

УДК 553.411 (574)

© М.С.Рафаилович, В.Л.Лось, 2006

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗОЛОТА АКБАКАЙСКОГО ТИПА: МИНЕРАЛОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ, РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОЛОТА, ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВАЯ МОДЕЛЬ

**М.С.Рафаилович (Институт природных ресурсов ЮГГЕО, Республика Казахстан),
В.Л.Лось (Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья, Республика Казахстан)**

Рассматриваются геологическая позиция, состав метасоматических пород и руд, минералого-геохимическая зональность месторождений золота акбакайского типа. Охарактеризованы абстрактная модель крупного месторождения Акбакай и особенности статистического распределения концентраций золота. Выделены поисковые и оценочные критерии месторождений различной крупности.

Месторождение Акбакай — крупный золоторудный объект с высоким средним содержанием благородного металла (18,5 г/т), лидер среди объектов жильного золото-сульфидно-кварцевого геолого-промышленного типа в Казахстане. Это месторождение и его многочисленные средние и мелкие аналоги располагаются на юго-западной периферии Центрально-Казахстанского девонского вулканоплутонического пояса, локализуясь в Жельтауской металлогенической зоне в висячем боку регионального Жалаир-Найманского офиолитового шва северо-западного простирания. Месторождения зо-

лота акбакайского типа (МЗАТ) группируются в двух районах: собственно Акбакайском (Акбакай, Бескемпир, Аксакал, Кенжем, Карьерное, Светинское, Думан-Шуак, Кенгир, Алтынтас, Олимпийское и др.) и Майкабат-Алтынсайском (Майкабат, Алтынсай, Жаксы, Узунтас, Южно-Шабдарское и др.) [8]. Рудовмещающие породы — терригенные осадки верхнего ордовика (дуланкаринская, андеркенская, куяндинская свиты) и девонские малые интрузивы диорит-гранодиоритов (кызылжартасский комплекс). Вулканогенно-терригенные образования девонского возраста распространены ограниченно.

Прифронтальная зона Б характеризует верхний срез золотообразующей системы, наиболее богатый по запасам благородного металла. Оруденение локализовано в углеродистой алевролит-песчаниковой пачке позднего ордовика, интродуцированной крутопадающими малыми телами и дайками диорит-гранодиоритов. В магматитах и терригенных породах развиты березиты и березитоподобные метасоматиты с кварцем, серицитом, мусковитом, адуляром, карбонатами, пиритом, арсенопиритом. Руды отличаются телескопированностью золотопродуктивных ассоциаций, пестрым минеральным составом (полиметаллические сульфиды, разнообразие блеклые руды, сульфосоли Sb, Pb и Cu, самородные элементы), крупным, изменчивым по морфологии и пробности, самородным золотом, высокой геохимической неоднородностью главных сульфидов (пирита, арсенопирита, антимонита), несколькими генерациями золотоносного кварца. Вертикальный размах зоны 200–400 м.

Промежуточная зона В фиксирует среднее сечение золотообразующей системы. Вмещающие породы — отложения низов разреза углеродистой алевролит-песчаниковой пачки позднего ордовика. Наряду с секущими телами диорит-гранодиоритов, здесь нередки послойные силлообразные и седловидные интрузии с золотоносными жилами «лестничного» типа. Золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация — ведущая, золото-сульфосольная и золото-полиметаллическая выражены слабо. Минеральный состав руд — пирит, арсенопирит, теннантит, полиметаллические сульфиды, редко антимонит. Самородное золото крупное (до 5 мм), средне-высокопробное, с примесью As, Cu, Pb (до первых процентов). Пирит мышьяковистый (As до 1–2%), арсенопирит содержит повышенные концентрации Sb (0, n %). Протяженность зоны 200–400 м.

Тыловая зона Г, выполняющая корневую часть рудоносной системы, располагается в конгломерат-песчаниковой пачке позднего ордовика. Одиночные субпластовые мелкие интрузии, дайки диорит-гранодиоритов и золотоносные кварцевые жилы приурочены к крыльям локальных антиклиналей. Кварц массивный, высокотемпературный, с маломощной оторочкой гидротермально измененных пород (березиты, пропилиты). Рудные минералы — пирит, арсенопирит, полиметаллические сульфиды, теннантит, редко теллуриды. Количество сульфидов не более 2–3%. Самородное золото видимое (до 2–3 мм), высокопробное. Оруденение отличается простым элементным составом (чаще Au, As, Ag). Вертикальный размах зоны 200–500 м.

Совокупная рудно-магматическая система МЗАТ характеризуется высокоупорядоченной метасоматической, минеральной и геохимической зо-

нальностью, что способствует реставрации вертикального размаха колонны рудообразования, успешному решению поисковых и оценочных задач [8, 9].

«Сквозными типами гидротермальных изменений в МЗАТ являются березитовый и пропилитовый, подчиненное значение имеют альбитизация, турмалинизация, адуляризация, аргиллизация. Осевое положение в метасоматической колонке занимает стержневая кварцевая жила (система жил), обрамленная оторочкой синрудных березитов (кварц, серицит, мусковит, карбонат, пирит, арсенопирит). Ореол березитизации симметричен относительно осевой линии метасоматической колонки. Максимальная ширина березитов (до десятков метров) характерна для стволовой фации. В апикальной (А) и корневой (Г) фациях объемы березитизации резко сокращены. В зонах В и Г в березитах присутствуют анкерит, сидерит, турмалин и альбит.

Пропилиты подразделяются на региональные и локальные. Региональные пропилиты, обрамляющие золотоносную систему, имеют стандартный состав (хлорит, эпидот, кварц, кальцит, пирит). Локальные пропилиты проявлены в надрудной зоне А. В них присутствуют пириты {100}, {210}, {100}+{111}, содержащие тонкие эпигенетические включения самородного золота, арсенопирита, блеклой руды, сфалерита.

С завершающей стадией связаны кварц-адуляровая и кварц-каолиновая ассоциации. Первая ассоциация (с антимонитом и самородной сурьмой) тяготеет к березитам верхнерудной зоны, вторая расположена гипсометрически выше березитов.

В рудах акбакайского типа в различных сочетаниях проявлены четыре золотоносные минеральные ассоциации: ранняя вкрапленная золото-пирит-арсенопиритовая с тонкодисперсным Au I; поздние жильные золото-полиметаллическая и золото-сульфосольная с кварцем и свободным Au II; заключительная прожилковая золото-антимонит-киноварная с кварцем, баритом, кальцитом, марказитом, бертьеритом и мелким Au III (рис. 2).

Золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация (температура образования 370–270°C) ярко выражена в березитах промежуточной и прифронтальной зон. Метакристаллы пирита {100}, {210}, {100}+{210} содержат тонкодисперсное Au (десятки, реже сотни грамм на 1 т), As, Sb, Pb, Cu (до 0, n %), Ag (до сотен грамм на 1 т). Арсенопириту свойственны агрегативные скопления, короткостолбчатые призмы, тонкоигольчатые выделения с Au (сотни грамм на 1 т, иногда 1000 г/т), Ag (до 300 г/т), Sb (0, 1–1%).

Золото-полиметаллическая и золото-сульфосольная ассоциации формировались при температурах 290–200°C. В состав ассоциаций входят са-

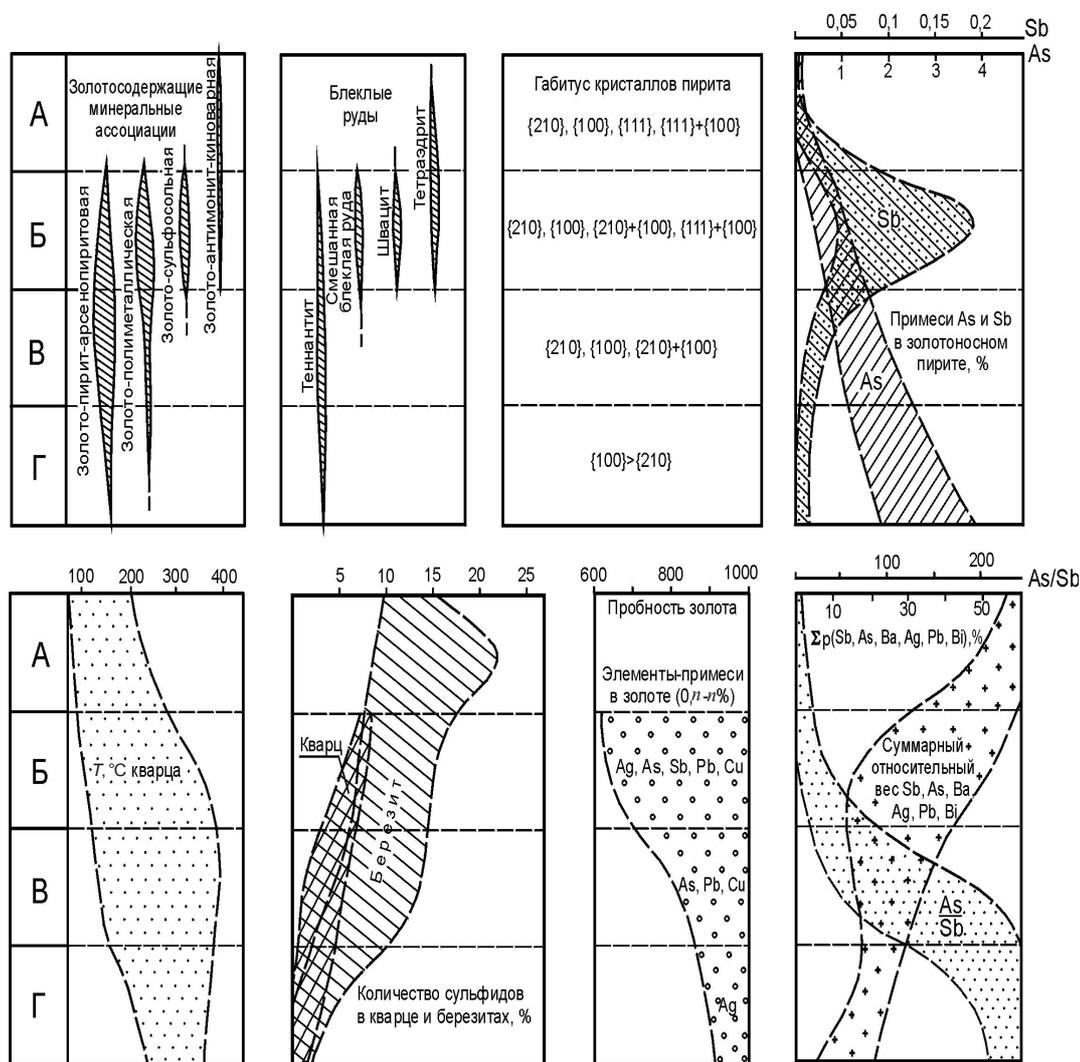


Рис. 2. Минералого-геохимическая зональность месторождений золота акбайкайского типа:

зоны: А — фронтальная, Б — прифронтальная, В — промежуточная, Г — тыловая

морозное золото, пирит, арсенопирит, блеклые руды, полиметаллические сульфиды, висмутин, буланжерит, джемсонит, бурнонит, самородные Au, Sb, Bi и другие минералы. Самородное золото зоны Б характеризуется повышенной крупностью (до 2–3, иногда 5–10 мм), широким диапазоном пробыности (<600–980), пестрым набором примесей (Ag, As, Pb, Sb, Hg, Cu). В промежуточной и тыловой зонах преобладает золото высокой пробы — соответственно 810–940 и 900–980.

Золото-антимонит-киноварная ассоциация (T 220–75°C) развита на верхних горизонтах. Основ-

ной рудный минерал — антимонит в гнездах, тонкопризматических кристаллах, спутанно-волокнистых и микропрожилковых образованиях. Примеси в антимоните — Au (не менее 10 г/т), Ag (до 100 г/т), As (0,1%), Pb, Zn, Cu, Co, Ni.

По вертикали, от зоны Г к зоне А, отмечаются отчетливые признаки минералого-геохимической зональности: регрессивная упорядоченность золотоносных ассоциаций с максимальным их выражением в зоне Б, смена ранних блеклых руд (теннантит, смешанная блеклая руда) поздними швацитом и тетраэдритом, усложнение кристаллографичес-

ких форм пирита, увеличение общего количества сульфидов в кварце и березитах, снижение температуры образования золотоносного кварца, количества мышьяка в золотоносном пирите, среднего As/Sb в рудах (см. рис. 2).

