

УДК 553.26(575.23)
DOI: 10.36979/1694-500X-2022-22-12-155-166

**ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУР
И ЗОНАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ
НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ АКТЮЗСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

Р.Д. Дженчураева, Н.Н. Малукова

Аннотация. Расположенное в Северном Тянь-Шане Актюзское рудное поле представлено месторождениями Куперлисай (РЗЭ-Th), Актюз (РЗЭ-Th-Pb), Кутессай-П (РЗЭ-Th-Nb-Ta) и Калесай (Be) и приурочено к выступу фундамента, сложенного докембрийским комплексом метаморфических пород (гнейсы и кристаллические сланцы). Основное оруденение приурочено к выходам гранофировых штоков, секущих граниты Куперлисайского массива (P₂-T). Главными рудоносными структурами наиболее изученных месторождений Актюз и Кутессай-П являются брекчиевые тела, гранофировые штоки с дугообразно расположенными зонами измененных пород. По этим месторождениям показаны закономерности в размещении различных типов рудной минерализации по вертикали и латерали. Предложен механизм формирования вмещающих оруденение трещинно-брекчиевых структур, который основан на волновом механизме передачи энергии.

Ключевые слова: брекчиевая трубка; гранофиры; метасоматиты; зональность; редкие и редкоземельные элементы.

**АКТЮЗ КЕНИНДЕ КЕНДИН МИНЕРАЛДАШУУСУНУН ТҮЗҮЛҮШҮНҮН
ЖАНА АЙМАКТЫК ТАРАЛЫШЫНЫН ӨЗГӨЧӨЛҮКТӨРҮ**

Р.Д. Дженчураева, Н.Н. Малукова

Аннотация. Түндүк Тянь-Шанда жайгашкан Актюз кени Куперлисай (РЭ-Th), Актюз (РЭ-Th-Pb), Кутессай-П (РЭ-Th-Nb-Ta) жана Калесай (Be) кендери менен берилген жана кембрийге чейинки метаморфизмдик тектердин комплексинен (гнейстер жана кристалл сланцтары) түзүлгөн фундаменталдык кырка менен чектелген. Негизги минералдашуу Куперлисай массивинин (P₂-T) граниттерин кесүүчү гранофир запастарынын чыгышы менен чектелет. Эң көп изилденген Актюз жана Кутессай-П кендеринин башкы рудалуу структуралары болуп брекчий тулкулары, өзгөрүлгөн тектердин жаа сымал жайгашкан зоналары менен гранофир таякчалары саналат. Бул кендер кендин минералдашуусунун вертикалдык жана латералдык ар кандай түрлөрүн жайгаштыруудагы мыйзам ченемдүүлүктөрүн көрсөтөт. Энергияны берүүнүн толкундуу механизми негизделген жарак-брекчия структураларын кармоочу рудалаштырууну түзүү механизми сунушталган.

Түйүндүү сөздөр: брекчия трубасы; гранофирлер; метасоматиттер; аймакташтыруу; сейрек жана сейрек кездешүүчү жер элементтери.

**FEATURES OF THE FORMATION STRUCTURES AND ZONAL DISTRIBUTION
OF ORE MINERALIZATION IN THE DEPOSITS OF THE AKTYUZ ORE FIELD**

R.D. Dzhenchuraeva, N.N. Malyukova

Abstract. The Aktyuz ore field is located in the Northern Tien-Shan and represented by the Kuperlisai (REE-Th), Aktyuz (REE-Th-Pb), Kutessai-P (REE-Th-Nb-Ta) and Kalesai (Be) ore deposits. The Aktyuz ore field is confined in the basement ledge, composed of the Precambrian complex of metamorphic rocks (gneisses and crystalline schists). The main mineralization is located to the outcrops of granophyre stocks cutting the granites of the Kuperlisay massif (P₂-T). The main ore-bearing structures of the most studied Aktyuz and Kutessai-II deposits are breccia bodies, granophyre stocks with arc-shaped zones of altered rocks. Regularities in the distribution of various types of ore mineralization

along the vertical and lateral lines are shown for these deposits. A mechanism for the formation of fractured breccia structures containing mineralization is proposed based on the wave mechanism of energy transfer.

Keywords: breccia tube; granophyres; metasomatites; zonality; rare and rare earth elements.

Введение. Актюзское рудное поле занимает северо-восточную часть Актюз-Боординского рудного района (рисунок 1) и приурочено к выступу фундамента, сложенного докембрийским комплексом метаморфических пород (актюзская – AR и куперлисайская – PR₁ свиты). Актюзская свита представлена гнейсами, кристаллическими сланцами, амфиболитами, мраморами общей мощностью в пределах 2800–2900 м, возраст ее оценивается в 2780 млн лет [1]. Куперлисайская свита обнажается на крыльях антиклинальной складки, имеет С-В простирание с крутым падением и представлена амфиболовыми сланцами и сланцеватыми метабазами. Общая мощность свиты составляет 3900 м, возраст – 2,5 млрд лет [1].

Породы рамы интродуцированы разновозрастными интрузивными образованиями; от неопротерозойских мафитов и ультрамафитов до пермо-триасовых щелочных и субщелочных интрузий. Основное оруденение приурочено к выходам гранофировых штоков, секущих купола-выступы Куперлисайской интрузии трещинного типа субщелочных лейкократовых гранитов (рисунки 2, 3). Массив погружается в северо-восточном направлении под толщу древних метаморфических пород. Месторождения

