

УДК 553.411.(574)

Т.М. ЖАУТИКОВ¹, В.И. ФОМИЧЕВ²

ПРОБЛЕМЫ РУДООБРАЗОВАНИЯ НА ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КАЗАХСТАНА

Кенпайда болу жүйесіндегі олардың жай-күйі мен орын ауыстыру түрлері, олардың түзілу кезіндегі әртүрлі геохимиялық және термодинамикалық кедегілерін қоса есептей отырып алтынкенді кенорның пайда болуының әртүрлі аспекттері қарастырылған. Алтынкенорның қалыптасуына жүйелі шығарылған полигенді физика-химиялық және термодинамикалық үрдістердің қатысы бар екенине ұмытылыс жасалды. Қазақстандық алтын кенорның зерттеу мысалында олардың геологиялық-өнеркәсіптік жүйелілігі берілді және жаңа алтын кенорның табудағы болжай-іздеу технологиясының инновациялық негізі баяндалды.

Рассмотрены различные аспекты образования золоторудных месторождений, включая формы миграции и его поведения в рудообразующих системах, влияние различных геохимических и термодинамических барьеров в его осаждении. Сделана попытка обоснования участия в формировании месторождений золота, последовательно проявленных полигенных физико-химических и термодинамических процессов. На примере изучения казахстанских месторождений золота дана их геолого-промышленная систематика и изложены основы инновационной прогнозно-поисковой технологии в выявлении новых месторождений золота.

Different aspects of formation of gold ore-bearing deposits including migration forms and its behavior in ore forming systems, influence of different geochemical and thermodynamic barriers in its sedimentation were considered. An attempt was made to justify polygenic sequential physical-chemical and thermodynamic processes in gold deposits formation. Geological-commercial systematization of the Kazakhstan gold deposits was made and the basics for innovative prognostic search technology in discovering new deposits of gold have been presented.

Генетические аспекты образования золоторудных месторождений и, в первую очередь, формы миграции золота, особенности его поведения и осаждения в разных термодинамических условиях и различных геологических средах вызывают повышенный интерес как крупнейших ученых, так и геологов-разведчиков, поскольку имеют большое практическое значение в целенаправленных поисках и оценке новых рудных полей. Особое внимание исследователей привлекает зона гипергенеза золоторудных объектов, в которой устанавливается ремобилизация гипогенного золота, его миграция и локализация в меняющихся физико-химических условиях.

Наши исследования [6–10] по рассматриваемой тематике базируются на результатах экспериментальных исследований и, главным образом, на электрохимическом анализе окислительно-восстановительных процессов образования ком-

плексных соединений золота, предопределяющих, как и приращение свободной энергии Гиббса, возможность осуществления реакций и их направленность. Такой подход, основывающийся на применении методов физической химии, основан фундаментальными исследованиями термодинамики процессов рудо- и минералообразования, в которых установлено важное значение окислительно-восстановительных реакций для понимания процессов миграции и осаждения элементов переменной валентности и их соединений.

В настоящее время, когда определены окислительные потенциалы для большинства элементов, в том числе Au и его соединений и накоплен большой объем экспериментальных данных по растворимости золота в разных по составу флюидах, открылась возможность рассмотреть особенности образования, миграции и осаждения основных комплексных соединений благородно-

^{1,3,4} 050010 г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а. Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева.

го металла в различных гидротермальных системах и оценить их вклад в формировании золоторудных месторождений [рис.]

Термодинамическими, экспериментальными и минералого-геохимическими исследованиями последних двух десятилетий, как и нашими данными, обосновывается значительная роль в миграции золота **йодидных, тиосульфатных, бромидных, аммиачных и золотоорганических комплексных соединений** наряду с общепринятыми хлоридной, гидросульфидной, сульфидной и гидроксокомплексными формами. Требуют специальных исследований теллуридные и вольфраматовые комплексные соединения золота, а также гетерополиядерные комплексы Au с мышьяком и сурьмой. По нашим результатам, вопреки сложившемуся мнению исследователей, главенствующая роль в формировании эндогенного оруденения ряда типов золоторудных месторождений (Васильковское и др.) принадлежит **фторокомплексам** золота (таким как AuF_4^- , $[\text{BrF}_2^+] \cdot [\text{AuF}_4^-]$, $[\text{ClF}_2] \cdot [\text{AuF}_4^-]$ и др. в струях инертных газов или их многоядерные аддукты с низкоактивными компонентами, золото-фторуглеродные соединения и др.). Эффективными окислителями золота являются F_2 , HF, BrF_3 , ClF_3 и др., что подтверждается технологической практикой переработки проб золотоносных руд и химическими исследованиями.

Основные результаты исследований

1. По теоретическим вопросам происхождения руд золота.

1.1. Выяснены особенности поведения разнотипных соединений золота и серебра, зависимость их миграционной способности от Eh-pH эволюционирующих гидротермальных систем и устойчивость их галоидных форм в кислотно-окислительных, а халькогенидных – в щелочно-восстановительных условиях.

Обобщены данные термодинамических, экспериментальных и минералого-геохимических исследований и обоснована значительная роль в миграции золота **йодидных, тиосульфатных, бромидных, аммиачных, золотоорганических, полиядерных золото-мышьяковых и золото-сурьмяных комплексных соединений**, наряду с общепринятыми хлоридной, гидросульфидной, сульфидной и гидроксокомплексными формами.