Абстрактная модель геохимической зональности, охватывающая весь рудоносный объем, выглядит следующим образом (снизу вверх): W, Mo, Sn → Ni, Co, Cr → Bi, As, Au I → Cu I, Zn, Pb I, Ag, Au II → Cu II, Pb II, Sb I, Hg I, Au II → Ba, Hg II, Sb II, Au III [8]. На уровне стволовой фации информативным показателем является отношение $(Au \cdot Pb)/(Co \cdot As)$, значения которого варьируют от

$1,5 \cdot 10^{-4}$ (зона В) до $3,0 \cdot 10^{-2}$ (зона Б) [12]. Среднее Sb/As меняется от $5 \cdot 10^{-3}$ в зоне Г до $n \cdot 10^1$ в зоне А. Суммарный относительный вес подвижных элементов (Sb, As, Ba, Ag, Pb, Bi) увеличивается от зоны Г (5–20%) к зоне А (более 40–50%). С абстрактной моделью МЗАТ хорошо коррелируют ряды вертикальной геохимической зональности конкретных месторождений. Ряд зональности месторождения Акбакай таков: Co-Cu-As-Sb-Ag-Au-Hg [12]. В Главной жиле месторождения Аксакал, вскрытой на глубину более 500 м, элементы распределены в аналогичной последовательности: W, Co, Cu - As, Zn, Pb - Sb, Ag, Au (рис. 3).

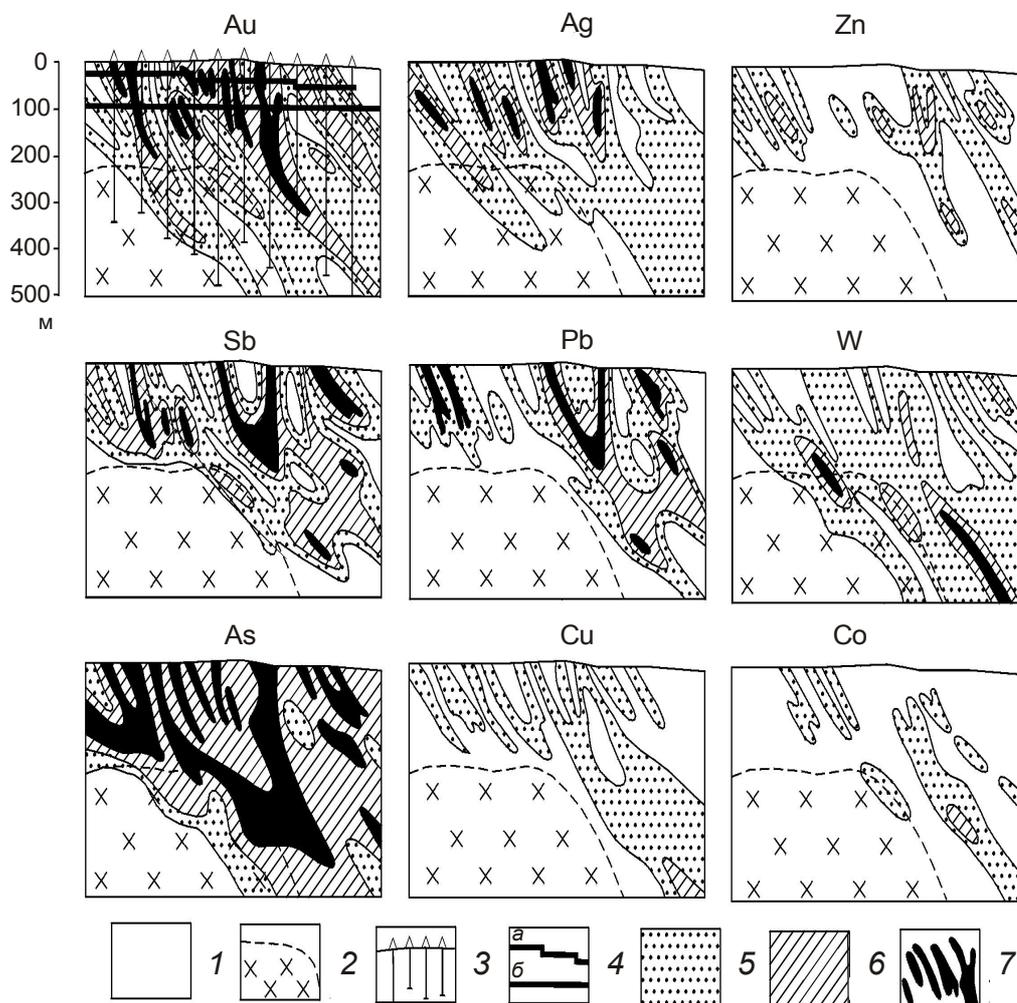


Рис. 3. Распределение золота и сопутствующих элементов в Главной жиле месторождения Аксакал (проекция на вертикальную плоскость), составлено М.С.Рафаиловичем по материалам Акбакайской ГРЭ:

рудовмещающие породы: 1 — верхнеордовикские углеродисто-терригенные образования, 2 — девонские диорит-гранодиориты; 3 — линии разведочных скважин; 4 — подземные выработки (а — горизонт шурфов, б — горизонт шахты); содержания элементов: 5 — Au 4,0–9,9 г/т, Ag 1,0–3,9 г/т, As 0,08–0,2%, Sb 0,01–0,025, Zn 0,02–0,05, Cu 0,01–0,025, Pb 0,015–0,045, W 0,0015–0,004, Co 0,003–0,005%; 6 — Au 10,0–24,9 г/т, Ag 4,0–9,9 г/т, As 0,25–0,75%, Sb 0,03–0,09, Zn 0,06–0,025, Cu 0,03–0,1, Pb 0,05–0,14, W 0,005–0,014, Co 0,006–0,015%; 7 — Au 25,0–100,0 г/т, Ag 10,0–30,0 г/т, As 0,8–2,0%, Sb 0,1–1,0, Pb 0,15–0,30, W 0,015–0,03%

Корреляционные связи элементов во многом определяются эрозионным срезом объектов. Слабоэродированные месторождения Акбакай, Аксакал и Кенжем отличаются высокими содержаниями и взаимной коррелятивностью Au, Sb, Ag, Pb и As — основных индикаторов кварц-сульфосольно-полиметаллической стадии. Глубокоэродированным мелким и очень мелким месторождениям свойственны низкие концентрации Sb, повышенная роль W, Mo и Sn, тесные связи в триаде Au-As-W (Олимпийское, Алтынтас, Алтынсай, Жаксы).

Эталонное месторождение Акбакай — «стержень» абстрактной модели МЗАТ. Его важнейшие оценочные параметры — статистическое распределение и пространственная изменчивость концентраций золота. При построении гистограмм статистического распределения использовались средневзвешенные содержания золота в пересечениях рудных тел. Выделение локальных минимумов и максимумов, обоснование полимодального распределения концентраций проводилось с помощью специально рассчитанной проверочной функции [3].

Структуру распределения концентраций золота изучали в шести пространственно сближенных жилах (рис. 4), включающих более 80% запасов мес-

торожения (жилы Главная, Юбилейная, Фроловская, Туkenовская, Пологая-1, Пологая-6). Гистограммы и параметры распределения концентраций золота приведены на рис. 5 и в табл. 1.

