.

В рудах месторождения содержание сульфидов достигает 12–15 %. Наиболее распространён пирит, это – главный минерал-концентратор золота. Гораздо в меньших количествах встречаются халькопирит, пирротин, арсенопирит, галенит, сфалерит, молибденит и другие рудные минералы.

Большая часть золота находится в пирите, меньшая – в халькопирите. В основном оно тонкодисперсное, пылевидное в сотые доли миллиметра, редко достигает размеров 0,1–1 мм.

Месторождение Мироновское. Входит в состав Карабулакского рудного поля, которое находится у северо-западной границы Актюз-Боординского рудного района (см. рис. 1). Оно расположено в северной эндо- и экзоконтактной зонах Мироновского штока, прорывающего толщу амфиболовых сланцев и амфиболитов куперлисайской свиты (рис. 5). С севера и запада по системам тектонических нарушений площадь месторождения ограничена гранодиоритами и диоритами позднерифейского курдайского комплекса, а с востока – породами киртабулгинской вулcano-плутонической ассоциации среднепалеозойского возраста.

Рудоносный Мироновский шток, в строении которого участвуют верхнеордовикские монцонитоиды карабулакского интрузивного комплекса, характеризуется зональным строением, обусловленным сменой от периферии к центру монцогаббро и монцонитов монцодиоритами и далее – граносиенитами и монцогранитами. К приконтактной области интрузива тяготеют многочисленные дайковые тела высококальциевых риолитов и флюидо-эксплозивных брекчий с калишпат-турмалиновым цементом, являющихся самыми близкими к оруденению по времени образования.

Мироновское месторождение относится к жильному мезотермальному гидротермальному типу. Его основные рудоконтролирующие элементы – протяжённые трещинные структуры субширотного, северо-восточного и субмеридионального простирания, среди которых