1.2. Электрохимическими исследованиями окислительно-восстановительных реакций образования самородного золота на различных промышленно-генетических типах месторождений обоснована прямая зависимость его пробности от Eh-pH условий эволюционирующих гидротермальных систем.

Особенно наглядно влияние изменяющихся окислительно-восстановительных и кислотно-щелочных условий эволюционирующих рудообразующих систем на состав благородного металла проявляется на золото-серебряных и золоторудных месторождениях алунит-кварцевого (кислотно-сольфатарного), адуляр-кварцевого, углеродисто-черносланцевого и карлинского типов.

1.3. **Золото-серебряные месторождения адуляр-кварцевого типа** отличаются многоэтапностью и многостадийностью рудообразования, проходившего в существенно изменяющихся по Eh-pH растворах, что приводило к регенерации минерализации, в том числе самородного серебра (Константинов и др., 1998; Прокофьев, 2000) и широкой вариации пробности золота. Так, на месторождении Таскора (Центральный Казахстан), золото первой – кварц-адуляровой – стадии минералообразования изменяет свой состав в широком диапазоне от высокопробного до электрума и кюстелита, в среднем составляя 783. Средняя пробность золота второй, барит-сфалерит-кварцевой, ассоциации чуть выше – 804, значительно повышаясь и понижаясь в сростках с теллуридами (941) и сульфидами (759), соответственно. В завершающей, молибденит-кварцевой стадии, она чуть ниже – 752, немного увеличиваясь (772) в мономинеральных выделениях кварца и уменьшаясь (607) в сульфидных обособлениях. Кислотность-щелочность рудолокализующих гидротермальных систем кварц-адуляровых месторождений оценена, по данным многочисленных исследований, в пределах pH = 3–8.

1.4. **Пробность золота** на промышленно важных месторождениях **углеродисто-черносланцевого типа** (Олимпиада, Бакырчик, Неждинское и др.) варьирует в пределах 1000–850, понижаясь в более поздних ассоциациях до 650 (Константинов и др., 2000; Пальянова, Колонин, 2004 и др.). Так, на их представительном суперобъекте Кумторе она достаточно высокая (960–935) в ранних продуктивных золото-карбонатной и золото-пирит-доломитовой ассоциациях, а в

