

УДК 553.411.07:551.24

ЗОЛОТОРУДООБРАЗУЮЩИЕ СИСТЕМЫ ОРОГЕННЫХ ПОЯСОВ

Н. А. Горячев

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт, г. Магадан
E-mail: goryachev@neisri.ru

На примере главных золоторудных поясов Востока России (Яно-Колымский, Монголо-Охотский, Кузнецко-Байкальский и пр.) изложены представления о золоторудообразующих системах орогенных поясов обрамления Сибирского кратона. Анализируется понятие золоторудообразующих систем (ЗРС), характеризуются типы золотого оруденения и рассматривается его эволюция в истории формирования орогенного пояса. На основании закономерностей распределения разных типов месторождений в пространстве и времени, учитывая изотопно-геохимические данные, показано, что золоторудообразующие системы орогенных поясов в своем происхождении охватывают весь комплекс геологических формаций орогенных структур, имея длительную предысторию: формирование осадочных бассейнов пассивных континентальных окраин (черносланцевые толщи) или бассейнов, связанных с формированием вулканических островных дуг. Однако основные процессы формирования золоторудообразующих систем обусловлены орогенным региональным и зональным метаморфизмом и связанными с ним магматическими очагами и региональными флюидными потоками, сформировавшими конкретные магматические комплексы и золоторудные месторождения.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, орогенные пояса, процессы рудообразования, рудообразующие системы, изотопия серы и свинца, плутонометаморфическая модель.

Рудообразующие системы (РС) большинством геологов рассматривались как генетические системы, возникающие в определенные периоды развития крупных геологических структур. Наиболее полно представления о РС разработаны в учении о рудно-магматических (Иванкин, Рабинович, 1971) или магматогенно-рудных (Власов, 1979; Магматогенно-рудные....., 1986) системах на примере объектов, где отчетливо просматривается связь между процессами магматизма и генезисом руд. Согласно Г. М. Власову, рудно-магматические системы (РМС) – природные сообщества типа магматизм – сопутствующее оруденение, представляемые в виде моделей и объединяющие источники рудного вещества, пути его перемещения и места локализации (Власов, 1979). РМС – «модель парагенеза проявлений рудогенерирующего магматизма и эндогенного оруденения, занимающих некоторый объем геологического пространства, в котором магматизм, оруденение и вмещающие их геологические образования находятся в определенных структурных отношениях как между собой, так и по отношению к другим РМС» (Романовский, 1987. С. 18). М. М. Константинов (1984) при исследовании проблемы РС выделил три класса моделей золоторудных месторождений, исходя из отношения оруденения к магматизму: (1) «амагматические» приповерхностного, малоглубинного и глубинного уровней;

(2) вулканических и вулкано-плутонических и (3) плутонических месторождений. В. И. Гончаров определил РМС как «совокупность геологических тел (осадочных и магматических пород, гидротермалитов, первичных ореолов рассеяния элементов) в блоке земной коры, связанных друг с другом общностью и последовательностью происхождения и образующих генетическую целостность, единство части материального мира» (1990. С. 4).

Однако, как справедливо замечали многие исследователи, процессы рудообразования не могли существовать вне геологической среды и всех ее составных частей, поэтому В. И. Смирнов (1989) дал следующее определение: рудообразующие системы – это совокупность взаимосвязанных геологических процессов, обстоятельств и обстановок, определяющих условия формирования рудных месторождений. Согласно А. И. Кривцову, РС представляют собой геологические процессы, сопровождающиеся обособлением больших масс концентрированного рудного вещества в результате односторонней его миграции «с падением содержания в одних и ростом в других, как правило, локальных участках земной коры» (Кривцов, 1989. С. 7). Главными элементами этих систем являются источники энергии, транспортирующих агентов и рудного вещества; пути транспортировки и области рудонакопления. Для описания рудообразующих систем предложено пять моделей рудогенеза: плутоногенная, плутоногенно-гидротермальная, гидротермальная рециклинговая (кон-

вективная), седиментогенно-гидрогенная и метаморфогенно-регенерационная (Кривцов, 1989).

По отношению к золоторудообразующим системам (ЗРС) понятие динамической ЗРС было определено как взаимодействие в пространстве и времени всего разнообразия факторов, характеризующих среду генерации рудоносных растворов, условия транспортировки, области локализации и интенсивность пострудных процессов (Эйриш, 1991; Моисеенко, Эйриш, 1996). В то же время Ю. Г. Сафонов рудообразующую систему золоторудных месторождений понимает «как область зарождения и миграции структурно связанных потоков рудоносных растворов (или единого такого потока) с определенными физико-химическими свойствами и термодинамическими параметрами, изменение которых в конечном счете приводит к рудоотложению – к образованию месторождений – и тем самым к затуханию деятельности самих систем» (1997. С. 37). Продуктивность таких систем определяется соотношением накопления, рассеяния и отложения рудных компонентов. При этом Ю. Г. Сафонов выделяет «ординарные» РС как явления, результатом которых будет месторождение или рудное поле, и «мегасистемы», в которых ординарные РС объединены условиями и факторами зарождения, определяемыми мантийно-коровыми взаимодействиями. Он же пришел к выводу о малой вероятности выявления универсальных моделей образования золоторудных месторождений.