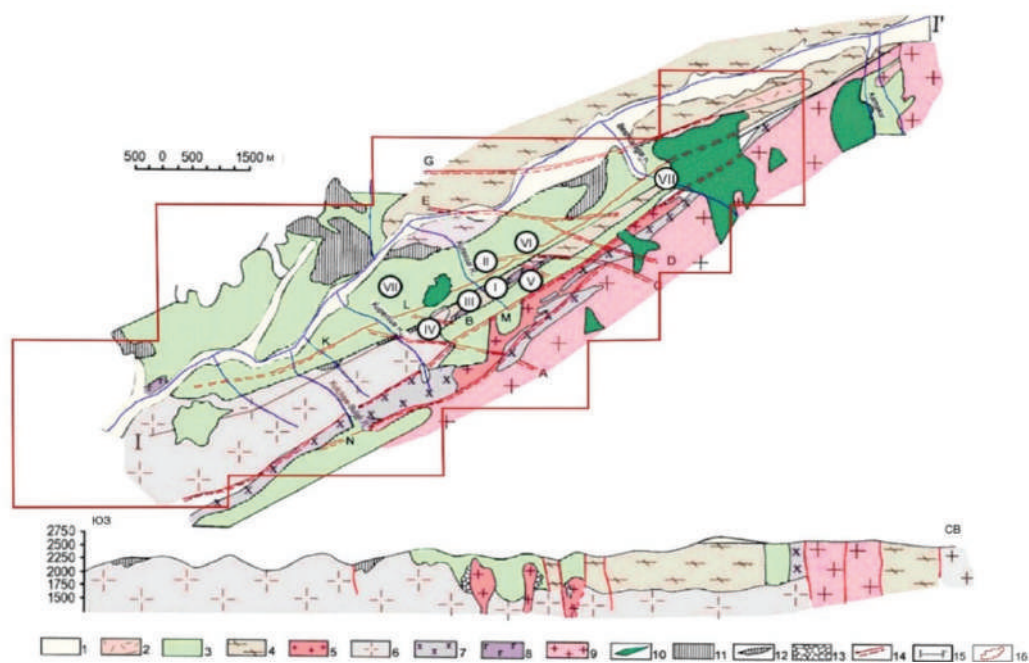


Рисунок 1 – Геологическая карта Актюзского рудного поля. (Составили: В.Ф. Ким и др., 2001 г.):

- 1 – четвертичные и современные отложения; 2 – кварцевые порфиры и их туфы среднего палеозоя (Pz);
- 3 – метаморфические сланцы и амфиболиты куперлисайской свиты протерозоя; 4 – гнейсы актюзской свиты архея; 5 – гранофиры; 6 – субщелочные лейкократовые граниты куперлисайского массива; 7 – сиениты;
- 8 – диориты и кварцевые диориты; 9 – гранодиориты и граниты; 10 – амфиболиты и габбро-амфиболиты;
- 11 – метагаббро и метагаббро-диабазы; 12 – кварцевые тела пострудные; 13 – тектонические нарушения;
- 14 – линия разреза. Месторождения: I – Кутессай-I; II – Кутессай-II; III – Кутессай-III; IV – Куперлисай;
- V – Калесай; VI – Актюз; VII – Кименская зона минерализации. Разломы: А – Западно-Куперлисайский;
- В – Восточно-Куперлисайский; С – Кутессайский; D – Чолонсайский; E – Анджилгийский;
- G – Актюз-Карабатнакский; L – Рудный; K – Кварцевый; M – Южный; N – Сиенитовый

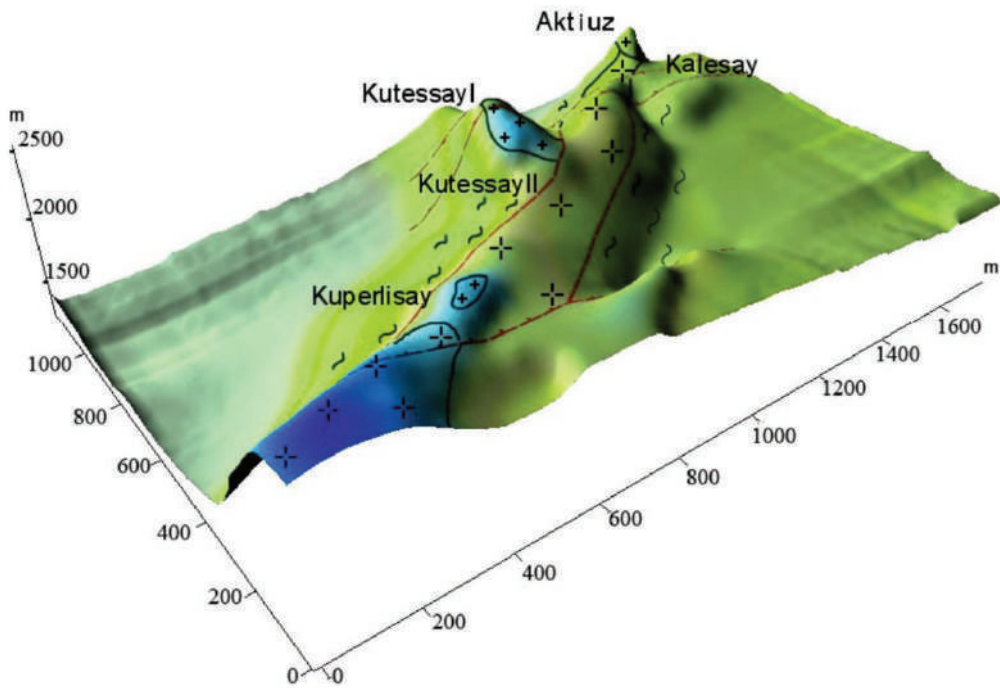


Рисунок 2 – Структура размещения месторождений в Актюзском рудном поле и рудоносных гранофиров, секущих Куперлисайскую трещинную интрузию