В жилах зафиксированы три основных уровня концентраций золота — *a*, *b* и *c*. Доминирующим для всех жил (65–90%) является уровень *a* с устойчивой модой 4–7 г/т. Наиболее часто встречающиеся в нем концентрации золота 4,36–9,12 г/т. От уровня *b* (20–120 г/т) он отделяется естественной границей 15–20 г/т.

В диапазоне уровня *b* структура распределения золота затуманена (в результате лавинообразного выпадения рудного вещества [2]), и здесь условно выделяются подуровни *b*₁ (мода 20–35 г/т) и *b*₂ (мода 50–90 г/т), разграниченные интервалом 30–50 г/т. Уровень *c*, соответствующий «ураганным» концентрациям золота (100–1000 г/т и более), от уровня *b* отделяется границей 100–150 г/т.

Повторяемость в жилах месторождения Акбакай одних и тех же «элементарных» уровней концентрации — следствие стационарного, самоорганизующегося развития рудоносной системы. Аналогичные проявления самоорганизации отмечаются и на других месторождениях золота [5, 6] и подтверждаются

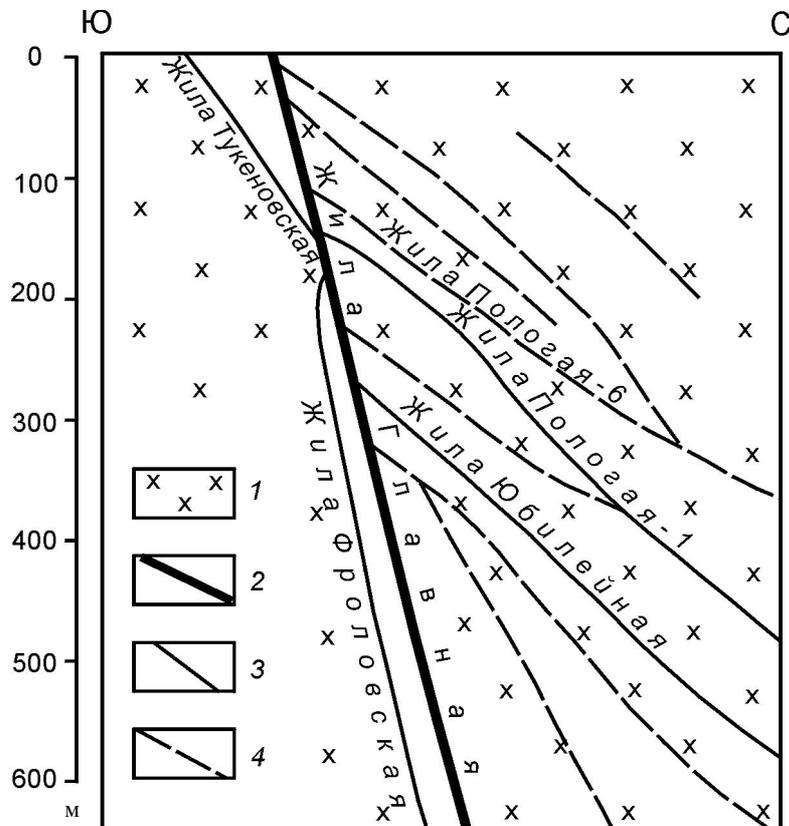


Рис. 4. Схема размещения золото-сульфидно-кварцевых жил в разрезе месторождения Акбакай, по [1]:

1 — диориты, гранодиориты; золотоносные жилы: 2 — Главная (Стержневая), 3 — основные, 4 — второстепенные

1. Структура статистического распределения концентраций золота в рудных жилах месторождения Акбакай

Рудные жилы	Параметры	Уровни и подуровни концентраций золота			
		<i>a</i>	<i>b</i> ₁	<i>b</i> ₂	<i>c</i>
Главная	Mo, г/т	7,08	35,5	89	250–500
	lg Mo	0,85	1,55	1,95	2,4–2,7
	<i>P</i> , %	67	16	12	5
	Границы между уровнями, г/т	20	60	120–200	
Юбилейная	Mo, г/т	5	25	40–60	125–800
	lg Mo	0,7	1,4	1,6–1,8	2,1–2,9
	<i>P</i> , %	79,0	9,2	6,8	5,0
	Границы между уровнями, г/т	16	30	80	
Фроловская	Mo, г/т	6,3	25	60	140–500
	lg Mo	0,8	1,4	1,8	2,15–2,7
	<i>P</i> , %	77,5	12,5	7,0	3,0
	Границы между уровнями, г/т	18	31	100	
Тукиновская	Mo, г/т	5,6	20	50	200–300
	lg Mo	0,75	1,3	1,7	2,3–2,5
	<i>P</i> , %	83,4	7,5	7,5	1,6
	Границы между уровнями, г/т	15	35	125	
Пологая-1	Mo, г/т	5,6	25	80	100–140
	lg Mo	0,75	1,4	1,9	2,2–2,6
	<i>P</i> , %	83,5	10	5,0	1,5
	Границы между уровнями, г/т	20	40	120	
Пологая-6	Mo, г/т	6,3	45	?	
	lg Mo	0,8	1,65	?	
	<i>P</i> , %	93,2	6,2	0,6	
	Границы между уровнями, г/т	20	110		

Примечание. Mo — модальные значения концентраций Au «элементарных» распределений (уровней); *P* — «вес» (доля) проб каждого уровня.

материалами компьютерного моделирования рудообразующих гидротермальных процессов [4].

Прикладной аспект изучения структуры распределения золота заключается в определении границ экономически рентабельного оруденения, обосновании качества (сортности) рудных тел и последовательности их отработки. С учетом полимодального распределения главного металла на месторождении Акбакай выделяются следующие сорта руд: Au менее 2 г/т — забалансовые; Au 2–20 г/т — рядовые; Au 20–120 г/т — с повышенными содержаниями (рудные столбы первого порядка); Au более 120 г/т — богатые (рудные столбы второго и третьего порядков).

Пространственная изменчивость концентраций золота подразделяется на локальную и общую. Локальная изменчивость оценивалась с помощью вариограмм, общая — по фрактальной размерности (градиентам поля концентраций). При построении вариограмм концентраций Au во всех жилах наблюдался очень высокий эффект «самородков» (60–100% от дисперсии), при котором локальная изменчивость затушевывает изменчивость более низких порядков. Для расчета «радиуса влияния»

отдельных пересечений вариограммы строились по модельным, несколько сглаженным значениям концентраций Au (эффективный радиус сглаживания 1 м). Для этих условий «радиус влияния» концентраций Au в рудных пересечениях составил 5–16 м, в отдельных выборках наметилась зона влияния 20–30 м. В среднем примерно на 100 вариограмм были получены следующие значения «радиусов влияния», м: для участков с преобладанием уровня концентраций *a* — 11–12, уровня *b* — 9–10, уровня *c* — 8–9.