Мы под РС понимаем совокупность эндогенных процессов, протекающих в геологической среде и приводящих к возникновению магматических расплавов и рудоносных флюидов (Гамянин, Горячев, 1991). Продуктами деятельности таких систем являются рудно-магматические узлы. Среди РС выделяются региональные и локальные, отвечающие складчатому поясу и рудному узлу или полю (Гамянин и др., 2003б), в данном контексте наши представления близки взглядам Ю. Г. Сафонова (1997). В дальнейшем мы пришли к выводу о необходимости рассматривать процессы регионального и особенно зонального метаморфизма в комплексной плутонометаморфической модели формирования золотого оруденения коллизионных орогенных поясов (Горячев, 1998, 2003). Кроме того, при разработке моделей рудообразования следует учитывать геологическую предысторию и унаследованность оруденения (Рундквист, 1993, 1997; Сидоров, 1994), т. е. палеогеодинамические обстановки и условия формирования структурных элементов орогенных поясов.

Таким образом, ЗРС – это совокупность геологических процессов, которые при формировании орогенных поясов, взаимодействуя друг с другом, привели к возникновению поясов закономерно сочетающегося разнотипного золотого оруденения.

Предметом статьи является исследование региональных золоторудообразующих систем складчатого обрамления Сибирского кратона, которое представляет собой ряд орогенных поясов, оха-

рактеризованных в статье Л. М. Парфенова с соавторами (2003) и дополненных новыми данными (Геодинамика....., 2006). Согласно указанным источникам, орогенный пояс представляет собой совокупность деформационных структур, возникающих на месте и (или) окраине океанического бассейна в результате аккреции террейнов к континенту (кратону) или при столкновении (коллизии) континентальных блоков (Парфенов и др., 2003). В состав таких поясов входят деформированные террейны разного состава и происхождения, деформированные окраины кратонов или микроконтинентов, фрагменты островных дуг, пояса зонального метаморфизма и гранитоидного магматизма. Среди орогенных поясов выделяются коллизионные и аккреционные типы, которые правильнее называть аккреционно-коллизионными и коллизионно-аккреционными (Соколов и др., 2003), поскольку их формирование многогранно и нередко сочетает в себе эти два типа, сменяющих друг друга по простиранию.

Вокруг Сибирского кратона выделяется несколько разновозрастных поясов, причем западный его фланг – это Циркум-Сибирский позднерифейский орогенный пояс, на юге он наращивается Енисей-Забайкальским раннепалеозойским и Монголо-Охотским позднепалеозойско-раннемезозойским поясом (Парфенов и др., 2003). Восточный перипацифический фланг начал орогенное развитие в раннем палеозое (отдельные фрагменты орогенных позднеордовикско-силурийских поясов в пределах Охотского и Олонского кратонных террейнов, Бурей-Ханкайского супертеррейна), но максимально орогенные этапы проявились в позднем мезозое и кайнозое. Здесь выделяются, помимо восточного замыкания Монголо-Охотского орогенного пояса, позднепалеозойский Бурей-Ханкайский, позднеюрско-раннемеловые Яно-Колымский и Охотский, меловые Олойско-Чукотский, Сихотэ-Алинский и Корьякский и кайнозойские Сахалино-Камчатский и Восточно-Камчатский пояса (Геодинамика....., 2006). Они относятся либо к коллизионным (аккреционно-коллизионным) – Монголо-Охотский, Яно-Колымский, Олойско-Чукотский, либо к аккреционным (коллизионно-аккреционным) – все остальные.

Практически всем орогенным поясам присущи пояса месторождений золота соответствующего возраста, однако анализ времени проявления пиков интенсивности и экстенсивности золотого оруденения свидетельствует о том, что главные эпохи его появления – позднерифейская, силурийская, позднемезозойская и позднекайнозойская. Именно этим периодам свойственно формирование локальных ЗРС, объединяемых в региональные и занимающих четкую позицию относительно орогенных поясов (рис. 1).

Прежде чем анализировать особенности региональных ЗРС, связанных с орогенными поясами, необходимо уделить внимание широко распространенному среди зарубежных геологов понятию об орогенных месторождениях золота (Goldfarb et al., 1993, 1997, 1998; Groves et al.,

