

РУДОГЕНЕЗ И ГЕОДИНАМИКА В ПАЛЕОЗОЙСКОЙ ИСТОРИИ УРАЛА

В.А. Коротеев*, В.Н. Сазонов*, В.Н. Огородников **

**Институт геологии и геохимии УрО РАН,*

620016, Екатеринбург, Почтовый пер., 7, e-mail: root@igg.e-burg.su

*** Уральская государственная горно-геологическая академия,*

620014, Екатеринбург, Куйбышева, 30, e-mail: ogorodnikov.V@usmga.ru

Поступила в редакцию 30 августа 2001 г.

Состав различных продуктивных палеозойских комплексов и связанных с ними месторождений предопределяется главным образом геодинамическими обстановками их формирования. Так, океанические (O и D₂) и островодужные (O-S₁ и D₂) комплексы представлены преимущественно ультрабазитами и базитами, с которыми связаны хромиты, самородная платина, титаномагнетиты, платиноиды, золото и колчеданные руды. На континентальной окраине развиты базальтовые и андезитовые вулcano-плутонические комплексы, сопровождающиеся магнетит- и медно (с золотом)-скарновыми, медно-, золото- и молибден-порфировыми месторождениями. Коллизионные (C₁, P) комплексы (магматические и палингенные) имеют гранитоидный состав и сопровождаются золотом (главным образом кварц-жильного и прожилково-вкрапленного типов), редкими металлами и камнесамоцветным сырьем. При совмещении комплексов различных геодинамических обстановок возникают полигенные, полиформационные месторождения.

OREFORMING AND GEODYNAMICS IN THE PALEOZOIC HISTORY OF THE URALS

V.A. Koroteev*, V.N. Sazonov*, V.N. Ogorodnikov**

**Institute of Geology and Geochemistry of the Academy Sciences of Russia*

***The Urals States Academy of Mining and Geology*

The composition of the different productive Paleozoic complexes and ore deposits of the Urals is dominated mainly by the geodynamic environments of their formation. So the oceanic (O and D₂) and island arc (O₂-S₁ and D₂) complexes are predominatly of a basic or ultrabasic composition and mainly contain chromites, native platinum, titanomagnetites, PGE, gold, and copper massive sulfide ores. The continental-marginal basaltic and andesitic volcano-plutonic complexes are accompanied by skarn-magnetite, skarn-copper (as a rule with gold), porphyry-copper, porphyry-gold and porphyry-molibdenum deposits. The magmatic and palingenetic complexes of the collision environments (C₁, P) have a mainly granitoid composition and are accompanied by gold (mainly quartz-vein and disseminated types), rare metals and gams (pegmatite and greisen types). The polychronic and polyformation types of ores are formed when complexes of several geodynamic environments are combined.

По современным представлениям, сложившимся благодаря исследованиям, выполненным многими геологами, среди которых наибольший вклад внесли А.В.Пейве, С.Н.Иванов, Л.П.Зоненшайн, В.А.Коротеев, В.Н.Пучков, В.М.Нечеухин, К.С.Иванов, В.Г.Кориневский, Р.Г.Язева и др., Урал — складчатая система полного геодинамического развития, формирование которой, в связи с режимами расхождения и схождения литосферных плит, обусловило про-

явление здесь геодинамических обстановок континентального рифтогенеза, океанического спрединга, островных дуг, субдукции океанической коры под континентальную и коллизии смежных континентальных плит с образованием краевых вулcano-плутонических поясов. Интракратонное растяжение произошло в позднем рифее—кембрии. Ему предшествовало в раннем—среднем рифее образование системы внутренних авлакогенов и грабенов Евро-Азиатско-

го суперконтинента, вовлеченных по западной периферии последнего в палеозое в структуру складчатой системы. Океанический спрединг датируется ранним ордовиком. Островные дуги сформировались в Тагильском прогибе – в позднем ордовике–раннем силуре, в Магнитогорском прогибе – в среднем девоне. В раннем–среднем девоне расхождение плит сменяется сжатием, в результате чего в восточном обрамлении палеоокеана устанавливается обстановка активной континентальной окраины с формированием структур тектонического сжатия и аккреции со сложным строением и образованием краевых вулканоплутонических поясов; западное обрамление развивалось в обстановках пассивной континентальной окраины.

Настоящий обзор проблемы выполнен на материалах, полученных различными исследователями, включая авторов данной статьи, преимущественно в последние 10 лет (Берлянд и др., 1997; Волченко и др., 1998; Геодинамика..., 1991; Главные..., 1990; Зайков, Зайкова, 1996; Коротеев, 1996; Коротеев, Нечеухин, 1989; Масленников, 1999; Месторождения..., 1999; Прокин и др., 1993; Огородников, Сазонов, 1991; Пучков, 2000; Сазонов, 1998; Сазонов и др., 1986, 1996, 1999; Тектоника..., 1989; Koroteev et al., 1997; и др).

Указанным геодинамическим режимам и отвечающим им геодинамическим обстановкам свойственны свои структурно-вещественные комплексы (рис. 1), а также генетические и формационные типы оруденения (табл. 1).

Оруденение обстановки океанического спрединга. Главными составляющими этой обстановки являются ультрабазиты дунит-гарцбургитовой формации, нередко сопровождаемые комплексом параллельных долеритовых даек и толеитовые базальты. С ультрабазитами связаны многочисленные, в том числе крупные, месторождения хромитов. Хромитовые рудные тела (плитовидные, трубоподобные, сложной, но близкой к изометричной формы и др.) приурочены к верхней части дунит-гарцбургитовых комплексов. Отметим, что в самородках платины и хромитовых рудах зафиксировано самородное золото.

В связи с океаническими толеитовыми базальтами образовались субмаринные медно-колчеданные месторождения домбаровского (кипрского) типа. Вдоль зон развития базальтов наблюдается накопление магнетит-гематитовых и гематит-марганцевых пластовых залежей. Сейчас накоплены значительные данные,

свидетельствующие о том, что сульфидные руды кипрского типа – аналоги современных разнообразных сульфидных образований дна океана. На Урале среди объектов домбаровского типа можно назвать Маукское и Летнее месторождения. Они отличаются относительно низким уровнем золотоносности.