Оценка общей изменчивости концентраций Au основывалась на вычислении фрактальной размерности поля градиентов:

$$G[C(\text{Au}); L] = L^{1-D}$$

где *G* — градиент концентраций Au при среднем расстоянии между точками опробования *L*; *D* — показатель фрактальной размерности [11].

На графиках lg *G* – lg *L* тангенс наклона линии равен 1–*D*. Величина *D* меняется от 1 до 2. По градиентам концентраций Au, замеренным в жиле Главная, во всех случаях, включая участки богатых и от-

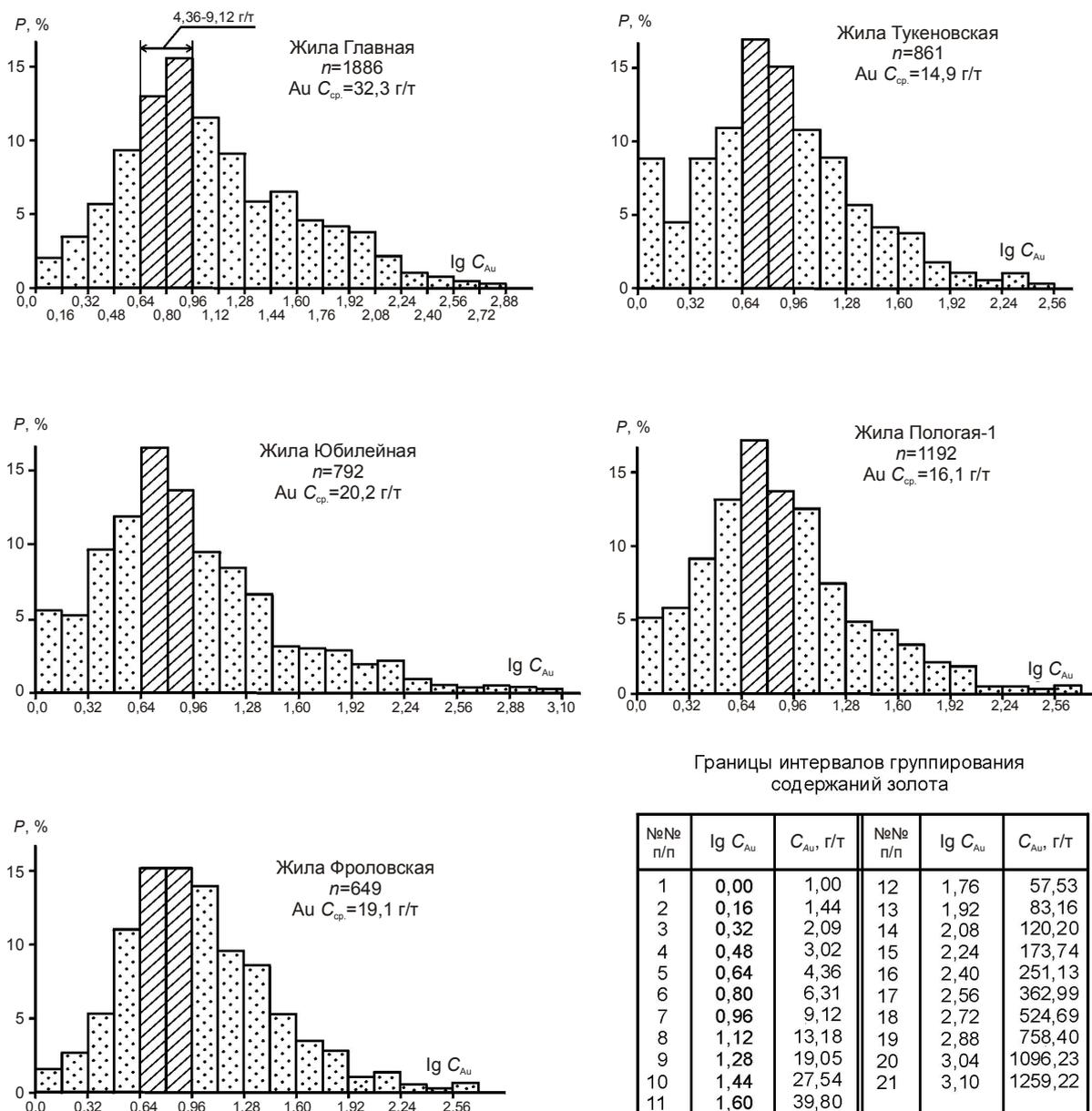


Рис. 5. Гистограммы распределения концентраций золота в рудных жилах месторождения Акбакай:

n — число проб; заштрихованы интервалы с наиболее часто встречающимися содержаниями золота (4,36–9,12 г/т)

носителю бедных руд, величина D оказалась равной 2 (предельно высокая изменчивость). По аппроксимированным значениям концентраций участки богатых, рядовых и бедных руд различаются контрастно (показатель D соответственно равен 2,00, 1,69, 1,55).

Следовательно, рудам месторождения Акбакай присущи такие особенности:

полимодальное распределение золота, которое включает несколько «элементарных» уровней, ста-

бильно проявляющихся независимо от параметров и основных характеристик рудных тел — их размеров, глубины и элементов залегания, среднего содержания золота, общей продуктивности;

богатые жилы отличаются от рядовых и бедных высокой частотой встречаемости проб с концентрациями золота уровней b и c (суммарный относительный вес таких проб в Главной жиле превышает 30%), большими значениями средних содержаний и стандартных отклонений;

поле концентраций золота фрактально, характеризуется высокой локальной изменчивостью, наличием контрастных трендов. Богатые руды имеют максимальное значение показателя фрактальной изменчивости, бедные — минимальное.

Наиболее крупное, богатое и дифференцированное рудное тело месторождения Акбакай — жила Главная (рис. 6). По склонению этой жилы, от зоны Б к зоне Г, отмечаются высокоградиентные изменения, в целом повторяющие структуру абстрактной модели МЗАТ: упрощение минерального и элементного составов руд и кристалломорфологии золотоносного пирита; снижение температур образования кварца и золотопродуктивных минеральных ассоциаций, общего количества сульфидов,

содержаний в руде Ag, Pb и Sb, концентраций примесей в самородном золоте, относительного веса золота уровней *b* и *c*; увеличение пробыности самородного золота, отношения As/Sb, концентраций W, Mo и Sn, относительного веса золота уровня *a*.