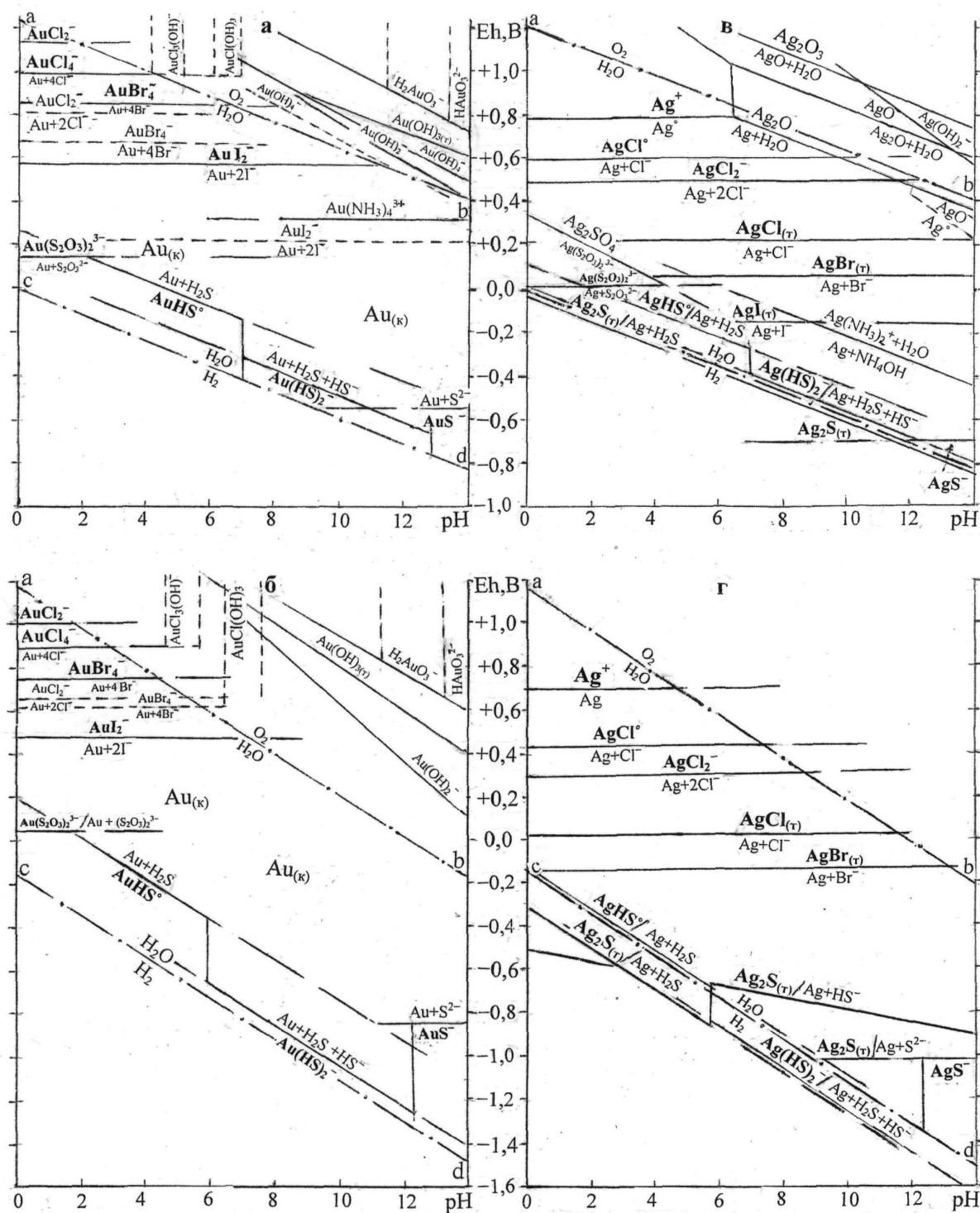


Рис. 1. Сводные диаграммы полей устойчивости соединений золота (а, б) и серебра (в, г) в водных растворах при температурах 25 (а, в) и 200°C (б, г) и 1 атм общего давления.

Составил В.И. Фомичев по материалам Р.М. Гаррелса и Ч.Л.Крайста 1968), А.Л. Павлова (1971 и 1976), Я.И.Турьяна (1989), Б.И. Пещевицкого и др.(1976), Н.А. Рослякова и др. (1981), Т. Сьюарда (1973), Г.Б. Наумова и др. (1971), Н.М. Николаевой (1972), А.А. Конюшека и др.(1980), Н.А. Акинфиева (2001).

Линии: сплошные – равновесие между $\text{AuL} \sim \text{Au}^\circ$ и $\text{AgL} \sim \text{Ag}$ при стандартных активностях компонентов, равных единице; пунктирные – при концентрации соединений золота 10^{-6} , серебра 10^{-4} , и лигандов (L) 10^{-1} моль/л; штрихпунктирные – верхняя (ab) и нижняя (cd) границы термодинамической устойчивости воды

поздней – барит-сульфидно-полиметалльно-кальцитовой – более низкая (716–705). Напротив, преобладающие тонкодисперсная и наноформы самородного золота на важнейшем в Казахстане Бакырчикском рудном поле отличается повсеместной высокой пробностью (990–975), лишь слегка снижающейся до уровня 925–822 в субмикроскопических его выделениях в арсенопирите и пирите.

Анализ физико-химических условий отложения минеральных парагенезисов свидетельствует, что развитие золотого оруденения на углеродисто-черносланцевых месторождениях проходило в эволюционирующих по Eh–pH режимам гидротермальных растворов от высоко- и умеренноокислительных условий до слабо- и повышенновосстановительной обстановки со сменой форм миграции благородных металлов от их хлоридных комплексов до сульфидных [7].

1.5. Анализ влияния физико-химического состояния эволюционирующей гидротермальной системы на формы миграции золота и их устойчивость, а также анализ редокс-реакций его восстановления в изменяющейся обстановке при резкой смене Eh–pH условий, температур и давлений позволило впервые в мировой практике идентифицировать разнотипные геохимические барьеры – концентраторы Au и провести их классификацию [8].

Разрушение комплексов золота, его осаждение и концентрация происходят на участках резкой смены окислительно-восстановительного потенциала, кислотности-щелочности рудообразующей системы, её температуры и давления, являющихся геохимическими барьерами на пути движения гидротермальных растворов. Широкий диапазон вариации редокс-потенциала образования различных комплексов золота – от высокоокислительных для галоидных до сильновосстановительных для гидросульфидных и сульфидных форм – позволяет идентифицировать закономерный ряд качественно отличных типов геохимических барьеров с большим разнообразием их подтипов [8-10]

1.6. Комплексное изучение рудовмещающих отложений и магматизма, окорудных метасоматитов и вещественного состава руд, геодинамических моделей формирования этих месторождений, а также эволюции морфопризнаков самородного золота, состава кремнезема и углероди-

стого вещества позволили **обосновать характер последовательно проявленных полигенных физико-химических и термодинамических процессов**, при которых происходит отчетливо выраженное эволюционно-направленное преобразование метастабильных миграционно-способных седиментогенных форм золота в самородную его fazу [1]. На основании полученных данных по рудогенезу разработана **единая стилизованная геодинамическая модель формирования золоторудных месторождений и сформулировано представление о степени организации золоторудного процесса, о литогеохимической формации как основном источнике рудного вещества, а также сделаны выводы о существенной роли геля кремнекислоты в неоднократном переотложении кремнезема при формировании рудовмещающей матрицы** [4, 5]. В большинстве изученных объектов отмечается пространственная совмещённость в рудных залежах предрудного и собственно золоторудного процессов, которые разорваны во времени. Степень их завершенности оценивается масштабом проявления самородной фазы золота (максимальная) или отношением суммы ионного и коллоидного золота к количеству его свободной формы (промежуточная).

Наиболее полно золоторудный процесс с образованием преобладающих количеств самородной фазы золота и его интерметаллических соединений развит на золото-сульфидно-кварцевых (90-95%) и эпимеральных золото-серебряных (до 45-60%) месторождениях с крайне неравномерным пространственным размещением оруденения (рудные столбы, богатые бонанцы, отдельные «струи», ленты и т.д.) и резкими колебаниями содержаний Au (+Ag) от следов до нескольких килограммов на тонну.