В серпентинизированных альпинотипных ультрабазитах Южного Урала известна специфическая золотая минерализация, развитая в виде золотомагнетитовых прожилков и золотоносных хлограпитов. Золотомагнетитовая минерализация развита в зонах (разломах) развития антигоритизации в альпинотипных ультрабазитах Среднего (Павловское проявление и др.) и Южного Урала. Хлограпиты (родингиты) установлены на месторождении Золотая гора. Золото фиксируется в последних, а также в антигорит-хлоритовых метасоматитах, секущих диопсидовых прожилках. Золотогорские хлограпиты представляют собой линзы и жилы, длина которых 0,5 – 0,6 км, средняя мощность 2 – 3 м (в раздувах до 6 – 7 м). Среднее содержание золота в них около 5 г/т. Самородное золото низкопробное, медь- и ртутьсодержащее, оно является главным носителем золота в рудных телах месторождения. В минерализованных золотогорских метасоматитах самородное золото встречается в ассоциации с ковеллином, халькозином, хромитом, магнетитом, хлоритом, редко с гранатом и карбонатом.

Оруденение островодужной обстановки. Эта обстановка обусловила формирование базит-гипербазитовых комплексов Платиноносного пояса, а также энзиматических вулканических поясов, которые слагаются продуктами дифференциации базальтоидных магм натриевой петрохимической серии.

Островодужная обстановка была, пожалуй, наиболее потентной в отношении эндогенного оруденения на Урале. В связи с ее разнообразными вещественными комплексами сформировались титаномагнетитовые, медно-железно-ванадиевые, колчеданные (уральский тип), колчеданно-полиметаллические (баймакский тип), золотополиметаллические (тип муртыкты), магнетит-скарновые, медно-порфировые (бошекульский тип) месторождения.

Титаномагнетитовые месторождения связаны с зональными телами дунит-клинопироксен-габбровой формации, которые в Тагильской мегазоне протягиваются в виде субмеридионально ориентированной полосы протяженно-

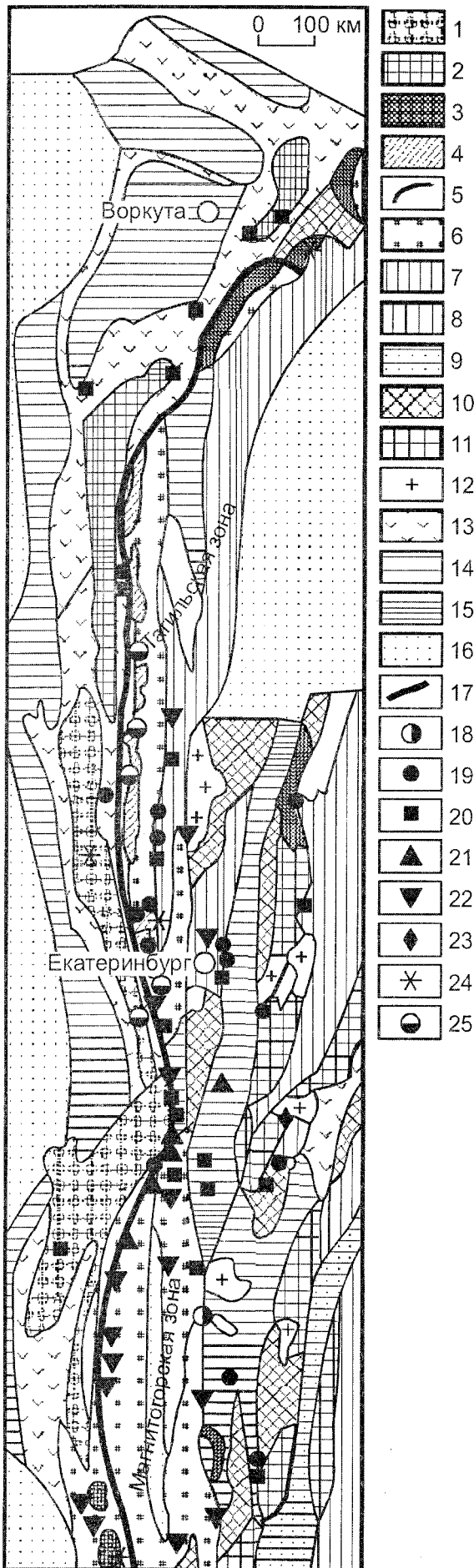


Рис. 1. Палеогеодинамические обстановки развития Урала, соответствующие им вещественные комплексы и их рудоносность, по (Koroteev et al., 1997; Сазонов и др., 1996) с дополнениями:

1 – фрагменты рифейских депрессий и дорифейского основания Восточно-Европейской платформы; 2 – венд-раннепалеозойские рифтовые структуры и ассоциирующие магматические комплексы; 3 – офиолиты; 4 – ультрабазит-базитовые массивы Платиноносного пояса; 5 – серпентинитовый меланж; 6 – островодужные ассоциации; 7 – Тягильской и Магнитогорской зон; 8 – то же Урало-Тобольского пояса; 9 – осадочные депрессии Тягило-Павдинского и Урало-Тобольского поясов; 10 – фрагменты континентальной коры; 11 – то же океанической коры; 12 – синорогенные гранитные комплексы; 13 – шельфовые и склоновые образования пассивной окраины; 14 – мелкловдные фации бассейнов форланда и внутренних; 15 – осадочный чехол сочленения Тягильской и Магнитогорской зон; 16 – то же Восточно-Европейской и Западно-Сибирской платформ; 17 – Главный Уральский коллизионный шов; 18 – 25 – месторождения: 18 – редкометальные, 19, 20 – золоторудные (19 – кварцжильные, 20 – прожилково-вкрапленные), 21 – скарны (магнетитовые и медно-магнетитовые), 22 – колчеданные и колчеданно-полиметаллические, 23 – медно (золотосодержащие)- и золотопорфировые, 24 – хромитовые, 25 – титаномagnetитовые