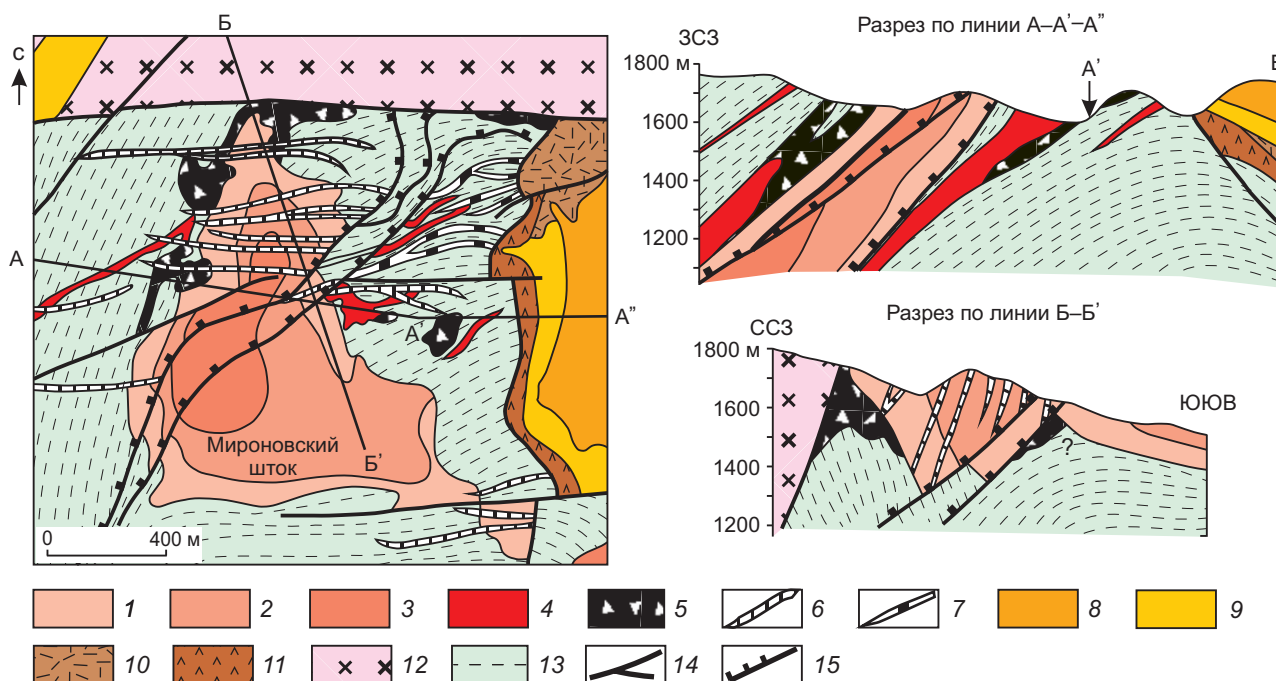


Рис. 5. Схематическая геологическая карта месторождения Мироновское (по В. В. Шатову [12] с изменениями): карабулакский интрузивный комплекс (O_3): 1 – монзониты, монцогаббро, 2 – кварцевые монцодиориты, 3 – монцограниты, 4 – дайки риолитов, 5 – флюидо-эксплозивные брекчии с турмалин-калишпатовым цементом; рудоносные жилы: 6 – пирит-магнетитовые и/или кварц-турмалиновые, 7 – сидерит-сульфидные; киртабулгинский вулcano-плутонический комплекс (D_{1-2}): 8 – граносиенит-порфиры, 9 – риолиты; бешекинский вулканический комплекс (D_1): 10 – риолиты, 11 – дациты, андезидациты; 12 – курдайский интрузивный комплекс (R_3): диориты, гранодиориты; 13 – куперлисайская свита (R_{1-2}): амфиболовые сланцы, амфиболиты; 14 – разломы; 15 – надвиги

Fig. 5. Schematic geological map of the Mironovskoye deposit (according to V. V. Shatov [12] with modifications):

Karabulak intrusive complex (O_3): 1 – monzonites, monzogabbro, 2 – quartz monzodiorites, 3 – monzogranites, 4 – rhyolite dikes, 5 – fluid-explosive breccias with tourmaline-K-feldspar cement; ore-bearing veins: 6 – pyrite-magnetite and/or quartz-tourmaline, 7 – siderite-sulfide; Kirtabulga volcano-plutonic complex (D_{1-2}): 8 – granosyenite porphyry, 9 – rhyolite; Besheki volcanic complex (D_1): 10 – rhyolites, 11 – dacites, andesidacites; 12 – Kurdai intrusive complex (R_3): diorites, granodiorites; 13 – Kuperlisay suite (R_{1-2}): amphibole shales, amphibolites; 14 – faults; 15 – thrusts

выделяются два основных морфологических типа. Первый тип представлен крутопадающими субширотными сколовыми трещинами, вмещающими наиболее раннее пирит-магнетитовое и кварц-турмалин-висмутиновое жильное оруденение. Ко второму типу относятся пологие надвиговые и взбросо-надвиговые тектонические нарушения северо-восточного простирания, разграничивающие площадь месторождения на три блока (Западный, Промежуточный и Восточный) и контролирующие

пространственное размещение наиболее поздних сидерит-висмут-полиметаллических рудных тел. На месторождении хорошо изучены десять рудных тел, представленных главным образом жилами и линзами. Зоны прожилково-вкрапленных руд имеют подчинённое значение. Размеры рудных тел обычно достигают по простиранию сотни метров, реже – первые километры при мощности от 1 до 5 м. Вертикальный размах оруденения составляет около 400–500 м.



Главные компоненты руд – висмут, медь, золото, второстепенное значение имеют свинец, цинк, серебро. В качестве примесей присутствуют W, Mo, U, Co, Ni, As и Sn. Основные рудные минералы представлены висмутином, сульфосолями висмута (главным образом айкинитом и козалинитом), галенитом, халькопиритом, арсенопиритом, пиритом, магнетитом, вольфрамитом, а нерудные – кварцем, турмалином, хлоритом, серицитом, калиевым полевым шпатом, сидеритом. Значительно реже из рудных отмечаются сфалерит, молибденит, уранинит, настуран, шеелит, кобальтин, лёллингит, линнеит, гематит, блёклые руды, касситерит и самородное золото; из нерудных – флюорит и биотит.