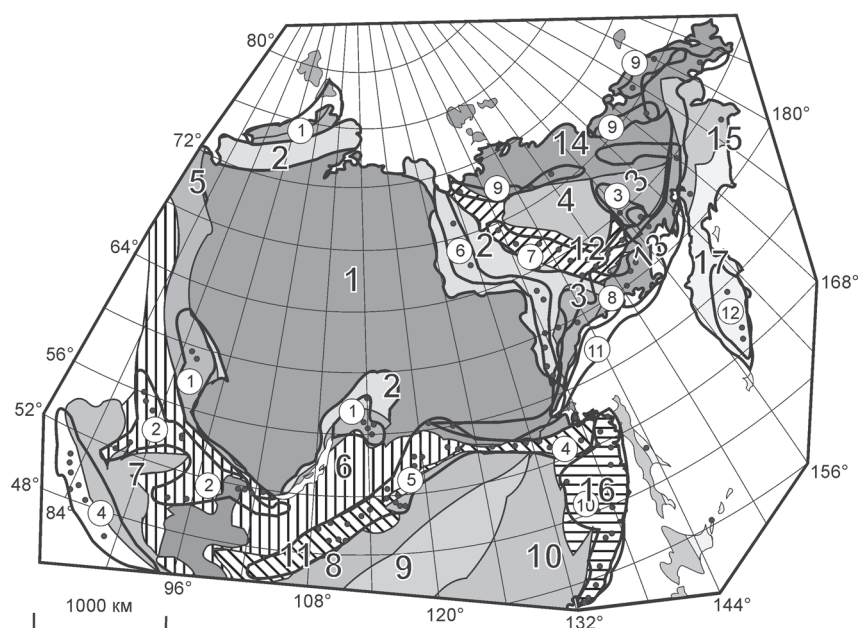


Рис. 1. Схема орогенных и золоторудных поясов Сибири и Дальнего Востока (орогенные пояса по (Парфенов и др., 2003; Геодинамика..., 2006) с упрощениями и изменениями): 1, 2 – Сибирский кратон (1) и его деформированные окраины (2); 3 – кратонные террейны; 4 – Индигиро-Омолонский супертеррейн; 5–17 – орогенные пояса: рифейский Циркум-Сибирский (5), раннепалеозойский Алтай-Саяно-Байкальский (6), палеозойские Алтайский (7), Аргунский (8), Солонкерский (9), Бурей-Ханкайский (10); мезозойские – Монголо-Охотский (11), Яно-Колымский (12), Охотский (13), Олойско-Чукотский (14), Корякский (15), Сихотэ-Алинский (16), Камчатско-Курильский (17). Цифры в кружках – золоторудные пояса: рифейский Енисейско-Байкальский (1), раннепалеозойские Кузнецко-Байкальский (или Алтай-Саянский) (2) и Омолонский (3), позднепалеозойский Иртышско-Алтайский (4), позднемезозойские Монголо-Охотский (5), Верхоянский (6), Яно-Колымский (7), Удско-Мургалский (8), Олойско-Чукотский (9), Сихотэ-Алинский (10), Охотско-Чукотский (11), Камчатский (12)

Fig. 1. A simplified schematic map of orogenic and gold belts in Siberia and Far East of Russia (the orogenic belts are shown according to: Парфенов и др., 2003; Геодинамика..., 2006), with amendments: 1, 2 – Siberian Craton (1) and its deformed margins (2); 3 – cratonal terranes, 4 – Indigirka-Omolon Superterrane; 5–17 – orogenic belts: Circum-Siberian of Riphean (5), Altai-Sayany-Baikal of Early Paleozoic (6), Altai of Paleozoic (7), Argun of Paleozoic (8), Solonker of Paleozoic (9), Bureya-Khanka of Paleozoic (10); Mongolo-Okhotsk of Mesozoic (11), Yana-Kolyma of Mesozoic (12), Okhotsk of Mesozoic (13), Oloy-Chukotka of Mesozoic (14), Koryak of Mesozoic (15), Sikhote-Alin of Mesozoic (16), and Kamchatka-Kuril of Mesozoic (17). Figures in circles – gold lode belts: Yenisei-Baikal or Altai-Sayan of Early Paleozoic (1), Omolon of Early Paleozoic (2), Irtysh-Altai of Late Paleozoic (3), Mongolo-Okhotsk of Late Mesozoic (4), Verkhoyansk of Late Mesozoic (5), Yana-Kolyma of Late Mesozoic (6), Uda-Murgal of Late Mesozoic (7), Oloy-Chukotka of Late Mesozoic (8), Sikhote-Alin of Late Mesozoic (9), Okhotsk-Chukotka of Late Mesozoic (10), Kamchatka of Late Mesozoic (12)

1998; Kerrich et al., 2000). В сводке, посвященной условиям формирования супергигантских золотых металлогенических провинций (Kerrich et al., 2000), была предложена следующая систематика золотого оруденения: (1) орогенные месторождения; (2) месторождения типа карлин и им подобные (Брувери Крик – Юкон, Тру Норз – Аляска, Голдстрайк-Пост-Миикл – Невада); (3)

эпитермальные месторождения, связанные с окраинно-континентальными и островными магматическими дугами (Крипл Крик, Сомсток – запад США, Кубака, Карамкен, Джульетта – Северо-Восток России); (4) медно-золото-порфировые золотосодержащие месторождения (Бингхем – США, Грасберг – Папуа-Новая Гвинея); (5) железисто-медно-золотые месторождения (Олимпик Дам – Австралия) и (6) золотосодержащие VMS (Норанда – Канада) и SEDEX (Эскай Крик – Канада) сульфидные месторождения. Поскольку орогенный тип наиболее распространен в северном сегменте Тихоокеанского пояса (Goldfarb et al., 1998), приведем его краткую характеристику, основанную на данных табл. 2 из цитируемой работы (табл. 1). Как видно из табл. 1, в составе орогенного типа объединены метаморфогенные золото-кварцевые и золоторудные месторождения, связанные с гранитоидами (granitoid-related), равно как и золотоскарновые, золото-полиметаллические, метасоматического сульфидного замещения и другие, ранее выделяемые типы месторождений (Canadian..., 1986; Mineral..., 1984), которые в контексте нашей статьи и составляют элементы локальных и региональных ЗРС.

Если обратиться к внутреннему строению золоторудных поясов, то окажется, что в них сочетаются месторождения разного минерального состава и геохимического профиля, которые образуют устойчивые структурно-морфологические типы независимо от их возрастной, пространственной и палеогеодинамической позиции.