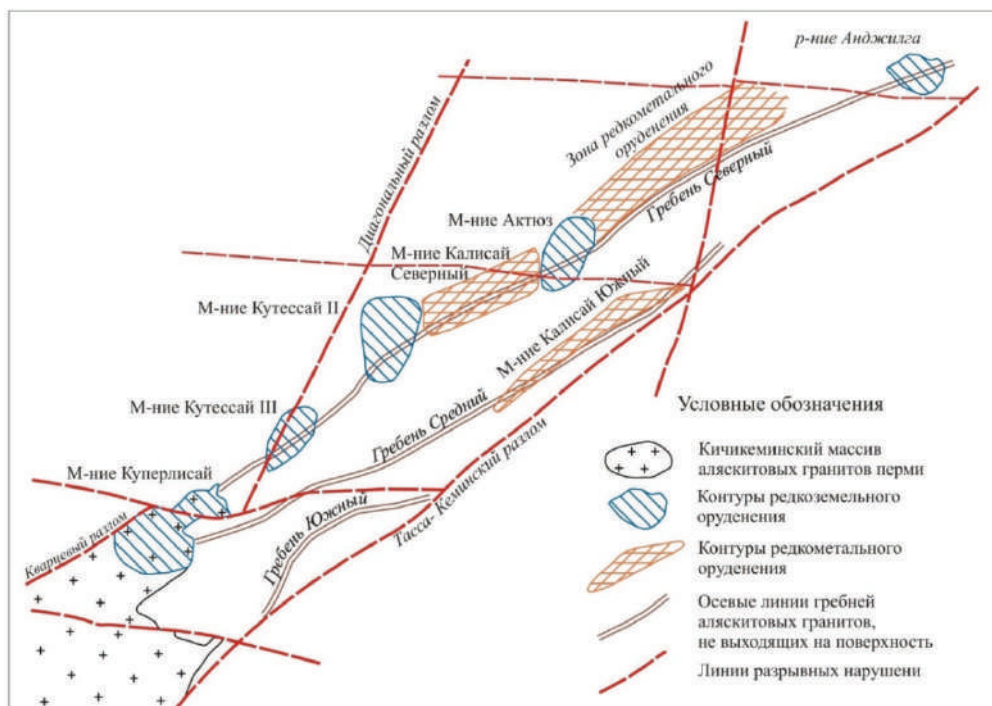


Рисунок 3 – Схема размещения оруденения в Актюзском рудном поле

приурочены к гранофировым штокам и рудно-экспозивным трубчатым сооружениям, сформированных в приповерхностных условиях.

Месторождение Актюз ($P3Э-Th-Pb$) представлено комплексными рудами (в основном это полиметаллы с серебром, индием и кадмием, редкие земли, олово, молибден, торий, уран и др.), которые совмещены в контуре рудного штока.

Площадь Актюзской антиклинали вытянута в С-В направлении и погружается к Ю-З. Сводовая часть сложена породами актюзской свиты, а крылья – зелёными амфиболовыми сланцами куперлисейской свиты. С погружением оси ширина свода сужается от 450 до 20 м. Крылья антиклинали падают круто на Ю-В и С-З под углами 50–60° до 70–80°. Южные крылья обычно более пологие. Осевая плоскость антиклинали наклонена к С-З.

На площади рудного поля широко проявились тела эруптивных брекчий, которые связываются с внедрением щелочных лейкократовых гранитов (P_2-T), и штоков гранофиров, гранит-порфиров, аплитов, альбититов. В плане трубчатые тела имеют изометричную или эллипсоидную форму и характеризуются различно ориентированной сланцеватостью внутри блоков. Длинная ось горизонтального сечения трубки (размеры от 70–80 до 190 м) ориентирована в С-В направлении, и почти совпадает со сланцеватостью вмещающих амфиболовых сланцев и гнейсов. Падение трубчатых тел крутое (до 85°), которые прослежены на глубину до 500 м.

По структуре месторождение Актюз представляет собой слепой гранофировый «шток», по морфологии отвечающий этмолиту, локализованный в амфиболовых сланцах северного крыла Актюзской антиклинали и сопровождаемый сланцевыми брекчиями (рисунок 4). В приповерхностной части гранофиры образуют несколько разобъённых линзовидных тел, разделённых сланцевыми брекчиями, занимая суммарную площадь порядка 150 м². На более глубоких горизонтах площадь гранофирового тела резко увеличивается и занимает более 9450 м², при общей длине 135 м и средней мощности 70 м. На нижних горизонтах площадь гранофиров резко сокращается (до 500 м²) и здесь доминирующее значение приобретают в основном роговики и сланцевые брекчии (рисунок 5) с обломками от 1,0 см до 3,0 м и с различной ориентировкой сланцеватости. Обломки сланцев сцементированы гранофиром, полевым шпатом, эпидот-скарновым материалом.

В самих штоках гранофиров рудная минерализация размещена зонально [2, 3, 4]. В верхней части наблюдаются неправильной формы тела окварцованных сульфидсодержащих пород. Ниже расположены кварц-ортоклаз-биотит-хлоритовые, кварц-хлоритовые, кварц-серицитовые метасоматиты, грейзеины, альбититы с редкометальной минерализацией.

В пределах брекчированной полости, как наиболее проницаемой структуры, проявились наиболее интенсивные процессы гидротермального изменения. Формирование рудной минерализации происходило многостадийно. Биотитовые роговики в виде брекчий распространены только на глубоких горизонтах висячем боку «Рудного штока». Мелкие обломки роговиков цементируются кварцем, полевым шпатом и гранофиром. В роговиках отмечается промышленное содержание Pb, Zn, Sn и Mo, проявлена минерализация в виде вкрапленности, гнезд и полосчатых прожилковых образований рудных минералов. Гранофиры висячем боку в пределах брекчированной полости подверглись интенсивным изменениям: окварцеванию, серицитизации, хлоритизации и формированию рудной минерализации. В центральной части штока розовые гранофиры представлены ортоклазитами, кварц-серицит-хлоритовыми метасоматитами, а в апикальных частях и висячем боку штока, появляются существенно кварцевые образования.

В ортоклазитах развита редкоземельная, ториевая и убогая полиметаллическая минерализация (Pb – 0,3–0,7 %). Кварц-серицит-хлоритовые метасоматиты, кроме редких земель и тория, характеризуются присутствием промышленной полиметаллической минерализации (содержание свинца 0,8–2,0 %). Существенно кварцевые метасоматиты представлены богатыми комплексными (Pb, Zn, Sn, STR, Th, Mo) промышленными рудами.