стью в сотни километров. Центральная часть массивов сложена дунитами; к периферии последние сначала сменяются клинопироксенитами, затем оливиновыми меланократовыми габбро. Имеются данные (Ю.А. Волченко, В.Г. Фоминых, устное сообщение), что эти зональные комплексы рассекаются габбро-норитовыми интрузиями. В зоне контактов последних устанавливаются «реакционные» ферроклинопироксениты с титаномагнетитовой минерализацией (качканарский тип). В связи с Волковским массивом габбро развита комплексная медно-ванадиево-фосфорная минерализация (волковский тип). Кроме того, установлена специализация платиноносного пояса на благороднометальное оруденение. По Ю.А. Волченко, В.В. Мурзину, В.П. Молошагу (устное сообщение) выделяются четыре типа последнего: 1) *тылаитовый* (изучен крайне слабо) – самородное золото, содержащее до 3 мас.% серебра, установлено в зонах серпентинизации ультрабазитов дунит-тылаитовой серии; 2) *качканарский* – золотопалладиевая минерализация, контролируется участками развития амфиболизации и плагиоклазизации в ультрабазит-габбро-норит-ферроклинопироксенитовой серии; 3) *волковский (высокосернистый)* – благороднометаллоносные (главным образом Pd и Au) медносульфидно-титаномагнетит-апатитовые руды в габбро, сформировавшиеся в два этапа (магматический и метаморфический); 4) *баронский* (малосернистый) – медно-золото-палладиевая минерализация в зонах развития амфиболизации, антигоритизации, флогопитизации, хлоритизации, редко оталькования на контакте диоритов с волковскими ультрабазитами. Формирование этих четырех типов благороднометального оруденения отвечает островодужной стадии и стадии предконтинентальной стабилизации (Волченко, Коротеев, 1998).

В энзиматических вулканических поясах, располагающихся симметрично относительно океанической структуры, локализуются золото-содержащие колчеданные месторождения уральского (медно-цинковоколчеданная формация), баймакского (колчеданно-барит-полиметаллическая или колчеданно-полиметаллическая формация) типов, золотополиметаллические (золотополиметаллическая формация) и золотоносные медно-порфиновые (медно-порфировая формация) месторождения, а также скопления марганцевых и железомарганцевых горизонтов в яшмах и вулканогенно-осадочных отложениях (рис. 2,а).

Отмечаются латеральная и вертикальная зональности в распределении колчеданных месторождений. Так, в нижних частях вулканических поясов, где развиты спилиты, включающие тела ультрабазитов и прорванные габбро, локализуется сульфидная минерализация, обогащенная кобальтом и никелем. Их золотоносность незначительная (обычно не выше десятых долей грамма в тонне). Колчеданные месторождения уральского типа залегают выше по разрезу среди диабазов, спилитов, кварцевых риолитов колчеданноносной формации.

Эволюция вулканогенного пояса с колчеданными месторождениями уральского типа в условиях островной дуги привела к появлению вулканических андезит-дацитовой формации. С последними сопряжены золото-содержащие колчеданно-полиметаллические (месторождения Баймакской группы, Березогорское и др.), медно-порфиновые (Салаватское месторождение и др.), а также золотополиметаллические (месторождения Муртыкты, Красная жила и др.) объекты. Причем, если колчеданные месторождения уральского типа формируются на морском дне с участием осадочного процесса, то колчеданно-полиметаллические – при мощности перекрывающей толщи пород до 1,5 км, а золотополиметаллические – не менее 1,8 км. Разная глубина формирования объектов привела к развитию окорудных метасоматитов различных формаций: в первом и втором случаях – кварц-серицитовой, в третьем – березит-лиственитовой.

Сульфидные месторождения баймакского типа отличаются от других типов колчеданных месторождений пространственной связью с субвулканическими телами кварцевых порфиров; широким развитием, а часто преобладанием, прожилково-вкрапленных (штокверковых) руд над массивными сульфидными; высокими содержаниями цинка (4–8%), меди (2–4%), золота (3–10 г/т) и серебра (40–60 г/т). На некоторых месторождениях этого типа имеются рудные зоны обогащенные свинцом (до 1–1,5%) и баритовые жилы. Месторождения Баймакского типа расположены в основном в Баймакском рудном районе на Южном Урале, здесь известны месторождения Бакр-Тау, Таш-Тау, Балта-Тау, Майское, Вишневецкое, Юлалинское и др. Кроме того, месторождения этого типа известны в Теренсайском и Ащевутаком районе (Джусинское, Барсучий Лог, Западно-Ащевутакомское).

На месторождениях Баймакского типа,

Золотоносные и продуктивные на золото комплексы основных геодинамических останков Урала