Любая систематика, охватывающая генетические классы, структурно-морфологические

типы и вещественный состав оруденения, характер его связей с магматизмом и влияние вмещающих пород, хороша как составная часть общей классификации рудных месторождений, но для систематики орогенных месторождений золота требуется учет палеогеодинамических обстановок формирования оруденения. В связи с этим наиболее продуктивным представляется подход по вы-

делению золоторудообразующих эндогенных систем, который, однако, еще требует дальнейшей разработки, поскольку основан на разных принципах (Гамянин и др., 2003б; Lang, Baker, 2001; Сафонов, 2004).

Так, Ю. Г. Сафонов (2004) предложил систематизировать золоторудные месторождения по рудообразующим системам: магматическим, эпитептермальным, золотоносным медно-порфировым, карлинского типа, железо-оксидным золото-уран-медным, золото-(сульфидно)-кварцевым, ассоциированным с гранитоидными комплексами, золото-(сульфидно)-кварцевым, локализованным в сланцевых поясах, глубинным золото-(сульфидно)-кварцевым в зеленокаменных поясах, золото-сульфидным в железистой формации, скарновым,

золото-сурьмяно-ртутным и золото-урановым. Среди выделенных им систем большинство являются локальными в нашем понимании. Опираясь на генетические магматогебно-гидротермальные системы, исследователи классифицируют золоторудные месторождения, связанные с гранитоидами, на территории Аляски и Юкона (Lang et al., 2000) и в целом золоторудные системы такого рода (Thomson et al., 1999; Lang, Baker, 2001).

Ф. Н. Шахов (1964, 1966), разбирая систематику рудоносных жил, предположил, что сама классификация должна исходить из систематики продуктов деятельности единой постмагматической или гидротермально-метаморфической системы, а более подробное расчленение должно опираться на группировку по геохимическим фор-

Таблица 1. Общая характеристика золоторудных месторождений орогенного типа (Kerrich et al., 2000)

Table 1. General Description of Orogenic Gold Lode Type (Kerrich et al., 2000)

Признаки	Классические провинции и месторождения				
	Мезоархейский	Неоархейский	Протерозойский	Палеозойский	Мезозойско-кайнозойский
Примеры месторождений	Барбертон (Шеба, Файрвью)	Абитибити (Тимминс), Дхарвар (Колар), Куадрилатеро, Бразилия (Морель), Слэйв (Кон), Танзания (Булуанхулу), Иилгарн (Калгурли), Зимбабве (Кам, Мотор)	Зап. Африка (Ашанти), Транс-Гудзон (Хоумстейк), Тапайос, Гайана (Лас Кристина), Сев. Территории – Австралия (граниты)	Лакланский складчатый пояс (Бендиго, Балларат), Байкальский складчатый пояс (Сухой Лог), Южный Тяньшань (Мурунтау, Кумтор), Богемский массив (Касперские Горы)	Отаго (Макраес), Томбстоун пояс (Форт Нокс, Погго, Шеепит Доум), Джуно золоторудный пояс (Аляска-Джуно, Тредуэлл), подножие Сьерры-Невады (Джеймстаун), Яно-Колымский пояс (Наталка), п-ов Джяодонг (Джиаоджиа, Линглонг)
Структурная позиция	Пластичные и хрупкопластичные деформации, сдвиги или антиклинальные купола				
Морфологический тип руд	Жилы, брекчиевые и вкрапленные тела				
Вмещающие породы	Мафические и ультрамафические вулканические породы, интрузивные породы, BIF-кремни, граувакки				
Ассоциации металлов	Au, Ag ± As, Sb, Te, W, Bi; Au/Ag в среднем 5				
Пробность золота	800–950‰				
Основные минералы околорудных пород	Мусковит, Са-Fe-Mg карбонаты, хлорит, альбит, пирит, турмалин				
P-T условия	220–500°C; 0,5–4 кб				
Рудные флюиды	Малосолёные, водно-карбонатные ± H ₂ S, CH ₄ , CO ₂ , ± N ₂				
Изотопный состав гидротермальной воды	δD = -20‰–80‰; δ ¹⁸ O = 6–10‰				
Источники тепла	Астеносфера, кора				
Другие признаки	Увеличивающаяся соленость связана со смешением с флюидами осадочных бассейнов. Радиогенные изотопы индицируют взаимодействие древней и ювенильной коры с флюидами, спорадически обогащенными бором. Реактивация древних месторождений генерирует некоторые вторичные изотопные и флюидные метки				

мациям. Классифицируя продукты разных процессов минералообразования, мы имеем право на использование типов этих процессов в качестве базы для выделения основных таксонов в их классификации. Поэтому можно говорить о двух общих генетических типах таких золоторудных месторождений: плутоно-метаморфогенном и магматогенном (Горячев, 2003). В магматогенном типе практически единодушно всеми исследователями выделяются два класса – плутоногенный и вулканогенный. Однако, если исходить из принципов устойчивости минерального состава и связей золота с определенными минералами и элементами, а также использовать геохимический принцип по ведущим рудным элементам, заложенный в классификациях многих исследователей и наиболее ярко выраженный в классификации И. Я. Некрасова (1991), можно прийти к более простой минералого-геохимической систематике (табл. 2), основные типы которой встречаются в работах многих исследователей (см., например, Ивенсен, Левин, 1975). Поскольку в качестве объекта исследования выбраны месторождения