Рудоносные структуры Мироновского месторождения контролируются обширным ореолом березитизированных пород размером $0,8 \times 2,5$ км. Этот ореол охватывает всю северную и центральную части Мироновского штока, дайковые тела риолитов и флюидо-эксплозивных брекчий в его приконтактных частях, а также широкую полосу амфиболовых сланцев в северо-восточном экзоконтакте Мироновского массива. С востока и юга среди амфиболовых сланцев куперлисайской свиты и калишпатизированных монзонитоидов Мироновского штока к березитовому ореолу подступает обширное зонально построенное поле пропицитов. На современном уровне эрозионного среза зона ранней объёмно проявленной калишпатизации совмещена с локальными участками калишпат-хлорит-турмалиновых и хлорит-турмалиновых парагенезисов и с наложенными на них более поздними обширными ореолами березитовых ассоциаций.

По данным различных авторов (В. П. Овчинников и др., 1973), [4] и др. процессы минералообразования на месторождении отчётливо разделяются на два рудных этапа: ранний и поздний.

Для *раннего этапа*, включающего кварц-пирит-магнетитовую ($320\text{--}400$ °C), кварц-турмалиновую и кварц-колчеданную ($250\text{--}330$ °C) стадии, характерно возникновение кварц-калишпатовых, кварц-калишпат-турмалиновых и кварц-хлорит-турмалиновых окolorудных метасоматитов, образующих вдоль рудных тел

маломощные симметрично построенные ореолы (рис. 6).

Началу *позднего этапа*, объединяющего сидерит-сульфидную ($180\text{--}260$ °C) и хлорит-настурановую ($160\text{--}240$ °C) стадии, предшествовали процессы коренной перестройки трещинной структуры месторождения, выразившиеся в заложении пологих надвиговых нарушений северо-восточного простирания, смещавших в плане и по вертикали субширотные жильные тела предыдущего этапа. Надвиговые структуры обычно контролируют пространственное размещение жильных комплексов с сидерит-висмут-полиметаллической минерализацией и сопровождающих их ореолов березитизированных пород. Возникающие при этом зоны окolorудных кварц-мусковит-хлорит-карбонат-серицитовых метасоматитов – березитов – накладываются не только на кварц-калишпат-турмалиновые и кварц-хлорит-турмалиновые окolorудные метасоматиты, но и на минеральные агрегаты их жильного выполнения. Процесс минералообразования на месторождении завершается формированием кварц-флюоритовых пострудных прожилков.

В пространственном размещении рудных минеральных ассоциаций обнаруживаются элементы латеральной и вертикальной зональности. Наиболее ранние и высокотемпературные пирит-магнетитовые жилы с уран-молибден-вольфрамовой минерализацией и сопровождающие их кварц-калишпат-турмалиновые метасоматиты получили максимальное распространение на западном фланге месторождения. Высоко-среднетемпературная золото-медно-висмутовая минерализация с кобальтом и мышьяком в кварц-турмалиновых жилах и хлорит-турмалиновых метасоматитах также широко проявлена на западном фланге месторождения, но имеет значительно больший размах развития. Отмеченные минеральные новообразования в восточном направлении сменяются продуктами наиболее позднего средне-низкотемпературного березитового этапа, выраженного сидерит-висмут-полиметаллическим оруденением (см. рис. 6) и сопровождающими его ореолами березитизированных пород.