Геодинамические обстановки	Рудокализирующие палеотектонические структуры	Рудоносные геологические формации	Типы оруделения		Околорудные метасоматические формации	Практическая значимость	Примеры месторождений
			генетический	формационный			
Океанический и задугловый спрединг	Рифтовые депрессии, внутриокеанические разломы, блоки меланократового основания	Толлит-базальтовая	Вулканогенно-гидротермально-осадочный	Мелноколчеданный (кипрский) слабо золотоносный	Кварц-серпичитовая	Незначительная	Маукское, Летнее
		Дунит-гарцбургитовая (альпийская)	Метаморфогенный	Хромитовый слабо золотоносный Золотохлорогалитовый	Антигоритовая Хлорогалиты	Высокая (по Ст) Незначительная	Кемпирсай, Нурали Золотая гора
Островные дуги	Активизированные блоки меланократового основания, энзиматические вулканические пояса, островные дуги, междугловые и межрядовые депрессии	Габро-норитовая	Магматогенно-гидротермальный	Сульфидно-платино-палладиевая и магнетит-анатит-медная с золотом	Уралитовая, амфибол-плаггиоклазовая	Как золоторудных объектов незначительная	Волковское, Качканарское Первоуральское
		Риолит-базальтовая	Вулканогенно-гидротермально-осадочный	Медно-цинково-колчеданный (уральский) золотоносный	Кварц-серпичитовая, березит-лиственитовая	Высокая	Сафьяновское, Дегтярское, Гайское, Сибайское, Учалинское
		Андезит-дацитовая (известково-щелочная)	То же	Золото-барит-медно-цинковоколчеданный (баймакский)	Кварц-серпичитовая, редко березит-лиственитовая	Определяется присутствием в рудах золота и серебра	Бакр-Тау, Пильненское Березовогорское
		То же, но толеитовая	Магматогенно-гидротермальный	Золото-полиметаллический	Березит-лиственитовая	Значительная	Муртыкты
		Габро-диоритовая	То же	Медно-порфиновый золотоносный	Кварц-серпичитовая, березит-лиственитовая	Не ясна	Березняковское, Биргильдинское

Продолжение таблицы

Актив-ная окраина	Надсубдуктивные вулканоплутонические пояса, депрессии, мульды	Андезит-габродиоритовая, гранодиоритовая	Гидротермально-метасоматический, включающая контактный	Магнетит- и медно-магнетит-скарновый золотосодержащий Кварцевый	Скарновая Березит-лиственитовая -«-	Не ясна	Объекты, сопряженные с ауэрбаховским плутоническим комплексом
	Тоналит-гранодиоритовая, габрогранитная	Габро-диабазовая, «плагиогранитная» (метасоматическая), гранитоидная (?) Черносланцевая	Магматогенно-гидротермальный	Золотосульфидно-кварцевый	Березит-лиственитовая	Высокая, ряд объектов эксплуатируются	Березовское, Кочкарское
Главный коллизионный шов	Блоки сучивания, гранитизации, тектонические швы аккреции-коллизии	Гранитоидная (?)	То же	Золотосульфидный	Березит-лиственитовая	Значительная	Миндякское
		Габро-диабазовая, «плагиогранитная» (метасоматическая), гранитоидная (?) Черносланцевая	Гидротермальный (рудобразующий флюид полигенный)	Золотосульфидно-теллуридный, золотосульфидно-реальгаровый, кварцевый, золотосульфидно-кварцевый,	Эйситовая, березит-лиственитовая, кварц-серицитовая, аргиллизитовая, кварц-серицитовая	То же	Светлинское, Гагарское, Воронцовское, Астафьевское, Кумакское

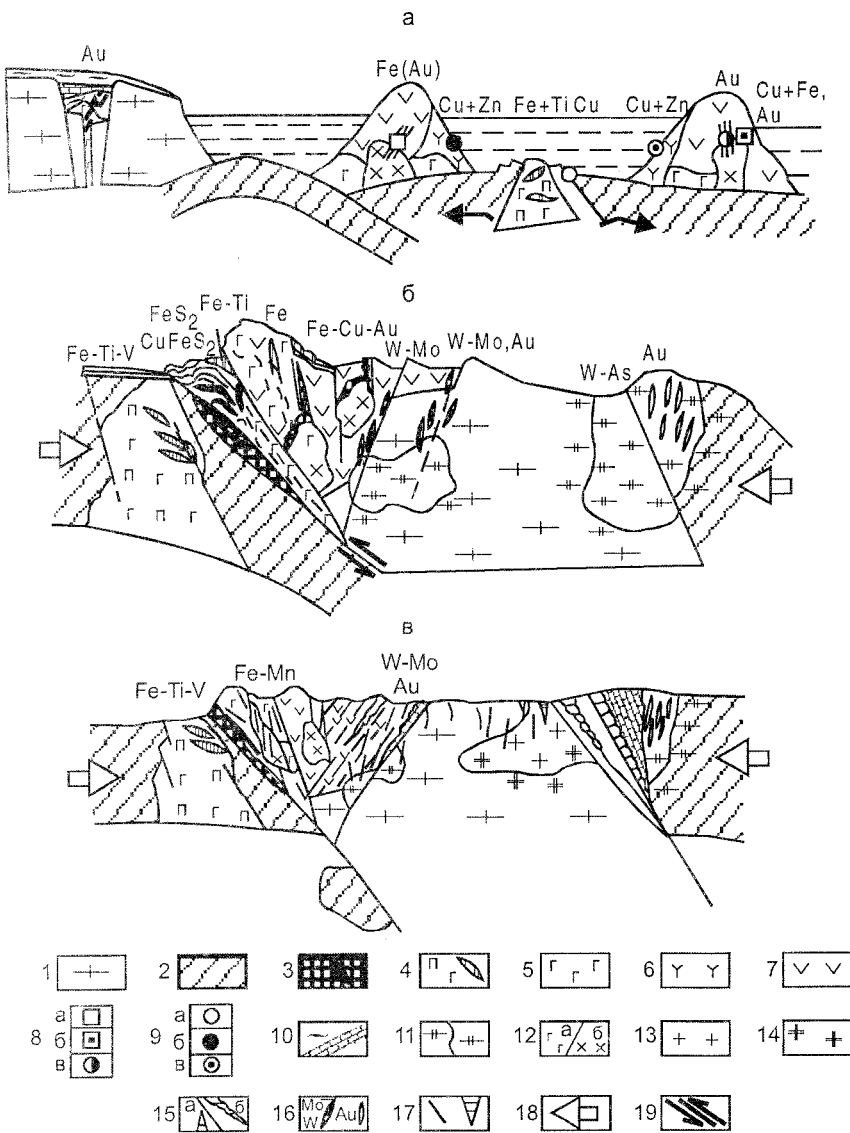


Рис. 2. Кинематическая модель формирования структур островодужной стадии (а), ранне-(б) и позднепалеозойской (в) коллизий в пределах активной континентальной окраины на Урале.