благородных металлов, где главным металлом является либо только золото, либо золото и серебро, а постоянно сопутствующими (в переменных количествах, но не преобладающих) – элементы триады As-Sb-Bi, то специфика рассматриваемой золотой минерализации – это разный характер парагенезисов, «лояльность» Au и Ag к As-Sb-Bi, с одной стороны, и к S-Se-Te – с другой, что и определяет количество ее минералого-геохимических типов. Важное значение при этом имеет и группа переменных элементов (не всегда присутствующих в значимых количествах) в той или иной степени сульфурфильных – Cu, Pb, Zn, Co, Ni, Fe, которые при формировании золотого оруденения забирают на себя серу, «помогая» золоту реализовывать его благороднометалльные свойства в самородном виде. Как известно, для любой собственно золоторудной минерализации характерны два типа золота: «невидимое» субмикроскопическое в ранних сульфидах, сульфоарсенидах и арсенидах железа и позднее, минеральное и свободное в самородной форме. Соотношение этих форм определяется активнос-

Таблица 2. Принятая систематика золотого оруденения

Table 2. Systematics of Gold Deposit Types

Тип	Подтип	Обстановки формирования	Примеры месторождений
Золото-мышьяк-сульфидный (Au-As-S-Fe-Cu-Ni-Co)		Пассивных окраин континентов, задугового рифтогенеза	Дегдек ан, Майское
Золото-кварцевый	Колымский (Au-As-Sb-S-Pb-W-Fe)	Коллизионные, задугового расширения	Светлое, Каральвеем, Совиное, Утинское, Наталка, Нежданское, Толована, Шеба, Шеелит Доум, Демократ, Рок Крик, Глухое, Агни-Афанасьевское, Оемку, Аскольд, Центральное, Любавинское, Дарасун
	Кордильерский (Au-As-S-Te-Ni-W-Cu-Fe)	Коллизионные	Уиллоу Крик, Джуно, Тредуэлл, Зун-Холба, Барун-Холба, Пионер
Золото-редкометалльный (Au-As-Bi-S-Te-Se-Sb-Ni-Co-W-Mo-Cu-Fe)	Золото-редкометалльно-кварцевый	Коллизионные и активных континентальных окраин	Эргелях, Чистое, Чепак, Тэутэджак, Лево-Палянское, Халали, Форт Нокс, Пого, Даблин Галч, Криничное, Джегдаг, Центральное, Кировское, Ключевское
	Золотоносных грейзенов		Мякит, Голден Хорн
	Золото-скарновый		Кандидатское, Хедли, Никсон Фок, Лебедское, Натальевское, Федоровско-Талановское
	Порфиновый		Хетагчан, Голден Зоун, Таинское
Золото-серебро-кварцевый (Au-Ag-Sb-S-Pb)		Тыловодужные окраинно-континентальные	Школьное, Юхонджа
Золото-серебряный (Au-Ag-Sb-S-Se-Te-Cu-Pb-As-Fe)	Высокосульфидных руд	Островодужные и окраинно-континентальных магматических дуг	Мутновское, Джульетта
	Малосульфидных руд	Островодужные и окраинно-континентальных магматических дуг	Карамкен, Нявленга, Хисикари, Бaley
Золото-сурьянорудный (Au, As, Sb, Hg)		Тыловодужные, постколлизионный рифтогенез	Крохалиное, Сарылах, Сентачан, МакДаффи, Кючюс

тью кремнезема, серы и мышьяка в процессе минералообразования. Весьма важна роль химических свойств указанных элементов в формировании геохимических ассоциаций, что проявляется в разнообразии продуктивных минеральных ассоциаций, в существовании разных минералого-геохимических типов, возникших при определенных физико-химических условиях их формирования.

По комплексу минералого-геохимических признаков среди указанных объектов, возникших в разных геодинамических обстановках, нами (Горячев, 2003) выделено шесть общих минералого-геохимических типов золотой минерализации: (1) золото-мышьяк-сульфидный ($\text{Au-As-S-Fe-Cu-Ni-Co}$); (2) золото-кварцевый с колымским ($\text{Au-As-Sb-S-Pb-W-Fe}$) и кордильерским или калифорнийским ($\text{Au-As-S-Te-Ni-W-Cu-Fe}$) подтипами; (3) золото-редкометалльный ($\text{Au-As-Bi-S-Te-Se-Sb-Ni-Co-W-Mo-Cu-Fe}$) – жильный, грейзеновый, скарновый, порфировый; (4) золото-серебро-кварцевый (Au-Ag-Sb-S-Pb), (5) золото-серебряный ($\text{Au-Ag-Sb-S-Se-Te-Cu-Pb-As-Fe}$) с много- и малосульфидными подтипами (high и low-sulphide) и (6) золото-сурьмяно-ртутный (Au-Sb-Hg-As). Последние три типа, как правило, посторогенные. По геологическому положению и генетическим особенностям, с учетом морфолого-генетического принципа, все они группируются в золото-кварцевый (жильный, штокверковый – дайковый, минерализованных зон дробления и смятия), золото-редкометалльный (жильный, штокверковый, скарновый, грейзеновый, порфировый), золото-серебряный (жильный и прожилково-вкрапленных зон) и золото-сульфидный вкрапленный и золото-сурьмяно-ртутный (жильный и метасоматический) типы оруденения. Выделенные типы месторождений устойчивы в пространстве и независимы от характера вмещающих пород, влияние которых может сказываться только на уровне подтипов, поэтому нет необходимости выделять месторождения в терригенных или карбонатных толщах, в гранитоидах или в вулканических комплексах. Примером сочетания разнотипных золоторудных месторождений в региональных системах могут служить позднемезозойская Яно-Колымская ЗРС (Горячев, 1998, 2003) и раннепалеозойская ЗРС Главного золоторудного пояса Кузнецкого Алатау (рис. 2). Указанные сочетания позволяют предполагать существование определенной и закономерной последовательности появления разнотипного золотого оруденения в региональных ЗРС в процессе формирования орогенных поясов (табл. 3).