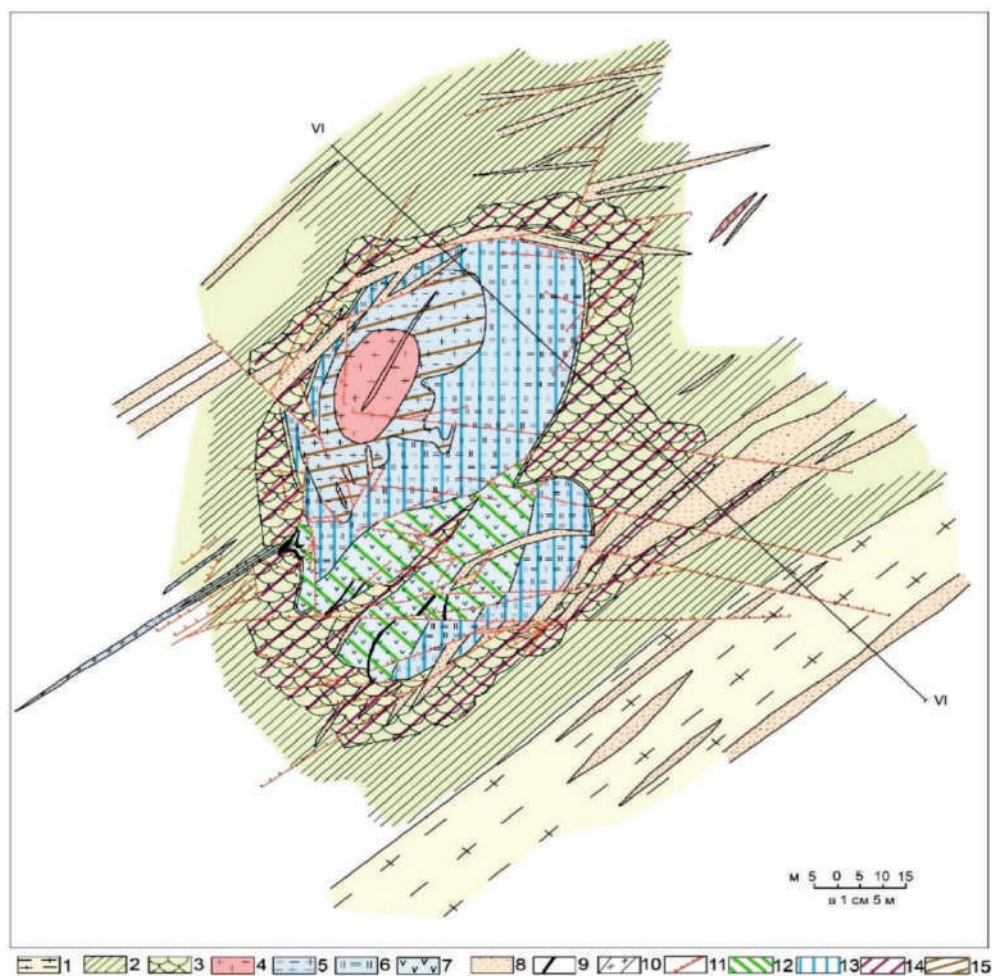


Рисунок 4 – Геологический план горизонта 2514 м месторождения Актюз.
(Составители: Н.Н. Малюкова, В.Ф. Ким. 2007 г.): 1 – парагнейсы; 2 – зеленые амфиболовые сланцы;
3 – брекчии, сцементированные гранофиром; 4 – розовые гранофиры; 5 – кварц-серцитовые метасоматиты;
6 – кварц-серцит-хлоритовые метасоматиты; 7 – руды типа вторичных кварцитов;
8 – диабазовые и диоритовые порфириды; 9 – сульфидно-кварцевые жилы, слегка хлоритизированные;
10 – аплитовые прожилки; 11 – тектонические нарушения; 12 – контуры промышленных полиметаллических
жил; 13 – контуры промышленных редкоземельно-полиметаллических руд;
14 – контуры промышленных редкоземельных руд; 15 – контуры ториево-циркониевых руд

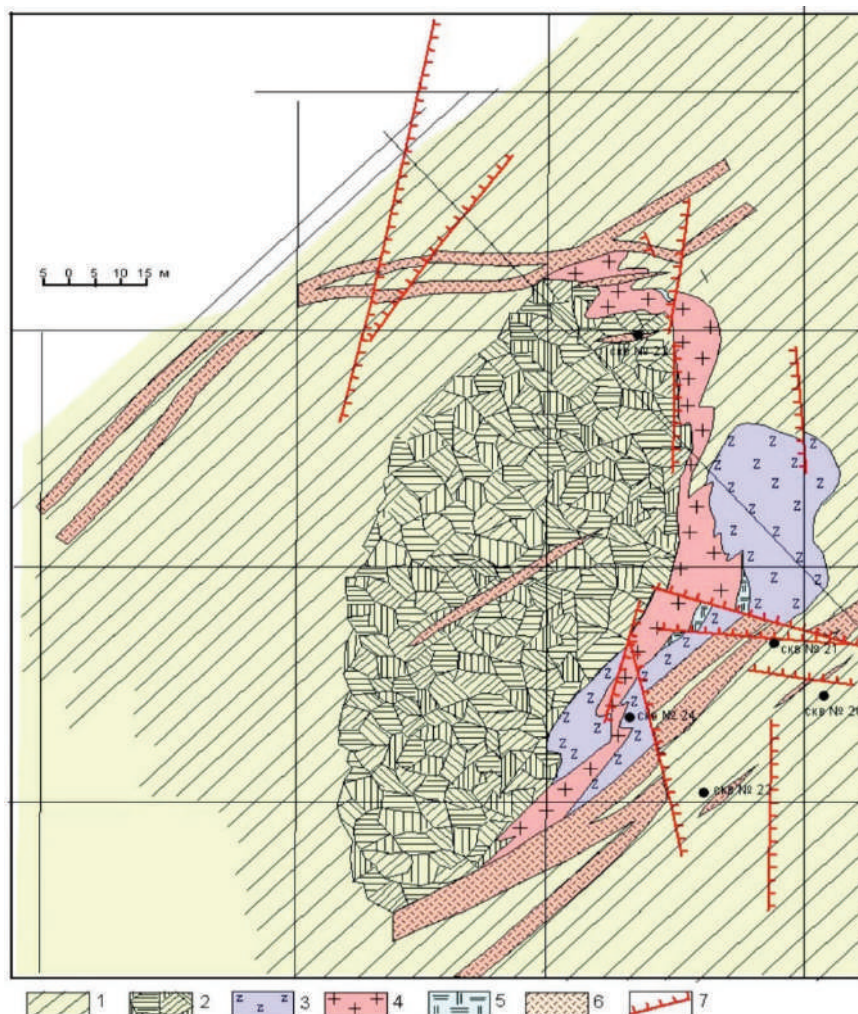


Рисунок 5 – Геологический план горизонта 2314 м месторождения Актюз.
 (Составили: Н.Н. Малюкова, В.Ф. Ким, 2007 г.): 1 – зеленые амфибильные сланцы;
 2 – брекчированные зеленые амфибильные сланцы; 3 – биотитовые роговики; 4 – розовые гранофиры;
 5–6 – диабазовые и диоритовые порфириты; 7 – тектонические нарушения