Степень организованности и дифференцированности средних (10–50 т), мелких (1–10 т) и очень мелких (0,1–1,0 т) МЗАТ, по сравнению с месторождением-лидером Акбакай и его наиболее полным представителем — Главной жилой, существенно ниже [9]. Подчиненные объекты акбакайского типа по совокупности минералого-геохимических признаков «вписываются» в структуру Главной жилы в качестве систем более низкого ранга (с числом зон не более 2): средние месторожде-

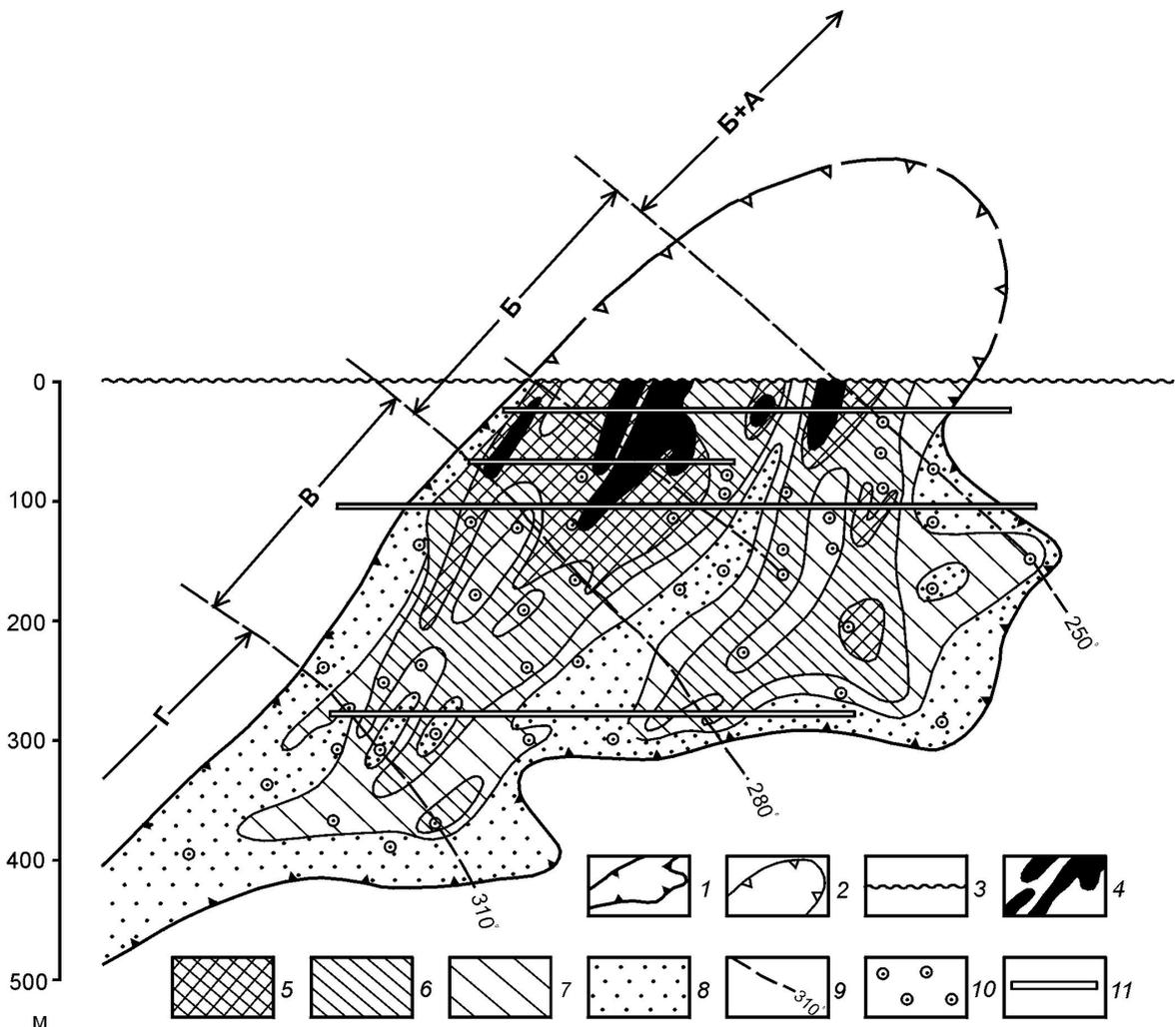


Рис. 6. Распределение концентраций золота и температуры образования золотоносного кварца в Главной жиле месторождения Акбакай, составлено по материалам ТУ «Южказнедра» (В.И.Данилов) и КазИМСа (Е.В.Баханова, Г.А.Злобин):

1 — контур жилы в проекции на вертикальную плоскость; 2 — предполагаемая съэродированная часть жилы; 3 — уровень современной дневной поверхности; содержания Au, г/т: 4 — >100, 5 — 100–50, 6 — 50–20, 7 — 20–10, 8 — 10–3; 9 — усредненные изотермы золотопродуктивного кварца (гомогенизация газовой-жидких включений); 10 — места пересечения жилы буровыми скважинами; 11 — горизонты шахты и глубоких шурфов