1.7. Эволюционная направленность рудного процесса по схеме: седиментация — ранний диагенез — поздний диагенез — эпизона — динамометаморфизм — мезозона (+катазона) — интрузивный (эффузивный) магматизм, благодаря чему происходит постепенное преобразование изначально миграционно способных форм золота (ионной и коллоидной) в самородную. На его завершающей стадии под воздействием интрузивного (эффузивного) магматизма и тектонометаморфических процессов происходит резкое увеличение в рудах самородной фазы с умень-

шением миграционно способных форм золота, вплоть до образования компактных золото-кварцевых рудных тел с ограниченным количеством сульфидов.

Концентрация свободного золота, главным образом, на жильных и штокверковых месторождениях золото-сульфидно-кварцевой и золото-серебряной формаций в виде бонанцевых рудных столбов является одной из закономерностей его распределения на этих объектах.

1.8. Изучение положения тесной пространственно-генетической или парагенетической ассоциации золотого оруденения на разных стратоуровнях выявило целый ряд важнейших металлогенических закономерностей, играющих большую роль в поисковой практике. Это, прежде всего, наличие сингенетического накопления золота, часто обуславливающее первичную металлогеническую специализацию рудных районов, таких, как Акбакайский, Степнякский, Бакырчикский и др.. При этом устанавливается большое разнообразие условий и способов накопления золота (биогенное, хемогенное, адсорбционное, захоронение в виде металлоорганических и тиосульфатных соединений и т.п.), сопутствующее самым различным по возрасту и формационному типу осадкам. В этом отношении весьма показательны данные по всемирно известной группе месторождений Витватерсrand (общие запасы бассейна более 50000т Au), которые получены зарубежными геологами с применением точной электронной аппаратуры и других современных методов. Не исключая детритовое происхождение некоторой части золота они пришли к выводу о том, что основная масса его накопилась в этап формирования отложений надсерий Доминион-Риф, Витватерсrand, Вентесдорп и Трансваль с возрастом 2,48-2,37млрд. лет в виде высокомиграционных метастабильных форм. В ряде этих месторождений Д.К. Халбаумер (1978) установил биохимическую (органогенную) минерализацию, представленную нитевидным (диаметром 1-2мкм) золотом в массе углеродистого вещества. На активную фиксацию рудных компонентов микроорганизмами в биотах некоторых раннепротерозойских прибрежно-морских зон указывает Мортон Р.Д. и Хангакоти А. (1987).

Признаки биогенного накопления золота в Казахстане впервые были установлены Т.М. Жаутыковым (1977) при специальном изучении пород из фаунистических горизонтов ордовикских отложений хр. Чингиз. Здесь, наряду с обычными фоновыми содержаниями (3,92-6,0мг/т) золота, выявлены отдельные горизонты известковистых пород с концентрацией золота до 0,2-0,43г/т. Эти данные в известной мере сопоставимы с результатами исследований осадков Карибского моря, где отмечается высокая корреляция между содержаниями Au и CaCO₃, определенных в составе известковистого ила.

При изучении последовательно проявленных геолого-металлогенических процессов роль диагенеза и совмещенных с ним ранних этапов динамометаморфизма до последнего времени практически полностью исключалась из поля зрения специалистов. Наблюдая пространственную ассоциацию золотого оруденения и сульфидов с органическим углеродистым веществом, исследователи зачастую приходили к выводу об их отрицательной корреляции друг с другом, что противоречило представлению об их сингенетичности. Многочисленные формы диагенетической и динамометаморфической трансформации петро- иrudогенных компонентов слабо литифицированной седиментогенной среды принимались за признаки эпигенетичности руд. Все это приводило к ошибке в классификации и оценке признаков металлогенической специализации стратiformных образований за пределами рудных полей, где якобы было исключено влияние эпигенетических (в том числе и гидротермальных) процессов. При этом исследователи не учитывали не только специфику формирования литогеохимических формаций, но и характер эволюции рудоносных слабо литифицированных осадков.

2. По изучению геолого-промышленных типов месторождений золота

Целенаправленное изучение закономерностей формирования и геолого-структурных особенностей месторождений различных видов полезных ископаемых как самостоятельное научное направление в металлогении впервые было сформировано в СССР. Многочисленные исследования в указанном направлении в значительной степени способствовали дальнейшему более углубленному развитию теории рудообразования и совершенствованию методов прогнозирования месторождений. В то же время основы модельных

построений задолго до официального признания необходимости их выполнения при изучении рудных месторождений в той или иной мере освещались в работах К.И. Сатпаева (1957), В.И. Смирнова (1968), В.А. Жарикова (1968), Г.Б. Наумова (1978), Н.С. Скрипченко (1972), Л.Н. Овчинникова (1968) и др., посвященных отдельным типам месторождений или динамике процессов рудообразования и источникам рудообразующих компонентов.