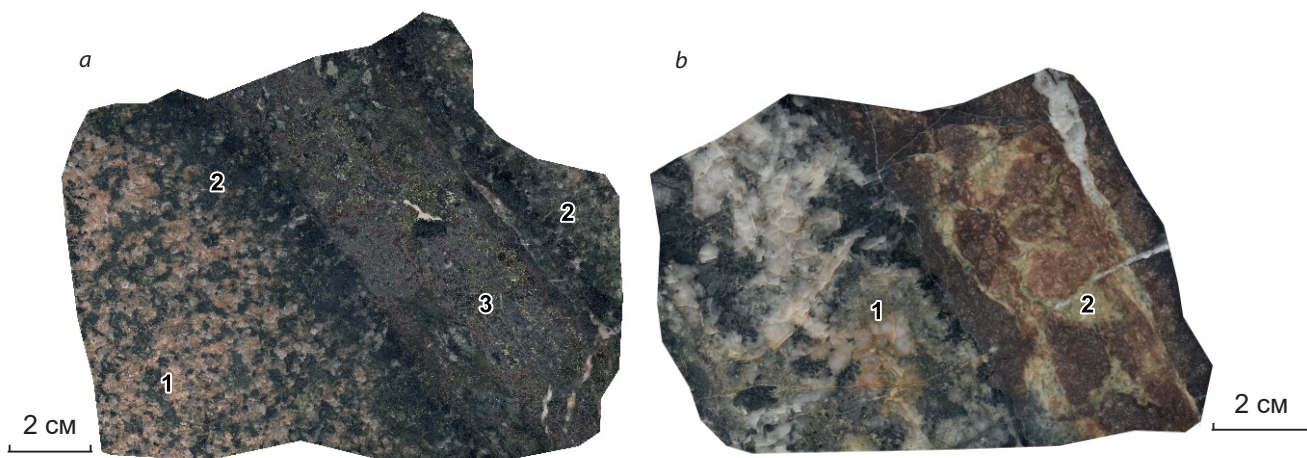


Рис. 6. Характер проявления жильной рудной минерализации на Мироновском месторождении:

a – калишпатизированный монцодиорит (1) сечётся малоомощной жилой кварц-магнетит-турмалин-сульфидного состава (3), вдоль которого симметрично с обеих сторон получили развитие узкие оторочки кварц-турмалин-хлоритовых околорудных метасоматитов (2); *b* – рудный агрегат, сложенный двумя разновозрастными минеральными парагенезисами: ранним – кварц-турмалин-сульфидным (1) и более поздним – сидерит-сульфидным (2), с которым связан основной объём висмутовой и золото-медной рудной минерализации на месторождении

Fig. 6. The nature of the manifestation of vein ore mineralization at the Mironovskoye deposit:

a – K-feldspathized monzodiorite (1) is cut by a thin vein of quartz-magnetite-tourmaline-sulfide composition (3), along which narrow rims of quartz-tourmaline-chlorite wall-ore metasomatic rocks have developed symmetrically on both sides (2); *b* – ore aggregate, composed of two mineral parageneses of different ages: early – quartz-tourmaline-sulfide (1) and later – siderite-sulfide (2), which is associated with the main volume of bismuth and gold-copper ore mineralization at the deposit

Заключение. В Актюз-Боординском рудном районе кварц-турмалиновые метасоматиты являются типоморфными на многих золото-рудных месторождениях. Они располагаются как в самих интрузиях, так и на некотором удалении от них в метаморфических толщах.

Золотоносные КТМ входят в последовательный ряд с другими метасоматитами и по отношению к калишпатитам, березитам и лиственитам являются чаще всего более поздними, накладываются на них или секут их в виде отдельных зон и прожилков, выполняют цемент брекчий, в обломках которых встречаются березиты, листвениты, калишпатизированные сиенит-порфиры и другие метасоматиты. В некоторых случаях (месторождение Мироновское) на КТМ могут накладываться березиты, но более поздних этапов образования.

В распределении КТМ большую роль играют зоны трещиноватости. Кварц-турмалиновые метасоматиты золотоносны и наряду с

другими метасоматитами образуют промышленные руды. На одних месторождениях они могут быть главными типами руд, на других – второстепенными. Кварц-турмалиновые метасоматиты – поисковый признак на золото в Актюз-Боординском рудном районе и поисковый критерий в других районах. Основные рудные минералы в них – пирит, халькопирит, реже минералы висмута, серебра, кобальта, полиметаллов. Золото связано как с сульфидной минерализацией, так и с кварцем.