2. Поисковые и оценочные критерии МЗАТ

Критерии и признаки	М е с т о р о ж д е н и я			
	крупные	средние	мелкие	очень мелкие
Размещение месторождений в стратиграфическом разрезе O ₃ (в скобках состав геологической формации)	Зоны Б, В и Г (алевролит-песчаниковая)		Зоны В и Г (алевролит-песчаниковая, конгломерат-песчаниковая)	Зона Г (алевролит-песчаниковая, конгломерат-песчаниковая)
Фазово-фациальные разновидности и петрографический состав интрузивных пород	Преобладают породы главной (диориты, гранодиориты) и поздней (дайкивые образования) фаз	Две или три фазы при повышенной роли габброидов, диоритов и гранодиоритов	Преимущественно породы дайковой серии (андезитовые, диоритовые, диабазовые порфириты)	
Морфология интрузий и положение их в складчатых структурах	Субвертикально ориентированный шток до 3–4 км в поперечнике, секущий складчатые структуры позднего ордовика	Крутопадающие дайко- и штокообразные интрузии переменной мощности (от 0,00л до первых километров) секущего типа	Согласные и субсогласные интрузии мощностью первые метры – десятки метров в замках и на крыльях локальных антиклиналей	Субсогласные интрузии мощностью 0,0л км на переклиналильных замыканиях и круто-, пологопадающих крыльях синклиналей
Рудовмещающие разрывы	Каркас круто- и пологопадающих сколовых и отрывных разломов различных направлений в штокообразном интрузиве, субгоризонтальные трещины контракции	Полого- и крутопадающие трещины отрыва различных направлений в терригенных породах, субширотные пологие отрывы в интрузивных телах	Крутопадающие разломы субширотного и северо-западного направлений в терригенных породах, диагональные, продольные и «лестничные» отрывы в интрузивах	Трещины отрыва северо-западного и субмеридионального направлений в интрузивных телах
Морфология рудных тел	Крутопадающие стержневые кварцевые жилы, оперяющие их кварцевые тела со стороны висячего и лежащего боков	Кварцевые жилы и кварц-березитовые тела переменной мощности, сближенные линзовидные кварцевые жилы и зоны сульфидизации	Линзовидные кварцевые жилы переменной мощности	Зоны жильно-прожилкового окварцевания, сближенные короткие кварцевые жилы
Вертикальный размах оруденения, м	До 600–800	До 400–800	До 200–400	До 200
Индикаторные жильные и метасоматические минералы	Кварц, кальцит, серицит, адуляр, иллит	Кварц, кальцит, железистый карбонат, серицит, мусковит	Кварц, серицит, кальцит, анкерит, сидерит, альбит, турмалин	Кварц, серицит, кальцит, железистый карбонат, альбит, турмалин
Температура образования золотоносного кварца, °С	420–75	420–75	400–120	350–270
Текстура золотоносного кварца	Гребенчатая, шестоватая, халцедонивидная, полосчатая, друзовидная, пятнистая, гнездовая, брекчиевидная, плотная	Гребенчатая, шестоватая, друзовидная, полосчатая, прожилково-гнездовая, массивная, брекчиевидная	Полосчатая, прожилково-гнездовая, линзовидная, плотная	Массивная, плотная, брекчиевидная, полосчатая
Мощность золотоносных березитов, м	До 10–20	До 10, иногда более	0,0л–0,л	Березиты выражены слабо
Поперечная жильно-метасоматическая зональность	Полнодифференцированный тип: кварцевая жила – березиты внутренней зоны – березитизированные породы промежуточной и внешней зон – пропилиты		Редуцированная зональность двух видов: кварцевая жила – умеренно- и (или) слабо-березитизированные породы – пропилиты; кварцевая жила – пропилит	
Состав пострудных жильных образований	Карбонат, барит, кварц с антимонитом, киноварью, золотом	Кальцит, кварц с антимонитом, редко с киноварью	«Стерильные» кварц-кальцитовые жилки	
Число рудных минералов	>25	15–25	10–15	<10

Продолжение табл. 2

Золотопродуктивные минеральные ассоциации	Ранняя золото-пирит-арсенопиритовая, поздние золото-сульфосольная и золото-полиметаллическая, заключительная золото-антимонит-киноварная		Ранняя золото-пирит-арсенопиритовая, поздняя золото-полиметаллическая	Ранняя золото-пирит-арсенопиритовая, поздняя золото-полиметаллическая
Блеклые руды	Теннантит, тетраэдрит, смешанная блеклая руда, швацит	Теннантит, тетраэдрит, смешанная блеклая руда	Теннантит	Теннантит
Самородные элементы	Au, Ag, Sb, Bi	Au, Ag, Sb	Au, Ag	Au, Ag
Сульфосоли Sb, Pb, Cu	Бурнонит, буланжерит, джемсонит	Бурнонит	Отсутствуют	Отсутствуют
Минералы висмута	Висмутин, айкинит, самородный висмут	Висмутин, айкинит, тетрадимит	Не установлены	Не установлены
Кристаллографические формы пирита	{210}, {100}, {100}+{210}, {100}+{111}	{210}, {100}, {100}+{210}, {100}+{111}	{210}, {100}, {100}+{210}	{100}>{210} или только {100}
Количество сульфидов в золотоносном кварце, %	До 5–7	До 5–7	До 3–5	До 1–3
То же, в околожилных гидротермалитах, %	До 10–15 и более	До 10–15 и более	До 3–10	<3
Форма самородного золота	Не менее 10–12 (комковатая, пленочная, октаэдрическая, шаровая, коралло-, амебо-, капле-, дендритовидная, губчатая, интерстициальная и др.)	6–8 (комковатая, пластинчатая, коралло-, амебо-, каплевидная, интерстициальная, прожилковая, шестоватая)	5–6 (комковатая, пленочная, амебо-, капле-, дендритовидная, интерстициальная, остроугольная)	4–5 редко более (комковатая, пластинчатая, губчатая, амебо-, капле-, дендритовидная)
Пробность самородного золота	От <600 до 1000	700–1000	900–1000	900–1000
Вертикальная зональность минеральных ассоциаций (снизу вверх)	Золото-пирит-арсенопиритовая – золото-полиметаллическая – золото-сульфосольная – золото-антимонит-киноварная		Золото-пирит-арсенопиритовая – золото-полиметаллическая	Отсутствует
Вертикальная зональность пирита	{100}-{210}-{100}+{210}-{100}+{210}, {100}+{111}		{100}-{210}-{100}+{210}	{100}-{100}+{210}, {210}
То же, блеклых руд	Теннантит – смешанная блеклая руда – тетраэдрит, швацит	Теннантит – смешанная блеклая руда – тетраэдрит	Отсутствует	Отсутствует
Зональность пробности золота	Высокопробное на нижних горизонтах, низко-, средне-, высокопробное на верхних		Отсутствует	Отсутствует
Вертикальная зональность минералов меди	Халькопирит – теннантит – бурнонит		Халькопирит – теннантит	Не установлена
Геохимический тип оруденения	Au-Sb-As	Au-Sb-As, Au-As-Sb	Au-As	Au-As, Au
Сопутствующие элементы	Au, Pb, Bi, Cu, Zn, Hg	Au, Pb, Bi, Cu, Zn, Mo, W	Pb, Ag, Bi, Cu, Mo, W, Sn	Pb, Ag, Cu, Bi, W, Mo
Среднее As/Sb	<30	<30	30–200 и более	>200
Элементы, положительно коррелируемые с золотом	As, Sb, Pb, Ag	As, Sb, Pb, Ag, Bi, Cu	Ag, As, Pb, Mo, Bi	As, Ag, W
Вертикальная геохимическая зональность оруденения	Высококонтрастная стандартная	Высоко- и умеренно-контрастная стандартная	Умеренно- и слабоконтрастная с отклонениями от стандартных схем («верхнерудная позиция» Cu и Co)	
Состав вторичных геохимических ореолов	Au, As, Ag, Bi, Ba	Au, As, Sb, Ag, Bi, Pb	Au, As, Mo, Cu, W	Au, As, Cu, Mo, W

ния Аксакал, Бескемпир, Кенжем, Светинское соответствуют стволочной фации (Б+В), мелкие Алтын-тас, Алтынсай, Кенгир — зонам В+Г, очень мелкие Жаксы, Олимпийское, Узунтас — зоне Г. Основой оценки и разбраковки недостаточно изученных и новых объектов на различных стадиях геологоразведочных работ могут служить критерии МЗАТ, приведенные в табл. 2.