Анализ данных по положению разнотипного оруденения в разновозрастных орогенных региональных ЗРС (см. табл. 3) показывает, что они весьма близки по времени проявления и закономерно связаны с целым комплексом геологических и минералого-геохимических факторов. А в целом они являются закономерными следствиями всей совокупности геологических процессов, формирующих орогенные пояса (Горячев, 1998).

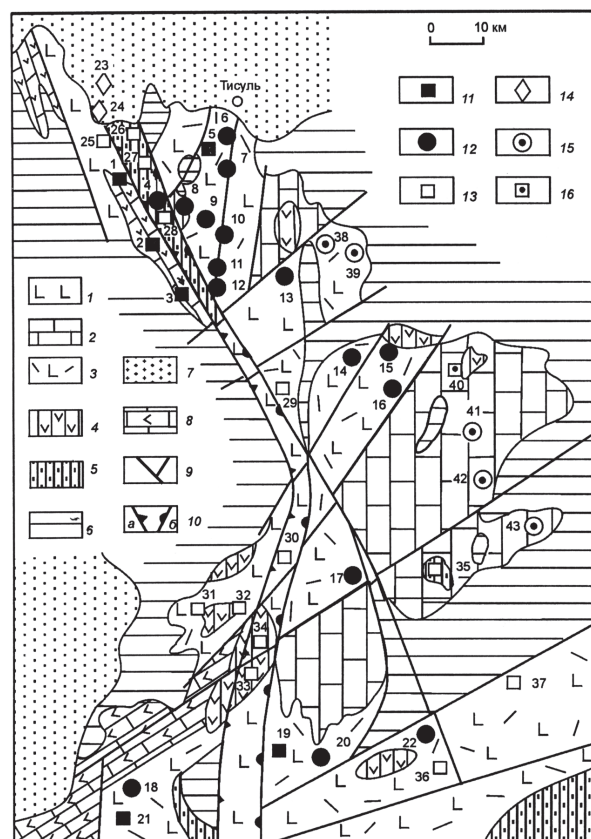


Рис. 2. Сочетание типов золотого оруденения в Главном поясе Кузнецкого Алатау (Алабин, Калинин, 1999). Типы тектонических структур: 1 – океаническая (поздний рифей – ранний кембрий); 2 – окраинно-континентальная (поздний рифей – ранний кембрий); 3 – ранняя островодужная (венд – ранний кембрий); 4 – поздняя островодужная (начало позднего кембрия); 5 – коллизийная (конец позднего кембрия – силур); 6 – рифтогенная внутриплитная (ранний – средний девон); 7 – мезозойский чехол; 8 – палеоокеанические острова с карбонатным чехлом и базальтовым толеитовым основанием (поздний рифей – ранний кембрий); 9 – Кузнецко-Алтайский глубинный разлом и оперяющие его разрывы; 10 – направление движения структур субдукции (а) и коллизии (б). Типы месторождений: 11 – золото-скарновые; 12 – золото-сульфидно-кварцевые; 13, 14 – скарново-магнетитовые: 13 – выходящие на поверхность, 14 – под покровом мезозойских рыхлых отложений; 15 – молибденовые жильные; 16 – шеелитовые скарновые

Fig. 2. Co-occurring gold lode types of the Glavny Belt of the Kuznetsky Alatau Range (Алабин, Калинин, 1999). Tectonic structure types: 1 – oceanic of Late Riphean – Early Cambrian; 2 – continental edge of Late Riphean – Early Cambrian; 3 – the early island arc of Vendian – Early Cambrian; 4 – the late island arc of the early Late Cambrian; 5 – collision-related of the late Late Cambrian – Silurian; 6 – rift-related intraplate of Early – Mid Devonian; 7 – cover of Mesozoic; 8 – paleoceanic islands with carbonate cover and basalt tholeiitic basement of Late Riphean – Early Cambrian; 9 – Kuznetsk-Altai Deep Fault and its feathering fractures; 10 – movements of subduction-related (a) and collision-related (b) structures. Deposit types: 11 – gold skarns; 12 – gold-sulfide-quartz; 13, 14 – magnetite skarns: 13 – on day surface, 14 – beneath loose rocks of Mesozoic; 15 – molybdenum veins; 16 – scheelite skarns