Эллипсовидный в горизонтальных сечениях рудный шток с редкоземельным оруденением вытянут в северо-восточном направлении. Глубина промышленного редкоземельного оруденения прослеживается на 320 м. Такие элементы, как Pb, Sn, Th, Mo образуют различные промышленные контуры, нередко совмещенные друг с другом, и в целом вписываются в редкоземельный контур.

Кроме отмеченного выше «Рудного штока», на месторождении по морфологии выделяются еще и рудные жилы, слепые рудные линзы, брекчированные тела неправильной формы и линейный шток-верк. Они отличаются весьма богатой сульфидной минерализацией с богатыми комплексными (Sn, Pb, Zn, ΣTR, Th) рудами.

Ранее авторами [4, 5], исходя из характера проявления метасоматических процессов, особенностей внутреннего строения рудного тела, распределения разнотипного промышленного оруденения в брекчированной полости, были выделены и описаны *фронтальная* (2550–2590 м), *прифронтальная*

(2474–2550 м), *промежуточная* (2393–2474 м) и *тыловая* (2213–2393 м) зоны. Каждый уровень характеризуется определенным типом рудной минерализации: (1) *кварц-сульфидная в дробленых сланцах*; (2) *редкометальная в серых измененных гранофирах*; (3) *редкоземельная в брекчированных зеленых амфиболовых сланцах и биотитовых роговиках*.

Руда в амфиболовых сланцах характерна для верхних горизонтов месторождения и в общем балансе запасов составляет 5–7 %, в гранофирах широко распространена и прослеживается на всех горизонтах месторождения. На горизонте 2514 м в гранофировом штоке мы имеем наиболее обогащенные участки. Высокие концентрации ториевого и редкоземельного оруденения в гранофирах в общем балансе запасов, руда составляет 45–50 %. В биотитовых роговиках рудная составляющая появляется на горизонте 2500 м и с глубиной увеличиваются, достигая максимума на горизонте 2354 м. В отличие от полиметаллического оруденения в сланцах, в биотитовых роговиках наблюдаются многокомпонентное промышленное оруденение (свинец, цинк, олово, медь, торий, редкие земли и молибден).

С горизонта 2431 м на глубину рудные тела с промышленным содержанием свинца теряют штокообразную форму залегания: гранофировые тела приобретают вытянутые в северо-восточном направлении линзовидные формы, с постепенным уменьшением размеров штоков гранофиров. Однако в этом направлении происходит увеличение размера брекчированных и дробленых зеленых амфиболовых сланцев и биотитовых роговиков с редкоземельной и молибденовой минерализацией (рисунок 5).

С глубиной содержание свинца, цинка и меди падает. Особенно резко уменьшается содержание свинца. Отношение свинца к цинку на верхних горизонтах составляло в среднем 2:1, а на горизонте капитальной штольни (2354 м) это отношение составило 1:1. С глубиной богатые полиметаллические руды становятся бедными. Однако содержание олова с глубиной стабильно сохраняется и тесно связано с наличием метасоматически измененных гранофиров.

Что касается редкоземельной минерализации, то с глубиной размеры рудных тел резко расширяются. Основными локализаторами этих руд являются брекчии биотитовых роговиков и зеленых амфиболовых сланцев с аплитовым и гранофировым цементом.

Руды представляют комплекс промышленных компонентов: Pb, Zn, Th, PЗЭ, Mo, Sn, Ag, In, Cd и Be. На верхних горизонтах (2514 м) содержания Pb – 9,4–16,17 %, Zn – 4,0–14,0 %, Cu – 0,92 %, Sn – 0,5 %, Th – 0,1 % наиболее высокие и постепенно снижаются до горизонта 2280 м. Цериевая группа (92,32 %) преобладает над иттриевой (9,68 %) от суммы редких земель. Среднее содержание ΣTR по месторождению – 0,58 %. Попутными промышленными компонентами являются: Ag, In, Cd, и U.

Месторождение Кутессай-II (PЗЭ-Th-Nb-Ta) расположено в центральной части Актюзского рудного поля (рисунки 1–3). В структурном отношении оно приурочено к трубчатым телам брекчированных пород, размещенных в толще протерозойских зеленых амфиболовых сланцев куперлисайской свиты, вблизи их контакта с протерозойскими гнейсами актюзской свиты. Гнейсы и сланцы прорваны штокообразными телами гранофиров и жильными породами – ортоклазитами, альбититами, аплитами, андезитовыми и диабазовыми порфиритами. Гидротермально измененные породы представлены кварц-серицитовыми, кварц-хлорит-серицитовыми и кварц-хлоритовыми метасоматитами, окварцованными породами типа вторичных кварцитов и контактными амфибол-пироксеновыми и оруденелыми биотит-хлоритовыми роговиками и т. д. Все они расположены в пределах брекчиевых трубок.

На месторождении выявлено две трубки. Наиболее крупная по своим параметрам – приповерхностная Центральная является основным концентратором редкоземельного оруденения. Слепая трубка Северная имеет меньшие размеры. С глубиной, сохраняя крутое падение до 70–75°, размеры обеих трубок увеличиваются. По данным бурения обе трубки на глубине соединяются в единое крупное тело. На верхних горизонтах размер Центральной трубки составляют 90×40 м, а на горизонте 2353 м она достигает 300×200 м. Центральная часть этих тел сложена слабо измененными гранофирами, которые окаймляются кольцеобразными зонами кварц-серицитовых, кварц-хлорит-серицитовых и кварц-хлоритовых пород [6].