1 – древняя континентальная кора; 2 – толеит-андезитовые раннеокеанические образования; 3 – ультрабазиты дунит-гарцбургитового хромитоносного комплекса; 4 – ультрабазит-габбровый комплекс с титаномagneтитовой минерализацией; 5–7 – расплавы и породы базальтового (5), андезитобазальтового, андезитового и дацитового (6), дацитового, риодацитового и риолитового (7) составов; 8 – туфы различного состава; 9 – колчеданные и железомарганцевые залежи; 10 – терригенные и карбонатные отложения; 11 – гранитоиды тоналит-гранодиоритовой формации и плагиогранитизация; 12 – образования габбро-гранитной (а) и габбро-диорит-гранодиоритовой (б) формаций; 13 – граниты гранитной формации; 14 – микроклинизация гнейсов; 15 – кианитовые

кварциты (а) и альпинотипные ультрабазиты (б) высокобарических шовных зон; 16 – кварцевые жилы: шеелитоносные, золоторудные молибденитсодержащие, хрусталеносные; 17 – пегматиты: хрусталеносные, с самоцветами, бериллиевые и керамические; 18 – направление сжатия; 19 – тектонические нарушения

при наличии массивных сульфидных руд, широко распространены прожилково-вкрапленные (штокверковые) руды, составляющие иногда 70–90% общего объема рудных тел.

Трансформация золотосодержащих колчеданных месторождений в период коллизии (D_1 , S_1) привела к формированию собственно золоторудных залежей, существенному укрупнению тонкодисперсного золота (Сазонов и др., 1996, 1999).

Медно-порфировые объекты островодужной обстановки (наиболее известны Салаватское и Биргильдинское месторождения) маломасштабные и по размерам, и по запасам меди – основного полезного компонента. Они сопря-

жены с гипабиссальными интрузиями габбродиоритов и диорит-плагиогранитов, комагматичными вулканитам натриевой андезит-базальтовой формации. Их рудные тела выделяются по результатам опробования на медь и золото зон развития кварц-серицитовых, серицит-хлоритовых метасоматитов и пропилитов, минерализованных главным образом пиритом и халькопиритом.

Островодужные магнетит-скарновые месторождения сопряжены с натриевыми плутонами андезит-базальтового вулканоплутонического комплекса. Эти объекты мелкомасштабные, как правило, среди них промышленно зна-

чимых нет. В качестве примера можно привести Покровское (Средний Урал, Тагильская мегазона) и Круглогорское (Южный Урал, Магнитогорская мегазона) месторождения. Крупные и сверхкрупные месторождения этого типа (Сokolовское, Качарское, Алешинское и др.) известны в пределах калий-натриевого Валерьяновского вулcano-плутонического пояса. Этот пояс с востока в среднем-позднем виле обрамляет Уральские структуры. На основании данных по петро- и геохимическим параметрам он некоторыми исследователями, в частности Ю.А.Полтавцом (Прокин и др., 1993), параллелизуется с энсиалической островной дугой. Нами указанный пояс рассматривается в составе активной континентальной окраины (Koroteev et al., 1997, рис. 1). Но при этом мы полагаем, что указанные данные Ю.А.Полтавца нуждаются в глубоком осмыслении и адекватной интерпретации.

Оруденение обстановки активной континентальной окраины. В пределах активной континентальной окраины развиты краевые базальтоидные и андезитоидные вулcano-плутонические пояса, сформировавшиеся на аккреционно-коллизиионном основании (включают золотопродуктивные массивы габбро-диорит-гранодиоритовой и тоналит-гранодиоритовой формаций), шовные зоны и зоны Трансуральского коллизиионного шва. Механизм формирования вулcano-плутонических комплексов в таких поясах иллюстрируется рис.2,б. Базальтоидные и андезитоидные вулcano-плутонические пояса формируются тогда, когда континентальная кора по зоне субдукции надвигается на океаническую кору. На значительных глубинах последняя плавится с отделением флюидов с высокой активностью азота, метана и углекислоты (Кадик, 1975). Флюиды за счет морской воды, захороненной в морских толщах, обогащаются хлором и становятся хорошим экстрактором металлов, включая золото, из вышележащих толщ (Глюк, 1994). В верхней части вулcano-плутонической структуры создаются условия сжатия, а вдоль зоны субдукции в нижней корневой части аллохтона и вдоль шовных структур, ограничивающих гнейсовые блоки и имеющих характер сбросов, создаются условия растяжения. Происходит падение общего давления, разуплотнение пород, и, как следствие, возникает декомпрессия. Понятно, что область декомпрессии благоприятна для подтока флюидов. В центральной части разреза на определен-

ных глубинах за счет мантийного тепла при высокой активности CO_2 возникают магматические очаги. Последние могут периодически отщеплять расплавы, которые кристаллизуются в виде бескорневых относительно малоглубинных массивов. С этими массивами в генетической и пространственной связи находятся магнетит-скарновые, магнетит-медно-скарновые, золотоносные медно-скарновые, медно-порфиоровые и золоторудные месторождения кварц-жильного типа (см.рис. 2, б).

Молибден-медно-порфиоровое оруденение развито в тех частях активной континентальной окраины, где краевые (наложенные) вулcano-плутонические пояса сформировались на коре континентального типа; состав последних андезитовый. Объекты минерализации этого типа сопряжены с небольшими субвулканическими и гипабиссальными интрузиями диоритов, диоритовых и кварцевых порфиритов, плагиогранитов, комагматичных вулканитам андезитовой формации. Указанные интрузии отличаются многофазностью, внутрикамерной дифференциацией, развитием эксплозивных брекчий (Главные..., 1990). Среди характеризующихся объектов наиболее типичными и масштабными являются Новониколаевское, Тарутинское, Баталинское на Южном Урале.

В последние годы на Южном Урале открыто золото-порфиоровое месторождение, которое по многим параметрам схоже с Мо-Си объектами, но отличается высоким (промышленным) содержанием золота. Имеются данные (Сазонов и др., 1999) о том, что это месторождение является полигенным и золото в нем имеет наложенный характер.