Наиболее плодотворными в создании и теоретическом обосновании разнообразных геолого-генетических моделей явились восьмидесятые – начало девяностых годов прошлого столетия, когда с различных геологических и тектонометаморфических позиций предлагалось объяснение источников рудного вещества и, прежде всего, золота, форм его переноса и особенностей концентрации с образованием собственно золоторудных месторождений. Из-за невозможности перечислить все известные к настоящему времени геолого-генетические модели золотого оруденения кратко остановимся только на некоторых из них, которые в той или иной степени находят подтверждение в выполненных нами исследованиях, и идеях (прежде всего о ведущей роли рудовмещающих терригенно-осадочных пород в изначальном накоплении рудного вещества и дальнейшую его эволюцию под воздействием тектонометаморфических и магматических процессов), которые отражены в разработанной нами интегральной геодинамической модели формирования золоторудных месторождений [1, 4].

Прежде всего, следует отметить **сингенетично-эпигенетическую модель**, предложенную В.Г. Гарьковцом (1976г.), суть которой заключается в изначальном накоплении рудных компонентов в морском бассейне из разрушающихся золотосодержащих пород или очагов подводного вулканизма, формировании рудогенного субстрата в благоприятных палеогеографических условиях. Под воздействием диагенетических, катагенетических и эпигенетических процессов происходила эволюционно-направленная трансформация терригенных осадков и содержащихся в них металлоорганических битумоидов с распадом металлоорганических соединений и образованием золотоносных сульфидов в виде либо золото-сульфидного, либо золото-сульфидно-кварцевого оруденения.

Осадочно-метаморфогенная модель, предложенная С.Т. Бадаловым (1982г.), предполагает эволюционную трансформацию богатых органикой осадков седиментогенных бассейнов под воздействием диагенетических и регионально метаморфических процессов различных ступеней и взаимосвязанную с этим миграцию рудного вещества, в т.ч. и золота, с образованием месторождений. При этом геохимическая связь золота с органическим веществом заметно нарушается только при достижении термодинамических параметров среды рудоотложения, соответствующих образованию шунгита и графита.

Согласно **метаморфогенно-гидротермальной модели** (В.А. Буряк, 1982г.) золоторудная минерализация избирательно ассоциирует только с породами зеленосланцевой фации метаморфизма, а метаморфическая зональность является определяющей в развитии конкретного минерального типа золотого оруденения. При этом автор считает, что промышленные руды формируются в регressive этап метаморфизма. Источником золота могут служить и сами метаморфизуемые породы, и низкотемпературные продукты высоких ступеней метаморфизма и гранитизации, а также подкоровые мантийные образования.

В ряде разработанных моделей ведущее значение в рудогенезе отводится магматическим комплексам или мантийным флюидам как источникам рудного вещества, в т.ч. и золота, или как реагентам для транспортировки и отложения рудного вещества. К ним относятся осадочно-плутоногенная (Б.Я. Вихтер), интрателлурическая (П.Ф. Иванкин и Н.И. Назарова, 1988, 1991), магматогенно-гидротермальная (К.В. Захаревич и др., 1991), глубинно-метасоматическая (И.В. Мушкин, И.В. Ярославский, 1974, 1976), субдукционно-гидротермальная (Ю.С. Савчук, П.А. Мухин, 1993) и ряд других. Большинство из перечисленных моделей апробировалось на золоторудных месторождениях Узбекистана [11] и, прежде всего, на Мурунтау, в результате чего была создана обобщенная геолого-генетическая модель, которая предусматривает полигенный источник золота. Предполагается, что рудообразующие процессы зарождались на мантийно-коровых и верхнемантийных уровнях, в связи с чем источником золота считается интрузивный магматизм, зародившийся на указанных уровнях.

Отмечается парагенетическая связь оруденения с контрастными дайками при процессе активизации газово-флюидных потоков, обусловивших углеродисто-сульфидный калиевый метасоматоз. И, наконец, в качестве источника энергии рудного процесса рассматривается глубинный тепловой поток с образованием рудоносных флюидов по схеме мантийного сепаратора.

Таким образом, подавляющая часть разрабатываемых геолого-генетических моделей золоторудных месторождений различных регионов до наших исследований и параллельно с ними рассматривала в качестве основного источника рудного вещества либо терригенные образования, обогащенные углеродистым веществом, либо магматические комплексы коровых и верхнемантийных уровней и лишь в некоторых предусматривался полигенный источник золота.

Выполненные нами геодинамические модельные построения основаны на результатах изучения: роли седиментогенной среды, механизма ремобилизации метастабильной фазы золота, генетического и парагенетического значения «золотоносных» интрузивных комплексов и эволюционно-направленного формированияrudовмещающей матрицы.

2.1. Промышленно освоенные золоторудные месторождения Казахстана систематизированы в геолого-промышленные типы (ГПТ): золото-сульфидный, развитый в углеродистых толщах различного возраста (Бакырчик, Большевик, Васильевское и др.), золото-сульфидно-кварцевый (Акбакай, Аксу, Бестобе, Жолымбет, Степняк и др.), золото-адуляр-кварцевый (золото-серебряный), представленный месторождениями Архарлы, Таскора, Ушшокы, золотоносные коры выветривания и россыпи.

2.2. Золото-сульфидный ГПТ. В рудах месторождений этого типа главными продуктивными ассоциациями являются пирит-арсенопиритовая и пиритовая. Несмотря на преобладание в составе руд дисульфидов Fe, отмечается большое количество тонкорассеянных минералов: W, Pt, Pd, Re, Ag и др. (всего установлено > 35 минералов).