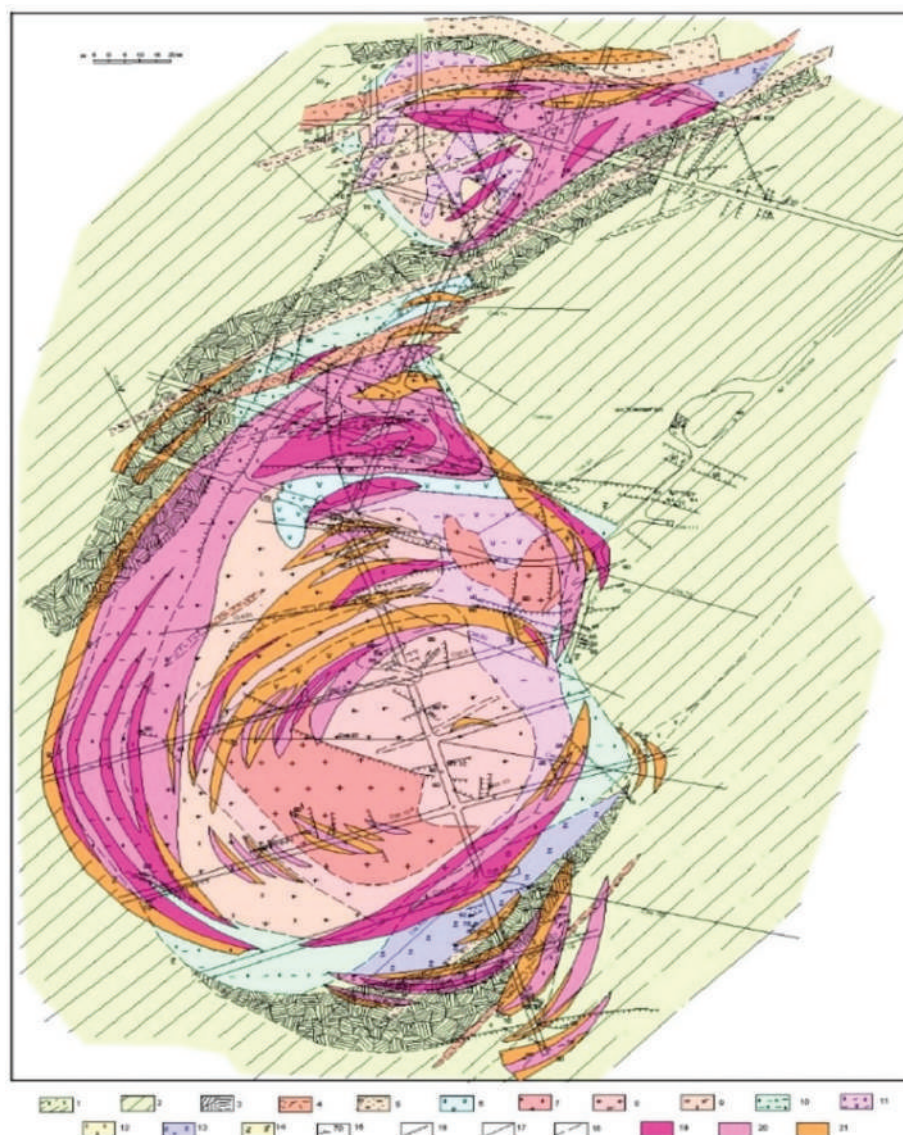


Рисунок 6 – Схема расположения редкоземельной минерализации на горизонте 2353 м месторождения Кутессай II. (Составители: Н.Н. Малоюкова, В.Ф. Ким, 2004 г.): 1 – гнейсы; 2 – зеленые амфиболовые сланцы; 3 – брекчированные амфиболовые сланцы; 4 – диабазовые порфириты; 5 – андезитовые порфириты; 6 – догранофировый кварц; 7 – гранофиры; 8 – кварц-серцитовый метасоматит; 9 – кварц-хлорит-серцитовый метасоматит; 10 – кварц-хлоритовый метасоматит; 11 – вторичный кварц; 12 – кварц-полевошпатовый метасоматит по гнейсу; 13 – биотит-хлоритовые и биотитовые роговики; 14 – контактовые роговики; 15 – элементы залегания; 16 – тектонические нарушения; 17 – прослеженные контакты пород; 18 – интерполированные контакты пород; 19 – участки с содержанием карбонатов и фтор-карбонатов редких земель более 1%; 20 – участки с содержанием карбонатов и фтор-карбонатов редких земель более 0,01 до 0,1%; 21 – участки с содержанием карбонатов и фтор-карбонатов редких земель более 0,01 до 0,01 %

Висячие бока штоков представлены окварцованными породами типа вторичных кварцитов, которые на верхних горизонтах составляют около 40–45 % объема пород. Местами наблюдаются линзовидные обособления мономинерального кварца (именуемые как силекситы). Трубочатое брекчиевое тело приурочено к наиболее ослабленным участкам пород – к узлу пересечения С-В разломов с широтными и С-З. [6, 7, 8].

Характерная приуроченность оруденения к ослабленным кольцевым и полукольцевым структурам выявляет определенную зональность: в центральной части трубки располагается в основном Zr, Th и Ta-Nb, а в периферических частях – редкоземельная минерализация [6–8].

Полиметаллическая минерализация, образовавшаяся в наиболее поздние стадии рудоотложения, размещается в апикальных частях и висячем боку брекчиевой трубки вдоль линейных ослабленных структур С-В простираения. Пострудная, кварц-кальцитовая и кварц-флюоритовая минерализация наблюдается в виде выполнений открытых линейных трещин С-З и С-В простираения.

В зеленых амфиболовых сланцах, по мере приближения к рудным телам, значительно увеличиваются серицитизация, хлоритизация, биотитизация, окварцевание, флюоритизация, карбонатизация и эпидотизация. Вблизи контактов с рудными телами в них встречаются единичные зерна итробастнезита, циртолита, ферриторита, касситерита, малакона и магнетита. По мере удаления от рудных тел эти минералы полностью исчезают, в связи с чем, брекчированные и гидротермально-измененные зеленые амфиболовые сланцы редко содержат промышленные количества РЗЭ. Они составляют, в основном, забалансовые руды.