В зонах смятия, ограничивающих гнейсовые блоки, отмечаются кондуктивные теплотокки, вызывающие в вулcanoгенно-осадочной толще метаморфическую трансформацию на уровне эпидот-амфиболитовой фации. В зону такого метаморфизма попадают краевые части деформированных гнейсовых ядер. Последние в зонах проницаемости и по границам блоков метаморфизуются. В них возникают локальные очаги анатектических расплавов, производными которых являются интрузии габбро-диорит-гранитной и тоналит-гранодиоритовой формаций. Пластовский, Айдырлинский, Шартапский, Верхисетский и другие массивы гранитоидов являются типичными представителями последней формации. Абсолютный возраст гранитоидов 360 – 320 млн лет, метаморфитов –

390 – 360 млн лет (Огородников, Сазонов, 1991). Взаимоотношения гнейсовых блоков с гранитоидами, идентичные рассмотренным, описаны для Приполярного Урала (Фишман, 1971).

С крупными массивами гранитоидов тоналит-гранодиоритовой формации связаны дайки гранитоид-порфиров и гидротермальная деятельность. Продуктами последней являются кварцево-жильные поля. Жилы развиваются в эндо- и экзоконтактовой зонах таких массивов. Они выполняют протяженные (до 1,5 км) трещины скола, реже отрыва с крутыми углами падения. В жильных полях устанавливаются безрудные кварцевые жилы, а также золотоносные шеелит-кварцевые, шеелит-турмалин-кварцевые. Последующие тектонические подвижки вдоль шовных зон обусловили поступление гидротермальных растворов, вызвавших гидротермально-метасоматическое преобразование пород. Его ранними продуктами являются биотитизированные и амфиболизированные породы. Указанные выше золотоносные кварцевые жилы возникают при сдвиговых деформациях. Их вмещающие породы самые различные, в том числе дайки гранитоид-порфиров, в которых развиты обычно жилы лестничного типа. Рудные минералы жил представлены арсенопиритом, пиритом, реже другими сульфидами и самородным золотом. Околорудные метасоматиты рассматриваемых жил – березиты и листовениты. В возрастном интервале C_2-T (320 – 230 млн лет) в шовных зонах, обрамляющих «микроконтиненты» на активной окраине континента, а также в глубинных разломах в пределах пассивной его окраины, проявились дислокационный метаморфизм, расщепление, будинаж. Для метаморфитов характерно развитие стресс-минералов: кианита, ставролита, фенгита, хлоритоида и др.

Гидротермальная деятельность указанного возрастного интервала началась с воздействия высокотемпературных (500–600°C), щелочных, хлоритипных флюидов на плагиигранитизированные (в более раннее время) породы, в результате возникли биотит-хлоритовые метасоматиты. Последние, в случае развития их вблизи контакта с карбонатными породами (геохимический барьер), часто отличаются повышенной золотоносностью, вплоть до промышленной. Источник золота в данном случае двойственный – мантийный и коровый (последний появляется в результате трансформации золоторудных объектов, сопряженных с массивами гранитоид-

дов тоналит-гранодиоритовой формации).

В это время в гнейсовых блоках (см. рис. 2, в) тепловой поток усиливается, его фокус перемещается в центральную часть, обуславливая здесь метаморфизм пород в условиях амфиболитовой фации, а также гранитизацию.

Позднее (280 – 240 млн лет) завершаются преобразования в гнейсовых блоках, снижается общее давление, в последних формируются массивы гранитов гранитной формации. На регрессивной стадии метаморфизма широко проявилась гидротермальная деятельность, обусловленная фторотипными гидротермами, связанными с гранитами, и хлоритипными – мантийного происхождения (Сазонов и др., 1986; Огородников, Сазонов, 1991). Здесь образовались редкометалльные, керамические и хрусталоносные (с самоцветами) пегматиты, флюоритовые с редкими металлами грейзенны, кварцевые жилы с молибденитом (сопровождаются калишпатовыми метасоматитами), зоны развития существенно глиноземистых минералов (см.рис. 2, в). Эволюция хлоритипных гидротерм во времени и пространстве, главным образом за счет падения температуры и обогащения их на глубоких горизонтах бикарбонат-ионом, привела к сопряженному образованию золотосодержащей сульфидной минерализации прожилково-вкрапленного типа в биотит-хлоритовых метасоматитах на глубоких горизонтах месторождений (горного хрусталя), а также в эйситах и кварц-серицитовых метасоматитах на промежуточных горизонтах и кварц-жильной хрусталоносной минерализации, которой сопутствуют аргиллизиты, на верхних горизонтах. Аргиллизация приводит к перетолжению золота в обрамлении зон распространения продуктов этого процесса (Огородников, Сазонов, 1991). Имеются минералогические-геохимические доказательства участия мантийных флюидов в формировании магматитов, метаморфитов и метасоматитов, указанных на рис. 2, в (Сазонов и др., 1986).

Таким образом, в Уральском регионе в условиях растяжения в зонах раннепалеозойских раздвигов возникла хромитовая и золото-содержащая медноколчеданная минерализация. В условиях сжатия (оно дискретно проявилось, начиная с верхнего силура и кончая в триасе) сформировались базальтоидные вулканические, базальтоидные и андезитовидные вулкано-плутонические пояса, регионально распространенные зоны смятия, в том числе в древних бло-

ках, с которыми сопряжены интрузивные (от основного до кислого состава) образования, метаморфиты-метасоматиты и рудная минерализация. Последняя представлена золотосодержащими медноколчеданными, колчеданно-полиметаллическими, медно-скарновыми, медно-порфировыми и золоторудными месторождениями различных формационных типов, редкометальными (пегматитовыми и грейзеновыми) месторождениями. Кроме того, здесь развита кварцжильная хрусталеносная минерализация, нередко сопряженная в пространстве и времени с золотым прожилково-вкрапленным оруденением.