На золоторудных месторождениях Актюз-Боординского рудного района КТМ образуют обширные поля и контрастные зоны. Для формирования такого количества турмалина КТМ необходим большой привнос бора, источником которого могут быть вмещающие породы, в частности куперлисайской свиты (по мнению В. В. Шатова), и интрузивные образования. Вопрос источника бора пока остаётся открытым и требует специализированных исследований.



Список литературы

1. Геологическая карта Кыргызской Республики м-ба 1 : 500 000. – 2008.
2. Дженчураева А. В., Захаров И. Л., Жуков Ю. В. [и др.]. Стратифицированные образования Кыргызстана. – Бишкек : КРСУ, 2015. – 318 с.
3. Дженчураева Р. Д., Пак Н. Т., Никоноров В. В., Ивлева Е. А. Золоторудные месторождения Кыргызстана. – Бишкек, 2020. – 494 с.
4. Минцер Е. Ф., Нечелюстов Г. Н., Манучарянц В. О. [и др.]. Висмутовое оруденение месторождения Мироновское // Геология рудных месторождений. – 1976. – № 4. – С. 30–41.
5. Омеляненко Б. И. Околорудные гидротермальные изменения пород. – М. : Недра, 1978. – 215 с.
6. Пак Н. Т. Золотоносная кварц-хлорит-турмалиновая метасоматическая формация в Тянь-Шане // Узбекистон олтин конлари: геологиясы ва sanoat турлари. – Ташкент, 1998. – С. 55–57.
7. Пак Н. Т., Ивлева Е. А. Модель формирования золоторудного месторождения Талды-Булак Левобережный в Северном Тянь-Шане // Геология и охрана недр. – Алматы. – 2015. – № 3 (56). – С. 10–20.
8. Рафаилович М. С. Золотоносные метасоматические формации Казахстана и соседних регионов Центральной Азии. IV. Кварц-турмалиновая формация // Геология и охрана недр. – 2014. – № 1. – С. 4–18.
9. Трифонов Б. А. Рудные месторождения Кыргызстана, контролируемые структурами надвиговой тектоники // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 90. – С. 91–106.
10. Djenchuraeva R. D., Borisov F. I., Pak N. T., Malyukova N. N. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining District, Northern Tien-Shan, Kyrgyzstan // Journal of Asian Earth Science, Special Issue Geodynamics and Metallogeny of Altai Orogen. – 2008. – V. 32, № 2–4. – P. 280–299.
11. Kröner A., Alexeiev D., Hegner E., Rojas-Agramonte Y., Corcini M., Chao Y., Wong J., Windley B., Lio D., Tretyakov A. Zircon and muscovite ages, geochemistry, and Nd-Hf isotopes for the Aktyuz metamorphic terrane: Evidence for an Early Ordovician collisional belt in the northern Tianshan of Kyrgyzstan // Gondwana Research. – 2012. – № 21. – P. 901–927.
12. Shatov V. V., Seltman R., Rafailovich M. Mironovskoe copper-bismuth-gold deposit // Paleozoic geodynamics and intrusion-related Au deposits in the Alhaid. Guide-book. – London, 2001. – P. 129–132.
13. Zhao X., Xue C., Chi C. [et al.]. Multi-stage gold mineralization in the Taldybulak Levoberezhny deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan // Ore Geology Reviews. – 2017. – V. 82. – P. 217–231.