Сравнительный анализ позволил выделить общие черты крупного месторождения Акбакай и его средних аналогов Аксакал, Бескемпир, Кенжем, Светинское: размещение в породах углеродистотерригенной алевролит-песчаниковой формации позднего ордовика (верхний и средний стратоуровни), пестрота и гибридность интрузивных образований, секущих складчатые структуры, широкое развитие березитов, неоднородность морфологических типов рудных тел, наличие нескольких золотоносных ассоциаций и не менее трех генераций золота, сложный набор рудных минералов (полиметаллические сульфиды, сульфосоли, изменчивые по химизму блеклые руды и др.), разнообразие текстур золотоносного кварца и форм самородного золота, повышенное количество сульфидов в березитах и кварце, существенные вариации кристаллографических форм пирита, широкий диапазон температур образования кварца и пробности золота, низкие значения отношения As/Sb, контрастные проявления жильно-метасоматической, минеральной и геохимической зональности, тесные корреляции золота с As, Ag, Sb, Pb, значительный размах оруденения (до 600–800 м и более).

Отличительными характеристиками мелких месторождений (Алтынтас, Алтынсай и др.) являются: размещение на среднем и нижнем уровнях разреза ордовика, повышенная роль в составе рудовмещающих формаций грубозернистых терригенных пород (песчаники, конгломераты), парагенезис с малыми интрузиями и дайками, согласно или субсогласно залегающими в замках и крыльях мелких складок, незначительные мощности или отсутствие березитов, преобладание кварцево-жильного типа руд, проявление двух золотоносных ассоциаций, подчиненное число рудных минералов (не более 15), развитие железистого карбоната, альбита, турмалина в околорудных гидротермалитах, отсутствие минералов Bi, Hg, сульфосолей Sb, Cu и Pb, наличие одной генерации блеклых руд (теннантит), умеренное количество сульфидов в кварце и метасоматитах, повышенная роль высокотемпературного кварца, высокая проба самородного золота, Au-As тип руд, подчиненное количество текстурных разновидностей кварца и форм самородного золота, повышенное значение отношения As/Sb, ре-

дуцированность и слабая контрастность минералого-геохимической зональности, незначительный вертикальный размах (до 200–400 м).

Очень мелким месторождениям (Джаксы, Олимпийское и др.) свойственны: локализация в песчаниках и конгломератах нижней пачки верхнего ордовика, парагенезис с согласными и субсогласными дайками одной, поздней, фазы кызылжаргасского комплекса, размещение на периклинальных замыканиях и в крыльях локальных синклиналей, отсутствие березитов внутренней зоны, концентрация основного объема золота в коротких (не более 200 м) сблизженных кварцевых жилах ореольного типа, низкое количество сульфидов в кварце и околорудных породах, убогий спектр рудных минералов (пирит, арсенопирит, самородное золото, теннантит, галенит, халькопирит, сфалерит) и кристаллографических форм пирита (преобладают кубы), высокие температуры образования кварцевых жил, ограниченный перечень текстур золотоносного кварца (характерны массивные, плотные, брекчиевидные текстуры), высокая проба самородного золота, высокое отношение As/Sb, неконтрастные проявления или отсутствие минеральной зональности, простой геохимический тип руд (Au-As, золотой), коррелятивность золота с небольшим числом элементов (As, W, Ag), выклинивание рудных тел на глубинах до 150–200 м.

Вещественный состав месторождений, минералого-геохимическая зональность, структура распределения золота — это достоверная и воспроизводимая информация для создания разнотипных прогнозно-поисковых и генетических моделей. Опыт компьютерного моделирования месторождений и использования компьютерных технологий при решении различных теоретических и прикладных задач, включая опыт прогнозной оценки МЗАТ, приведен в работах [3–5, 8–10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов В.И., Миронов Е.П., Песков Е.Г. Акбакайское месторождение // Золоторудные месторождения СССР. М., 1986. Т. II. С. 87–95.
2. Лось В.Л. Анализ распределения содержаний основных полезных компонентов в рудах // Применение математических методов в геологии. Алма-Ата, 1968. С. 239–243.
3. Лось В.Л. Компьютерные технологии при моделировании и оценке рудных объектов // Комплексная переработка минерального сырья Казахстана. Астана, 2003. Т. 2. С. 47–96.
4. Лось В.Л., Гоберник И.А. Компьютерное моделирование гидротермального рудоотложения // ДАН. 1996. Т. 343. № 2. С. 231–233.

5. *Лось В.Л., Нарсеев В.А.* Особенности структуры распределения параметров минеральных систем и их значение в изучении эндогенного рудообразования // Условия образования рудных месторождений Казахстана. Алма-Ата, 1984. С. 23–32.
6. *Нарсеев В.А.* Промышленная геология золота. – М., 1996.
7. *Рафаилович М.С.* Индикационные признаки золоторудных полей и месторождений акбакайского типа по геолого-геохимическим данным // Геология и разведка недр Казахстана. 1995. № 3. С. 56–60.
8. *Рафаилович М.С., Вострокнутова А.И.* Комплексование геологических и компьютерных моделей золото-сульфидно-кварцевой формации для целей детального прогноза и оценки (методические рекомендации). – Алматы, 1994.
9. *Рафаилович М.С., Вострокнутова А.И.* Крупные золоторудные месторождения Казахстана // Отечественная геология. 2003. № 2. С. 63–66.
10. *Ужкенов Б.С.* Металлогенический потенциал Казахстана и информационно-компьютерные технологии его оценки (на примере золота): Автореф. дис... д-ра геол-минер. наук. – Бишкек, 2000.
11. *Федер Е.* Фракталы. – М.: Мир, 1991.
12. *Шиганов А.А.* Геохимические поисково-оценочные критерии золоторудных месторождений Казахстана (методические рекомендации). – М., 1985.
13. *Щербаков Ю.Г., Рослякова Н.В.* Генетическая модель гидротермального рудообразования на примере золоторудных месторождений // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск, 1983. Т. 2. С. 132–139.