На основе всей совокупности приведенных выше данных представляется возможным сформулировать поисковые, и отчасти оценочные, критерии для разных типов оруденений, сопряженных с вещественными комплексами различных геодинамических обстановок.

Объекты океанической геодинамической обстановки – это хромитовые, колчеданные месторождения кипрского типа (Домбаровская группа, Маукское и др.), золотохлограпитовые (Золотая гора) и золотомагнетитовые проявления (зоны разломов в контактовых частях массивов антигоритизированных альпинотипных ультрабазитов).

Для хромитовых месторождений показано (Главные..., 1990), что они локализируются в верхних частях альпинотипных дунит-гарцбургитовых комплексов. Как показано Ю.А. Волченко и др. (1991), хромитовые руды обогащены Os, Ir, Ru, а ультраосновные породы, подстилающие руды, обеднены хромом. Около рудных тел развит паргасит (данные Ю.А. Волченко, устное сообщение). На основе приведенных материалов в указанной работе предложена модель экстракции и перераспределения с концентрацией хрома высокотемпературными гидротермами натрового типа в условиях трансформации мантийного рестита в земной коре.

Месторождения и рудопроявления кипрского типа сопряжены с вулканитами спилит-диабазовой формации, продукты которой фиксируются вдоль рифтов, заложенных в палеоокеанической коре. На площадях, “захваченных” вещественными комплексами островодужной обстановки, перспективными на медноколчеданное оруденение являются участки (зоны) распространения натриевой риолит-базальтовой и андезит-дацитовой формаций. Месторождения приурочиваются к центрам вулканизма. Для риолит-базальтовой формации – это

крупные вулканические постройки центрального типа, а для андезит-дацитовой – небольшие по масштабам вулканические постройки такого же типа, средние части которых обычно фиксируются гипабиссальными и субвулканическими интрузиями плагиогранитов, диоритов, дацитов (месторождения баймакского типа), андезитов (месторождение Муртыкты). В пределах продуктивных вулканических построек рудные тела могут быть обнаружены в палеодепрессиях, которые в геологическом разрезе зафиксированы пачками слоистых туффитов и вулканомиктовых отложений. Специально подчеркнем, что в последние годы (Зайков, Зайкова, 1996; Масленников, 1999 и др.) в ряде колчеданных месторождений Урала (Яман-Касы, Александринском, Таш-Гау) выделены сульфидные трубы, текстурно-минералогическая зональность которых соответствует таковой труб современных “черных” курильщиков. Интересным является вывод авторов указанных работ о том, что на отмеченных ими и некоторых других колчеданных месторождениях “ураганские” содержания золота – результат выщелачивания сульфидов и теллуридов при субмаринном гипергенезе колчеданных руд (Тесалина и др., 1998).

В пределах продуктивных вулканических построек (рудных полей) колчеданные месторождения можно искать, только опираясь на локальные рудоконтролирующие факторы: экструзивные купола риолитов, дацитов, субвулканические андезиты, флюидалные туфы кислых пород, горизонты слоистых туффитов и красных яшм. Важный поисковый признак – присутствие брекчий с обломковидными обособлениями сульфидов. Выше отмечалось, что для колчеданных месторождений, особенно уральского типа, характерно проявление надрудных гидротермально-метасоматических изменений боковых пород – гематитизации, эпидотизации, серицитизации, баритизации, карбонатизации. Это обстоятельство успешно используется в регионе при поисках слепых колчеданных месторождений. В качестве важного поискового признака выступает развитие над колчеданными залежами (что особенно характерно для золото- и колчеданно-полиметаллических объектов) существенно хлоритовых и хлорит-кальцитовых метасоматитов (места связывания вынесенных в процессе рудообразования таких компонентов, как SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO , MnO).

Различные уровни литогеохимических ореолов корреспондируются с различными уровнями эрозионного среза рудно-геохимических систем. Исходя из этого, слепые месторождения колчеданного типа следует ожидать на площадях, где установлены геохимические аномалии, содержащие компоненты фронтальной и внешней зон литогеохимического ореола. Эродированные в той или иной мере колчеданные залежи сопрягаются с аномалиями, включающими химические элементы окколорудной зоны: Cu, Zn, As, Pb, Cd. Естественно, что более перспективными являются аномалии комплексного состава с высокоаномальными концентрациями перечисленных элементов.

Для обстановки активной континентальной окраины типоморфны, главным образом, золотое оруденение, представленное объектами метаморфогенно- и магматогенно-гидротермального типов, а также редкометальное, в основном пегматитового и гидротермального (грейзенового) типов. Основные критерии поисков золоторудных месторождений сводятся к следующему: 1) контроль шовными зонами (зонами смятия) – связь опосредованная, так как эти зоны контролируют магматогенные комплексы, с которыми связано золотое оруденение; 2) тесная сопряженность с массивами, принадлежащими габбро-диорит-гранодиоритовой, габбро-гранитной и тоналит-гранодиоритовой формациям, а также с поясами (и группами) даек гранитоид-порфириров (объекты кварц-жильного типа, реже золотосодержащие скарновые); 3) связь с окколорудно измененными породами, относящимися к формациям березитов-лиственитов (наиболее распространены), пропилитов, кварц-серицитовых, а также фемических (биотитовых, роговообманково-биотитовых) метасоматитов; 4) локализация, в связи с шовными зонами, дренировавшими мантию, в метаморфизованных терригенных породах зеленосланцевой и амфиболитовой фаций (характерно для полигенных, полиформационных метаморфогенно- и магматогенно-гидротермальных объектов); 5) развитие по шовным зонам плагитогранитизации, биотитизации и близкорудных кварц-серицитовых метасоматитов (характерно для площадей проявления коллизии); 6) отчетливо проявленный литогеохимический ореол золота и его элементов-примесей: серебра, свинца, цинка, молибдена, ртути, хрома, никеля (последние два элемента характерны только для проявлений, локализующихся в терригенных