Основная масса Au сосредоточена в виде округлых или различной кристаллической формы субмикроскопических выделений самородного золота в зернах пирита и арсенопирита [3]. Из всего многообразия изученных золотин четко

выделяются три морфологические разновидности: 1) спутанно-волокнистые (войлоковые), тонкогубчатые, коралловидные; 2) массивные и 3) кристаллически-зернистые, причем практически всегда они отмечаются совместно с преобладающим развитием одной из них. Применение высокоразрешающей электронной аппаратуры дало возможность установить в аналогичных месторождениях США самородное золото в сульфидах в виде наночастиц (~5–10 нм). Кроме того, в ряде месторождений этого ГПТ (Жерек, Жанан, Суздальское) часто отмечается наложение постмагматического оруденения (убогосульфидной кварцевой, кварц-карбонат-полиметаллической и кварц-антимонитовой), соответствующего поздним эпизодам истории формирования месторождений.

2.3. Золото-сульфидно-кварцевый ГПТ. Последовательность формирования минеральных ассоциаций в месторождениях этого ГПТ представлена в следующем виде: ранняя кварцевая с шеелитом (реже молибденом) — ранняя сульфидная пиритовая (пирит-пирротиновая, пирит-арсенопиритовая, магнетит-пиритовая) — поздняя сульфидная (галенит-сфалерит-халькопиритовая, халькопирит-пиритовая и др.) — продуктивная (золото-теллуридная, золото-висмутин-теллуридная, золото-висмутиновая, золото-сульфоантимонитовая и др.). Золотоносность и общие геохимические особенности месторождений определяются степенью и полнотой проявления тех или иных ассоциаций, а также специфическими провинциальными особенностями формирования рудного комплекса. Содержание сульфидов в рудах золото-сульфидно-кварцевых месторождений не превышает 2–5%.

Отложение самородного золота происходило в течение нескольких стадий, которые отличаются друг от друга как по морфологии, так и по внутреннему строению и элементам-примесям в них. Типоморфными элементами-примесями ранней стадии являются Ni, Fe, Cr. Для второй, наиболее продуктивной стадии, характерны Cu, реже Zn, наконец, для третьей поздней стадии — Pb, частично — Cu. Содержание указанных элементов в золоте обычно составляет первые проценты и, в редких случаях, десятки процентов с образованием самостоятельных интерметаллических минеральных форм: (AuCu₃, AuPb₂, AuPb₃, AuPb и др.).

По форме выделений самородного Au отмечаются комковатые (изометрические и вытянутые), пластинчатые, пленчатые, коралловидные, губчатые, дендритоидные и дендритовые, шарообразные и скорлуповидные золотины, а также кристаллические агрегаты (октаэдры, гексаэдры, тетраэдры, ромбододекаэдры и их комбинации).

В последние годы в месторождениях этого ГПТ (Бестобе) установлены прожилково-вкрапленные руды, размещающиеся часто во вмещающих породах, реже в брекчированных интрузивах. Они имеют самостоятельное промышленное значение с отличительными технологическими свойствами.

2.4. Золото-адуляр-кварцевый (золото-серебряный) ГПТ. Особенностью месторождений золото-адуляр-кварцевого ГПТ (Архарлы, Кусак, Таскора) является широкое развитие тонкодисперсного золота и золотосодержащих минералов (электрума, кюстелита, золотистого серебра) и самородного серебра [2]. Размеры их обычно не превышают десятых долей миллиметра при размере отдельных индивидов, слагающих золотины, не менее 10-50 мкм. В формировании их руд выделяются семь последовательно сформировавшихся минеральных парагенезисов (от ранних к поздним):

1 – пирит-кварцевый; 2 – адуляр-кварцевый; 3 – галенит-сфалерит-кварцевый; 4 – халькопирит-кварцевый; 5 – халцедоновый; 6 – карбонатцеолитовый; 7 – баритовый, продуктивными из которых являются 2- и 3-ий парагенезисы.

В последние годы в пределах Au–Ag месторождений выявлены брекчевые руды типа Крессонов Раздув на месторождении Крипл-Крик в США. Эти руды также заключают значительные запасы и поэтому их разведка имеет промышленное значение.

Наряду с золотосодержащими минералами в рудах некоторых эптермальных Au–Ag месторождений, имеющих небольшой эрозионный срез, широко развиты самородное серебро и золотистое серебро при содержании Au в нем не более 5-10% (Архарлы).

2.5. Месторождения кор выветривания. Этот ГПТ месторождений широко распространен в Казахстане и приурочен в основном к корам выветривания гидрослюдисто-каолинитового профиля (Жанан, Сузdalское и др.) и «железным шляпам» золотосодержащих сульфидных руд (Майкаин, Космурун, Мизек и др.).

Золото в корах выветривания гидрослюдисто-каолинитового типа представлено широким разнообразием форм (пленочное, пластинчатое, игольчатое, дендритовое и др.) часто имеющих чистую и гладкую (реже шероховатую) поверхность. Реже встречаются призматические, октаэдрические и лучистые кристаллы, а также комковатые разновидности. Размеры пленок золотин в поперечнике изменяются от 0,05 до 35 мм. Пробность золота достаточно высокая (900-970). С своеобразные веточковидные дендриты как быстрорастущие полимерные образования, и пылевидные золотины, с текстурами типа колец Лизеганга, изучались нами в коре выветривания золото-серебряного месторождения Архарлы. Большое разнообразие дендритовых кристаллов отмечается и в коре выветривания месторождения Олимпийское.