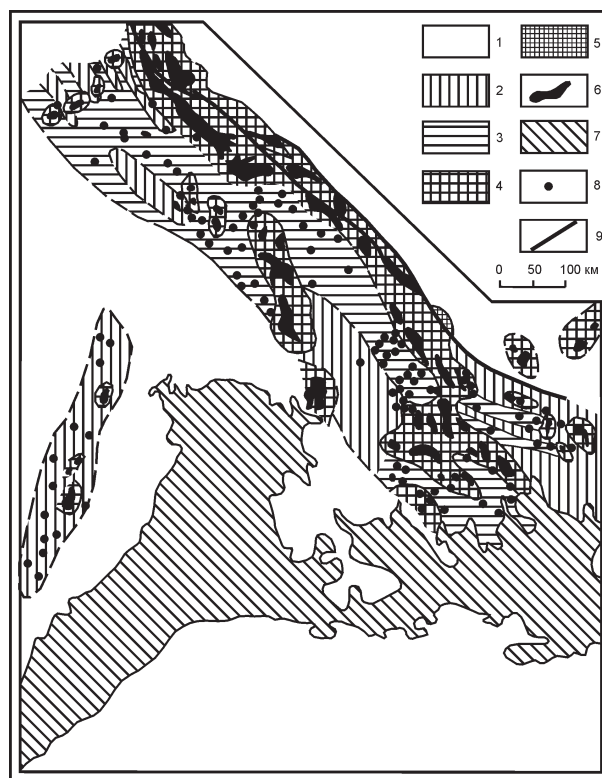
Таблица 3. Взаимоотношения разнотипного золотого оруденения и продуктов орогенных процессов в ЗРС разновозрастных орогенных поясов обрамления Сибирского кратона
 Table 3. Different Gold Types Versus Orogenic Products in Gold-Ore-Forming Systems of Non-Coeval Orogenic Belts of the Siberian Craton Rims

Признаки	Алтае-Саянская ЗРС (ранний палеозой)	Монголо-Охотская ЗРС (мезозой)	Яно-Колымская ЗРС (поздняя юра – ранний мел)	Ойско-Чукотская ЗРС (ранний мел)	Сихотэ-Алинская ЗРС (средний мел)
Предыстория: обстановки пассивных и активных континентальных окраин, островных дуг и задуговых бассейнов	Колчеданные залежи в офиолитах, вкрапленные руды в углеродистых толщах (700 млн лет). Порфировые и эпitherмальные месторождения островных дуг (560–670 млн лет)	Колчеданные залежи и вкрапленные руды (возраст неизвестен). Палеозойские гранитоиды	Вкрапленные сульфидные зоны в терригенных толщах (возраст неизвестен), колчеданные руды в островодужных вулканитах (поздняя юра)	Вкрапленное оруденение в терригенных толщах, порфировые системы с медным и золото-серебряным оруденением (125–145 млн лет)	Вкрапленные руды в черносланцевых толщах (возраст неизвестен)
Орогенный метаморфизм и его возраст (млн лет)	Зональный метаморфизм зеленосланцевой и амфиболитовой фаций (ордовик – силур)	Интенсивный метаморфизм амфиболитовой и зеленосланцевой фаций в гранитно-метаморфических куполах (поздняя юра)	Сочетание линейных и изометричных ареалов зеленосланцевой фации до признаков эпидот-амфиболитовой (155–145)	Метаморфизм амфиболитовой и зеленосланцевой фаций в гранитно-метаморфических куполах (145–100)	Слабый приразломный метаморфизм зеленосланцевой фации (возраст неизвестен)
Орогенный магматизм и его возраст (млн лет)	Граниты I-, реже S-типа (495±5, 475±5, 450±5) обогатлены Sr и обеднены Rb. $Sr_0 = 0,703-0,710$. Дайки основных и средних пород, лампрофиров	Граниты I- и S-типа (175–145, 130–120) обеднены Sr, обогатлены B. $Sr_0 = 0,705-0,715$. Дайки средних и кислых пород, реже лампрофиров	Интенсивный гранитный магматизм S- и I-типа (155–137, 125–115). $Sr_0 = 0,705-0,710$. Широко распространены дайки диоритового и гранит-порфирового состава	Интенсивный гранитный магматизм (140–120, 100–90) I-типа и незначительный S-типа. $Sr_0 = 0,705-0,708$. Дайки диоритов и гранит-порфиров	Граниты I- и редко S-типа (125–105) обеднены Rb. $Sr_0 = 0,703-0,709$. Проявлены дайки средних и кислых пород
Металлогеническая ассоциация золотых руд	Месторождения свинца, цинка, меди и молибдена, железа	Месторождения олова, вольфрама, молибдена и полиметаллов, редких металлов	Месторождения олова, вольфрама, полиметаллов (слабо)	Месторождения олова, бериллия, вольфрама, полиметаллов, урана	Месторождения полиметаллов, вольфрама, олова
Типы орогенных месторождений Au и их возраст (млн лет)	Золото-редкометалльный (480–450) и золото-кварцевый (480–440)	Золото-редкометалльный (160–125) и золото-кварцевый (160–120)	Золото-сульфидный (≥ 145), золото-кварцевый (145–135, 128–115), золото-редкометалльный (149–137)	Золото-кварцевый (125–100) и золото-редкометалльный (125–105)	Золото-редкометалльный (120–100) и золото-кварцевый (110–90)
$\delta^{34}S$ (‰) сульфидов Au месторождений	Золото-редкометалльный (-0,3...+3,3) и золото-кварцевый (+1,1...+9,8)	Золото-редкометалльный (+0,7...+5,4) и золото-кварцевый (+0,7...+7,8)	Золото-редкометалльный (-18...-6,7), золото-кварцевый (-14,6...+3,5) и золото-сульфидный (-5,6...-6,4)	Золото-редкометалльный (-10,3...-6,0) и золото-кварцевый (-7,8...-1,4)	Золото-редкометалльный (нет данных) и золото-кварцевый (-2...-3,9)
Постколлизионное расширение и связанная с ним рудоносность	Не выявлено	Рифтогенные впадины, золото-серебряный эпitherмальный тип (130–110)	Небольшие присдвиговые рифтогенные впадины, золото-серебро-кварцевый тип (<115)	Не проявлено	Не проявлено