References

1. Geologicheskaya karta Kyrgyzskoi Respubliki m-ba 1 : 500 000 [Geological map of the Kyrgyz Republic scale 1 : 500 000], 2008.
2. Dzhenchuraeva A. V., Zakharov I. L., Zhukov Yu. V. [et al.]. Stratifitsirovannyye obrazovaniya Kyrgyzstana [Stratified formations of Kyrgyzstan], Bishkek, KRSU Publ., 2015, 318 p.
3. Dzhenchuraeva R. D., Pak N. T., Nikonorov V. V., Ivleva E. A. Zolotorudnyye mestorozhdeniya Kyrgyzstana [Gold deposits of Kyrgyzstan], Bishkek, 2020, 494 p.
4. Mintser E. F., Nchelyustov G. N., Manucharants V. O. [et al.]. Vismutovoe orudnenie mestorozhdeniya Mironovskoe [Bismuth mineralization of the Mironovskoye deposit], *Geologiya rudnykh mestorozhdenii* [Geology of Ore Deposits], 1976, No 4, pp. 30–41. (In Russ.).
5. Omel'yanenko B. I. Okolorudnyye gidrotermal'nye izmeneniya porod [Near-ore hydrothermal changes of rocks], Moscow, Nedra Publ., 1978, 215 p.
6. Pak N. T. Zolotonosnaya kvarts-khlorit-turmalinovaya metasomaticheskaya formatsiya v Tyan'-Shane [Gold-bearing quartz-chlorite-tourmaline metasomatic formation in Tien Shan], *Uzbekiston oltin konlari: geologiyasy va sanoat turlari* [Gold deposits of Uzbekistan: geological and industrial types], Tashkent, 1998, pp. 55–57. (In Russ.).
7. Pak N. T., Ivleva E. A. Model' formirovaniya zolotorudnogo mestorozhdeniya Taldy-Bulak Levoberezhnyi v Severnom Tyan'-Shane [A model of the formation of the Taldy-Bulak Levoberezhny gold deposit in the Northern Tien Shan], *Geologiya i okhrana nedr* [Geology and protection of mineral resources], Almaty, 2015, No 3 (56), pp. 10–20. (In Russ.).
8. Rafailovich M. S. Zolotonosnyye metasomaticheskie formatsii Kazakhstana i sosednikh regionov Tsentral'noi Azii. IV. Kvarts-turmalinovaya formatsiya [Gold-bearing metasomatic formations of Kazakhstan and neighboring regions of Central Asia].



- IV. Quartz-tourmaline formation], *Geologiya i okhrana nedr* [Geology and protection of mineral resources], 2014, No 1, pp. 4–18. (In Russ.).
9. Trifonov B. A. Rudnye mestorozhdeniya Kyrgyzstana, kontroliruemye strukturami nadvigovoi tektoniki [Ore deposits of Kyrgyzstan controlled by thrust tectonics structures], *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 2022, No 90, pp. 91–106. (In Russ.).
10. Djenchuraeva R. D., Borisov F. I., Pak N. T., Malyukova N. N. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining District, Northern Tien-Shan, Kyrgyzstan, *Journal of Asian Earth Science*, Special Issue Geodynamics and Metallogeny of Altaid Orogen, 2008, V. 32, No 2–4, pp. 280–299. (In Russ.).
11. Kröner A., Alexeiev D., Hegner E., Rojas-Agramonte Y., Corcini M., Chao Y., Wong J., Windley B., Lio D., Tretyakov A. Zircon and muscovite ages, geochemistry, and Nd-Hf isotopes for the Aktyuz metamorphic terrane: Evidence for an Early Ordovician collisional belt in the northern Tianshan of Kyrgyzstan, *Gondwana Research*, 2012, No 21, pp. 901–927.
12. Shatov V. V., Seltman R., Rafailovich M. Mironovskoe copper-bismuth-gold deposit, Paleozoic geodynamics and intrusion-related Au deposits in the Alhaid. Guide-book, London, 2001, pp. 129–132.
13. Zhao X., Xue C., Chi C. [et al.]. Multi-stage gold mineralization in the Taldybulak Levoberezhny deposit, Tien Shan, Kyrgyzstan, *Ore Geology Reviews*, 2017, V. 82, pp. 217–231.

Пак Николай Тимофеевич (paknikolay50@mail.ru)

кандидат геол.-минерал. наук, зав. лабораторией металлогении и рудообразования¹

Ивлева Елена Александровна

старший научный сотрудник¹

Шатов Виталий Витальевич

кандидат геол.-минерал. наук, директор Центра прогнозно-металлогенических исследований²

Шатова Надежда Витальевна

кандидат геол.-минерал. наук, старший научный сотрудник²

Гончаренко Анна Александровна

аспирант¹

¹ Институт геологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Всероссийский научно-исследовательский геологический институт (ВСЕГЕИ), г. Санкт-Петербург, Россия