Гипергенное золото «железных шляп» имеет тесные парагенетические взаимоотношения с бурым железняком, ярозитом, галогенидами серебра и серой. По форме выделений различаются: а) кристаллы золота (размером до нескольких миллиметров, но в основном тонкодисперсное и субмикроскопическое); б) комковидное и в) пленочное золото. В зоне окисления месторождений Майкаин и Жосалы гипергенное золото верхних горизонтов является наиболее чистым и высокопробным (950-980) в отличие от нижних горизонтов, где отмечается большое количество различных примесей (Fe, Ba, Si, Cu, Ag, Ti, Sn, Al, Ca, Pb), а пробность его колеблется от 850 до 870.

2.6. Золотоносные россыпи. В рассматриваемом ГПТ самородное золото унаследует все особенности гранулометрического состава и морфологии золотин, образовавшихся в коренных источниках и в корах выветривания. Поэтому для каждой россыпи характерны свой средний размер золотин и морфопризнаки, унаследованные от первичных источников, а также зависящие от типа континентального литогенеза и гидродинамических условий образования россыпей. Здесь выделяются следующие распространенные и легко диагностируемые формы: дендриты, рудные сложные агрегаты, проволочки, изометрические зерна, таблички, чешуйки и пылинки. В зависимости от генетического типа россыпей эти формы могут встречаться в самых различных сочетаниях. Так, на месторождении Карагултобе (север Центрального Казахстана), относящему-

ся к древним (миоцен) аллювиальным россыпям, встречены комковидные и неправильные золотины со средним размером 1,12 x 0,66 x 0,39мм (масса 2,5мг). Самое тонкое золото (мельче 0,1мм) установлено в 43% проб в количестве от нескольких до 1000 знаков.

Золото на месторождениях Северный Беттибулак и Мадениет (обрамление Кокшетауской глыбы) относительно крупное (нередки самородки массой бг и более) и представлено лепешко-видными, рогульчатыми и каплевидными формами, реже встречаются дендриты, стержни и проволочки. В шлифах в режиме обратно рассеянных электронов на микрозонде выявляется неоднородное внутреннее строение большинства золотин с заметными колебаниями пробности (от 905 до 995). Большинство золотин слабо окатаны.

2.7. Наряду с охарактеризованными выше промышленными типами, имеются предпосылки открытия в Казахстане месторождений золота в железистых кварцитах (золото-итабиритовый тип) в расслоенных ультрамафитовых интрузивах в связи Cu-Ni-Pt-Pd оруденением (скаргардский тип) и др., которые значительно отличаются от известных в Казахстане типов своими технологическими свойствами, т.е. относятся к **нетрадиционным типам**. Опережая их промышленное освоение, технологам следует заранее проводить исследования таких типов руд, заключающих уникальные запасы (Скаргард в Гренландии – 339т Au, Хоумстейк в США – 1200т Au и др.) металла.

3. По разработке прогнозно-поисковой модели месторождений

3.1. На основе многофакторных геодинамических построений предложена универсальная модель инновационной прогнозно-поисковой технологии выявления новых месторождений золота, учитывающая:

- роль седиментогенной среды в первичном обогащении золотом, в котором участвовали различные (биогенные, хемогенные, адсорбционные и т.п.) по природе процессы, обусловившие изначальное резкое обогащение рудными компонентами и золотом преимущественно в виде метастабильной (коллоиды, металлоорганические соединения, адсорбированное углистым и глинистым веществом, гидроокислами железа, марганца и др., захороненное в свежесформированных осадках в виде хлоридных, сульфатных и гидро-

сульфидных комплексов) фазы; в результате формируются сравнительно локальные участки земной коры (литогеохимические формации), соизмеримые по площади с размерами рудных полей;

- механизм ремобилизации метастабильной фазы золота последующими (диагенез, динамометаморфизм, магматизм) после накопления обогащенных рудным веществом осадков тектонометаморфическими и постмагматическими процессами и трансформация его в самородную фазу с различной морфогенетической характеристикой природных форм;

- роль тектонических процессов в формировании крупных рудоконтролирующих и локальных рудовмещающих структур, а также создании оптимальных физико-химических и термодинамических условий (эпизона, мезозона, катазона) ремобилизации и переотложения рудных и нерудных компонентов рудовмещающих пород. При этом начальные этапы перераспределения и частично разрушения метастабильных фаз рудного вещества с формированием оруденелых участков совмещены с ранним диагенезом осадков;

- генетическую и парагенетическую роль «золотоносных» (степнянский, кызылжартасский, кунушский и др.) интрузивных комплексов в формировании золоторудных месторождений как энергетических факторов и флюидных источников мобилизации и транспортировки рудообразующих растворов и отложения из них минеральных парагенезисов;

- эволюционно-направленное формирование рудовмещающей матрицы (кварцевых жил, зон окварцевания, березитизации и пр.) с созданием благоприятных структурно-текстурных условий и локальных участков для формирования оруденелых участков и рудных тел за счет постепенного уменьшения роли метастабильных форм золота в золоторудном процессе с образованием устойчивой самородной фазы.