По вертикали на месторождении Кутессай-II выделены: верхнерудная (гор. 2503–2390 м), среднерудная (гор. 2390–2293 м) и нижнерудная (гор. 2293–2213 м) зоны [2].

Верхнерудный горизонт представлен в основном окварцованными породами типа вторичных кварцитов, кварц-хлорит-биотитовыми метасоматитами, кварц-серицитовыми породами с промышленными содержаниями полиметаллической и редкоземельной минерализации (фториды, фосфаты, карбонаты и фторкарбонаты редких земель).

Среднерудный уровень представлен наибольшим разнообразием измененных пород, кварц-хлоритовыми и кварц-хлорит-серицитовыми метасоматитами, окварцованными породами типа вторичных кварцитов, кварц-хлорит-биотитовыми породами, силекситами и слабо измененными гранофирами. В этом горизонте сконцентрированы основные запасы промышленных редкоземельных (в основном карбонаты и фторкарбонаты редких земель) и циркониевых (циртолит) руд.

В нижнерудном горизонте наиболее широкое развитие получили рудоносные кварц-серицитовые и, в меньшей степени, кварц-хлоритовые метасоматиты. Здесь появляются силикаты редких земель (колумбит, танталит), в основном на участках развития кварц-серицит-мусковитовых пород.

Таким образом, *верхние горизонты* характеризуются фосфатно-карбонатной редкоземельной минерализацией (монацит, бастнезит, паризит и др.), *ниже* – карбонатно-силикатной (карбонаты редких земель, циртолит, ферриторит и др.), и на *самых нижних горизонтах* преобладают силикаты редких земель (циртолит, ферриторит).

Помимо основных промышленных редкоземельных руд на месторождении Кутессай-II, присутствует ряд попутных элементов, представляющих промышленный интерес: Mo, Ag, Sn, W, Be, Zr, Pb, Cu, Zn, Hf, Ta, Nb. С глубиной наблюдается тенденция увеличения содержаний Zr, Sn, Hf, Ta, и Nb.

Трещинно-брекчиевые структуры. По условиям формирования различных типов метасоматически измененных пород и размещения в них продуктивной минерализации, прослеживается возрастная и пространственная связь. Наиболее продуктивным и благоприятным вмещающим, четко контролирующим оруденение на месторождениях Актюзского рудного поля, являются трещинно-брекчиевые структуры, которые представлены сложной, но единой системой слагающих ее элементов. Внедрению гранофировых штоков предшествовало формирование колонны брекчиевых трубок, которые после разрушения вмещающих пород (в данном случае зеленых амфиболовых сланцев) в последующем

явились проницаемыми трещинно-брекчиевыми структурами для формирования закономерно расположенных в них зон метасоматически измененных пород с рудной минерализацией.

Формирование таких структурных особенностей на месторождениях Актюз и Кутессай-II с трещинно-брекчиевыми телами следует связывать с эндогенными тектоническими процессами, и с последовательно развивающимися событиями внедрения разновозрастных интрузивных тел и гидротермальных растворов. Брекчиевые тела, являющиеся областями разуплотнения пород, в последующем играли основную роль при внедрении гранофировых штоков, разновозрастных даек, формировании интенсивных метасоматических процессов и рудоотложения. Они относятся к структурам центрального типа. Такие структуры довольно широко развиты в природе и могут представлять собой вместилища не только рудных образований. Такие области разуплотнения пород хорошо объясняются волновым механизмом передачи энергии в недрах земли и формированием трещинно-брекчиевых структур.

Механизмы таких явлений описаны еще в 1943 г. В.А. Апродовым [9], позднее А.И. Петровым [10] и связывались с эпизодическим высвобождением огромной энергии (по существу ударных волн) в недрах Земли. Дальнейшее развитие этих идей были продолжены и углублены В.В. Богацким, который описал аналогичные образования для магнетитовых месторождений Сибирской платформы [11, 12]. Позднее такие структуры обсуждались с позиции механизма передачи энергии и появления трещинно-брекчиевых зон для медно-порфировых месторождений Тянь-Шаня [13].

Образования трещинно-брекчиевых структур В.В. Богацким рассматривались как трехмерные области разуплотнения пород, которые формировались в условиях растяжения при волновом механизме передачи энергии. Схема проста: поскольку земные блоки чаще всего по своему строению анизотропны и имеют границы раздела, то в анизотропной среде на границах раздела сред упругие волны будут подвергаться преломлению и отражению. При отражении волн напряжения от дневной поверхности Земли или в любой слоистой среде будет формироваться встречный фронт волн. При сложении волн происходит интерференция, а в случае, если интерферируют волны, равные по длине и фазе, возникает резонанс. И там, где энергия резонанса выше сопротивления среды на разрыв, возникают трещинно-брекчиевые зоны. Интерференция волновых фронтов приводит к формированию каркасных резонансных зон, состоящих из взаимоортогональных (субгоризонтальных и субвертикальных), а также промежуточных наклонных трещинно-брекчиевых зон. Аналогичные трещинные зоны были получены Райнхартом и Пирсоном [14] при взрыве цилиндрического заряда на стальной пластине (рисунок 7). На представленной модели проницаемые трещинно-брекчиевые тела (горизонтальные, вертикальные, наклонные) отвечают гомологическому ряду. В данном случае, члены этого ряда в природе могут появляться как совместные или отдельные образования: конические, концентрические, субгоризонтальные, субвертикальные и радиальные структурные элементы.



Рисунок 7 – Поперечное сечение стальной пластины, показывающее систему сколов, возникших в результате ударной волны (снизу) (по Rinehart, Pearson, 1954)

Однако из большого разнообразия источников энергии и связанных с ними тектонических процессов, в случае месторождений Актюз и Кутессай-II, следует остановиться на формировании трещинно-брекчиевых структур, сформированных при внедрении агрессивных флюидно-газообразных потоков с высоким содержанием летучих компонентов (P, F, Cl, B, CO₂, H₂, N₂, P и др.). В данном случае это может быть обусловлено внедрением газо-насыщенных флюидов рудоносной системы в приповерхностные слои земной коры и спонтанной разрядки мощной энергии с генерацией резонансной волны, несущей с собой энергию при распространении в земном блоке. В таком случае формируется система брекчиевых трубок, т. е. ослабленные зоны, в которые внедряются штоки интрузивных пород, кольцевых и секущих даек среднего, субщелочного и кислого состава. В структуре Тянь-Шаня трещинно-брекчиевые тела представлены довольно широко. Они образуют структуры центрального типа, с закономерно расположенными структурными элементами, явившихся в последующем благоприятным вмещением оруденения. Тела эруптивных брекчий в данном случае относятся к дорудным и интратрудным образованиям, поскольку гранофиры, в некоторых случаях являются цементом брекчий, на других участках – обломочным брекчиевым материалом.