толщах в связи с шовными зонами мантийного заложения). Крупные собственно золоторудные месторождения сопряжены (во времени и пространстве, имеют генетическую связь) с массивами тоналит-гранодиоритовой, габбро-диорит-гранодиоритовой формаций, а также с площадями интенсивной концентрации даек гранитоид-порфириров. Такие объекты характеризуются длительностью (до 30–50 млн лет), многостадийностью (полиэтапностью) формирования продуктивных минеральных ассоциаций. В них отчетливо проявлен эндогенный ореол золота, а также его элементов-спутников: Ag, Cu, Pb, As, W, Mo, Bi, Sb, Hg. Для рассматриваемых месторождений типоморфны метасоматиты березит-лиственитовой и кварц-серицитовой формаций. Проявлена статистическая закономерность: березит-лиственитовая формация характерна для гранитоидов тоналитового состава и условий замкнутой гидротермальной системы (Березовское, Кочкарское и др. месторождения), кварц-серицитовая формация связана с продуцирующими комплексами габбро-диоритового состава (месторождения Пановская ляга, Виллойское и др.). К тому же, метасоматиты этой формации могут возникать в составе березит-лиственитовой формации в случае формирования последней в условиях открытой или периодически открывающейся системы.

При мелкомасштабных металлогенических исследованиях и прогнозировании на рудное минеральное сырье на Урале первостепенное значение имеет выделение тектонических структур второго порядка – зон различных геодинамических обстановок. Причем наряду с типоморфными материальными комплексами этих структур, возникшими в процессе формирования последних, значительное внимание должно уделяться комплексам, появившимся в результате трансформации более ранних структур. Ясно, что названные виды исследований должны выполняться на добротной геолого-формационной основе. Последним должна в существенной мере определяться их эффективность, так как металлогеническая специализация магматических комплексов названных структур в настоящее время в главных чертах известна.

При средне- и крупномасштабных прогнозно-металлогенических исследованиях на первый план выдвигаются структурно-тектонический, магматический, метаморфический (метасоматический) факторы контроля оруденения.

На этой стадии исследования проводится дифференциация вулканоплутонических и вулканических комплексов по степени их продуктивности. Появляется возможность использования большинства из перечисленных выше поисковых критериев оруденения.

Список литературы

Берлянд Н.Г., Водолазская В.П., Ерошевская Р.И. и др. Палеодинамика земной коры Уральской складчатой системы и ее металлогения//Геология и минерагения подвижных поясов. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С.119–140.

Волченко Ю.А., Золов К.К., Коротеев В.А. и др. Новые и перспективные типы платиноидного оруденения Урала//Геология и металлогения Урала. Екатеринбург: ДПР УрФО, ОАО УГСЭ, 1998. С.238–255.

Геодинамика и металлогения Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 214 с.

Главные рудные геолого-геохимические системы Урала//Дымкин А.М., Нечеухин В.М., Сазонов В.Н. и др. М.: Наука, 1990. 269 с.

Глюк Д.С. Экспериментальное исследование водно-силикатных систем с золотом. Новосибирск: Наука, 1994. 118 с.

Зайков В.В., Зайкова Е.В. Металлогения отложений современных океанов и их формационные аналоги в складчатых системах//Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С.27–38.

Золото Урала. Коренные месторождения//Сазонов В.Н., Григорьев Н.А., Мурзин В.В. и др. Екатеринбург: УрО РАН, 1993. 211 с.

Кадик А.А. Вода и углекислота в магматических процессах//Физико-химические проблемы гидротермальных и магматических процессов. М.: Наука, 1975. С.5–32.

Коротеев В.А. Тектоника литосферных плит и проблемы металлогении//Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С.4–10.

Коротеев В.А., Нечеухин В.М. Эволюция геодинамических режимов рудообразования в геосинклинально-складчатых системах уральского типа//Эволюция рудообразования. М.: Наука, 1989. С.126–137.

Масленников В.В. Седиментогенез, гальмиролиз и экология колчеданных палеогидротермальных полей. Миасс: Геотур, 1999. 348 с.

Месторождения полезных ископаемых Урала /Ред. В.А.Коротеев, В.А.Прокин. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1999. 184 с.

Мурзин В.В. Рудные минеральные ассоциации как показатель геологических и физико-химических условий формирования месторождений золота Урала: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. 37 с.

Прокин В.А., Сазонов В.Н., Полтавец Ю.А. Эволюция эндогенных рудных формаций Урала с позиций тектоники плит//Геология рудных месторождений, 1993. №2. С.151–160.

Огородников В.Н., Сазонов В.Н. Соотношения золоторудных и хрусталеносных месторождений обрамления гнейсовых блоков Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 72 с.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.

Сазонов В.Н. Золотопродуктивные метасоматические формации подвижных поясов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН – УГГТА, 1998. 181 с.

Сазонов В.Н., Григорьев Н.А., Мурзин В.В. Геодинамические обстановки локализации золотого оруденения в складчатых системах уральского типа //Металлогения складчатых систем с позиций тектоники плит. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. С.167–176.

Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Малюгин А.А. и др. Геологические, физико-химические и геохимические условия формирования золотооруденения Урала //Петрология и рудообразование. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1996. С.84–94.

Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН – УГГТА, 1999. 571 с.

Тектоника, геодинамика и металлогения Урало-Тяньшанской складчатой системы. Свердловск: ИГГ УрО РАН, 1989. 214 с.

Тесалина С.Г., Масленников В.В., Сурин Т.Н. Александринское медно-цинково-колчеданное месторождение. Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 228 с.

Фишман М.В. Гранитоиды Приосевой зоны Приполярного Урала в связи с проблемой эволюции магматизма подвижных поясов земной коры. Сыктывкар: ИГ КНЦ УрО РАН, 1971. 55 с.

Koroteev V.A., Boorder H., Necheukhin V.M. et al. Geodynamic setting of the mineral deposits of the Urals//Tectonophysics, 1997. V.276. P.291–300.

Рецензент Пучков В.Н.