Перечисленные геологические, структурно-тектонические, минералого-геохимические и пр. факторы, участвующие в образовании золоторудных месторождений, рассматриваются нами как **единий эволюционизирующий во времени и совмещенный в пространстве парагенезис**. Такой подход в разработке прогнозно-поисковых моделей формирования золоторудных месторождений несет не только геолого-генетические элементы, но и по сути раскрывает геодина-

мику рудогенерирующих процессов, подчеркивая причинно-следственные связи рудообразования, начиная с выяснения источника рудного вещества и заканчивая образованием компактных рудных объектов различных геолого-промышленных типов.

3.2. Разработана методика выбора разноранговых эталонных объектов с формированием их интегральной модели и переводом данных в формализованно-информационную программу с учетом параметров геодинамической интенсивности проявления или информационного веса тех или иных рудоконтролирующих факторов. Необходимо учесть, что в природе почти не существует двух одинаковых по всем параметрам объектов (имеется в виду одноранговые) и поэтому, сам эталонный объект должен состоять из определенного множества, составляющего закономерный информативный ряд родственных по геолого-генетическим особенностям объектов. Это позволит учесть вариации в смене роли ведущих признаков от одного объекта к другому, возможные колебания значений информационного веса рудоконтролирующих структурных элементов и т.п.

При подготовке интегральной модели эталонного объекта необходимо произвести ранжирование их по величине запасов. Дело в том, что уникальные и крупные объекты в связи с их длительным и многоэтапным формированием имеют ярко выраженное большое множество признаков. В то же время мелкие объекты имеют слабо выраженные либо отрывочно проявленные признаки. Поэтому модель объекта-эталона должна иметь интегральный образ, учитывающий все элементы информативного ряда родственных между собой формационных типов объектов.

Таким образом, выявление физико-химических условий как зон стабильности и миграционно-рассеивающей способности различных соединений золота и серебра в гидротермальных системах, так и электрохимической специфики их разрушения в местах резкой смены окислительно-восстановительного потенциала, кислотности-щелочности рудообразующей системы, её температуры и давления, являющихся геохимическими барьерами на пути движения гидротермальных растворов – осадителей и концентраторов благородных металлов,

открывает новые перспективы в научном прогнозе и практической оценке золоторудных объектов, в том числе нетрадиционных для Казахстана геолого-промышленных типов месторождений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жаутиков Т.М. Новая генетическая концепция формирования золоторудных месторождений (на примере Казахстана) // Труды 2 международного симпозиума «Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика». -Красноярск: Изд-во КНИИГиМС, 2001.- С.32.
2. Жаутиков Т.М., Алексеев В.А., Бекмагамбетов Д.Б., Бейсембаева Ж.Б., Жаутикова Г.Т., Рассадкин В.В., Умарбекова З.Т. Золото-серебряное оруденение Казахстана // Сборник трудов, посвященный XXXIII сессии МГК (Осло-Норвегия).- Алматы, 2008. – С.212-221.
3. Жаутиков Т.М., Жаутикова Г.Т., Муратова Г.А. Типоморфизм самородного золота в основном геолого-промышленных типах месторождений Казахстана. Сб.: Геология Казахстана.2004.С.230-240
4. Жаутиков Т.М., Матвиенко В.Н., Жаутикова Г.Т. Интегральная геодинамическая модель формирования золотого оруденения. Геодинамика и минералогия Казахстана. Алматы: РИО ВАК РК, 2000.Ч.2. С.24-45.
5. Жаутиков Т.М., Матвиенко В.Н. Металлогенез золота Казахстана. Сб. Металлогенез и перспективы развития минерально-сырьевой базы. Алматы: Гылым. 1999. Часть2. С.33-50.
6. Жаутиков Т.М., Фомичев В.И. Особенности формирования Васильковского золото-мегаштокверкового гиганта Северного Казахстана с позиции новой генетической концепции // Золото Сибири и Дальнего Востока: Геология, геохимия, технология, экономика, экология. Тезисы 3-го Всероссийского симпозиума с международным участием. -Улан-Удэ: Изд-во Бурятского научного центра СО РАН, 2004.- С.76-78.
7. Жаутиков Т.М., Фомичев В.И. Особенности формирования углеродисто- золотосульфидных месторождений Бакырчикского рудного поля // Труды 2 Международной научно-практической конференции. “Проблемы рудных месторождений и повышения эффективности геологоразведочных работ”. -Ташкент, 2003- С.167-168.
8. Фомичев В.И., Жаутиков Т.М. Поведение и формы миграции золота. Алматы, 2005, 172с.
9. Фомичев В.И., Жаутиков Т.М. Физико-химические особенности метаморфогенной ремобилизации золота при формировании золоторудных месторождений // Магматические, метасоматические формации и связанные с ними оруденение. Материалы научной конференции. Ташкент, 2005, с. 370-374.
10. Фомичев В.И. Типы геохимических барьеров на стратиформных и полиметаллических месторождениях // Вестник АН КазССР.1981.- № 2, С. 7-38.
11. Золоторудные месторождение Мурунтау. Ташкент: «ФАН», 1988, 539с.