Таким образом, формирование структур и закономерное размещение рудного материала на месторождениях Актюз и Кутессай-II могут хорошо объясняться с позиции реализации волнового механизма передачи энергии с формированием структурных элементов и зональным размещением рудоносных метасоматических ассоциаций и рудной минерализации. Формирование субвертикальных проницаемых структур, в частности, структур воронкообразной формы, в данном случае характерно для месторождения Актюз, где гранофировый «шток» по морфологии отвечает этмолиту.

При воздействии ударных тектонических процессов на месторождениях Актюзского рудного поля формировались рудоносные структуры с характерным набором определенных структурных элементов, таких как брекчиевая трубка, гранофировый шток, кольцеобразно расположенные зоны метасоматических пород и концентрически зональное размещение рудной минерализации. Трубообразные тела эруптивных брекчий и гранофировый шток занимают центральную часть в концентрической зональности метасоматически измененных пород. Стволовая структура (отвечающая эллипсоиду деформации), заполненная брекчированными породами и интрузией, а также сопровождающие их кольцевые и дугообразные зоны метасоматических пород и рудной минерализации, хорошо выделяются на различных горизонтах. Весь комплекс измененных пород и их пространственное положение характеризуют наличие зональности вокруг гранофирового штока внутри эруптивной трубки [15].

Представленные здесь стволовые структуры отвечают поверхностям растяжения и благоприятны для внедрения магмы, а существующие геологические тела и рудная минерализация соответствуют различным уровням гидротермальной системы. Исходя из характера проявления метасоматических процессов, особенностей внутреннего строения рудного тела, распределения разнотипного промышленного оруденения в брекчированной полости, они определены для месторождений Актюз и Кутессай-II как фронтальная, прифронтальная, промежуточная и тыловая зоны.

Поступила: 17.10.22; рецензирована: 28.10.22; принята: 31.10.22.

Литература

1. Бакиров А.Б. Возраст древних пород в Тянь-Шане / А.Б. Бакиров, В.Г. Королев // Известия Академии наук СССР. Сер. геол. 1979. № 7. С. 144–146.
2. Малюкова Н.Н. Установление зональности при комплексной обработке редкоземельного оруденения на месторождении Актюз / Н.Н. Малюкова, В.Ф. Ким // Вестник КPCY. 2009. Т. 9. № 11.
3. Malukova N. Zoning in the disposal of polymetallic-rare-earth molybdenum, zirconium, beryllium and tantaloniobium mineralization in the Ak-Tyuz ore deposits (the Northern Tien-Shan) / N. Malukova, V. Kim et. al. // Mineral deposit research: Meeting the Global Challenge. Vol. 2. China, 2005. Pp. 1323–1326.
4. Djenchuraeva R.D. Metallogeny and geodynamics of the Aktiuz-Boordu Mining District, Northern Tien Shan, Kyrgyzstan / R.D. Djenchuraeva, F.I. Borisov, N.T. Pak, N.N. Malyukova // Journal of Asian Earth Sciences, Special Issue on Geodynamics and Metallogeny of the Altai Orogen. 2008. Vol. 32. Iss. 2–4, Pp. 280–299.

5. *Дженчураева Р.Д.* Актюз-Боординский золото-редкометально-редкоземельно-полиметаллический рудный район в Северном Тянь-Шане (геодинамика, металлогения и модель формирования) / Р.Д. Дженчураева // Крупные рудные провинции Центральной Азии: докл. геологов Центральной Азии (МГК-33, Осло). 2008. С. 272–292.
6. *Ким В.Ф.* Особенности внутреннего строения, формирования и распределения редкометальной минерализации месторождения Кутессай II: дис. ... канд. геол.-минер. наук / В.Ф. Ким. Фрунзе, 1965.
7. Экономическая оценка комплексного освоения редкометально-полиметаллического-редкоземельного месторождения Кутессай-II // Отчет НИЦ КРСУ «Перспективные технологии и материалы» Управление науки МОиМП КР. Бишкек, 2005. 46 с.
8. Распределение минеральных типов руд и содержаний редкоземельных элементов в месторождении Кутессай-II // Отчет по редкоземельным месторождениям Кутессай-II. Бишкек: КРСУ, 2011. 86 с.
9. *Апродов В.А.* Роль трещиноватости в поздние фазы формирования плутонов / В.А. Апродов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1943. № 3. С. 67–81.
10. *Петров А.И.* Особенности строения Печенгской структуры и размещения медно-никелевого оруденения / А.И. Петров // Геология рудных месторождений. 1977. Т. 19. № 5. С. 43–54.
11. *Богацкий В.В.* Механизм формирования структур рудных полей / В.В. Богацкий. М.: Недра, 1986. 89 с.
12. *Богацкий В.В.* Волновой механизм формирования рудо локализирующих структур магнетитовых месторождений Сибирской платформы / В.В. Богацкий // Геология рудных месторождений. 1977. Т. 19. № 3. С. 3–16.
13. *Дженчураева Р.Д.* Геодинамика, металлогения и рудогенез / Р.Д. Дженчураева. Бишкек: Илим, 2010. 223 с.
14. Rinehart Pearson. Mineralized breccia pipe complex Redwell, Colorado / Pearson Rinehart // Econ Geol. 1954. Vol. 73. № 3. Pp. 369–389.
15. Определение перспективы комплексной обработки редкометально-редкоземельно-полиметаллического месторождения Актюз // Отчет НИЦ КРСУ на тему «Перспективные технологии и материалы». Бишкек: МОиН КР, 2008. 45 с.