Примечание. Таблица составлена по данным автора (Горячев, 1998, 2003) и материалам других исследователей (Алабин, Каплин, 1999; Спиридонов, 2003; Моисеенко, Эйриш, 1996; Эйриш, 2003; Жмодик и др., 1999, 2006; М. Иронов, Жмодик, 1999; Руднев и др., 2004; Дистанова, Телешев, 2005; Rundqvist, Kravchenko, 2001; Zhmodik et al., 1993).

Рис. 3. Сочетание золотых месторождений и продуктов орогенных эндогенных процессов в Яно-Колымском орогенном поясе (Горячев, 1998): 1 – песчано-сланцевые отложения стадии глубокого катагенеза; 2 – участки рассланцованных пород хлорит-серпичитовой субфации зеленосланцевой фации; 3 – рассланцованные породы биотит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации (ареалы зеленого биотита); 4 – ареалы регионально-плутонического метаморфизма зеленосланцевой фации (ареалы бурого биотита); 5 – мезозойские кристаллические сланцы амфиболитовой фации; 6 – гранитные массивы позднемезозойского возраста; 7 – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс; 8 – золото-кварцевые и золото-редкометалльные месторождения; 9 – разломы

Fig. 3. Co-occurrence of gold lodes and products of orogenic endogenic processes within the Yana-Kolyma Orogenic Belt (Горячев, 1998): 1 – sandstones and shales subject to a deep katagenesis; 2 – areas of schistose chlorite-sericite rocks subject to greenschist alterations; 3 – schistose biotite-chlorite rocks subject to greenschist alterations (areas of green biotite); 4 – areas of region-wide plutonism subject to greenschist metamorphism (areas of brown biotite); 5 – amphibolic schists of Mesozoic; 6 – granite massifs of Late Mesozoic; 7 – Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt; 8 – gold-quartz and granitoid related gold deposits; 9 – faults



Типовым примером орогенных поясов коллизионного типа служит позднемезозойский Яно-Колымский (рис. 3), в пределах которого нами установлено закономерное сочетание метаморфогенных и магматогенных месторождений золота (Горячев, 1998, 2003) (см. табл. 3). Аналогичные сочетания известны и в пределах Монголо-Охотского пояса, Кузнецко-Байкальского, Сихотэ-Алинского и других поясов (см. рис. 2 и табл. 3). В обобщенном виде это мы можем представить как два варианта эволюции типов золотого оруденения в орогенных ЗРС:

золото-сульфидный вкрапленный – золото-кварцевый (колымский) – золото-редкометалльный – золото-серебро-кварцевый (или золото-серебряный) (Таймыро-Енисейский, Яно-Колымский пояс, Олойско-Чукотский, Монголо-Охотский и др.);

колчеданный и порфиновый – золото-редкометалльный (порфиновый) – золото-кварцевый (кордильерский) (Кузнецко-Байкальский, Монголо-Охотский).

Во всех случаях для месторождений характерно линейно-кустовое и сплошное полосовое распределение в орогенных поясах данного типа (рис. 4). На наш взгляд, это связано с существованием региональных флюидных потоков, стимулированных поясами зонального метаморфизма и гранитного магматизма и дренированных протяженными продольными системами разломов надвиговой и сдвиговой кинематики, что можно проиллюстрировать на примере Адыча-Эльгинского сектора Яно-Колымского пояса (рис. 5).

В орогенных поясах и ЗРС аккреционного типа (Охотская, Камчатская) отмечается сочетание как этих же, так и иных типов золоторудных месторождений:

(1) порфировых, золото-серебро-кварцевых, золото-серебряных и золото-редкометалльных (Охотская ЗРС – Удско-Мургальский пояс (Горячев, 2005);

(2) колчеданного, золото-редкометалльного и золото-серебряного (Кюсю, Япония);

(3) золото-сульфидных, золото-редкометалльных и золото-кварцевых (Сихотэ-Алинская ЗРС).

Обычное для них кустовое распределение золоторудных месторождений (см. рис. 4) связано с тепловыми магматическими центрами, структурирующими потоки флюидов, экстрагирующих рудные компоненты на поздних стадиях процесса. Поэтому нередко наблюдаются комплексные локальные ЗРС с медно-молибденовым и олово-серебряным оруденением.

Во всех случаях условиями возникновения ЗРС при формировании орогенных поясов являются определенные временные этапы, тектонические и геодинамические обстановки (временные и геологические срезы), которые можно сгруппировать следующим образом: (1) этап существования бассейнов пассивных окраин и формирования вкрапленных руд; (2) этап существования островных дуг и задуговых бассейнов – вкрапленные, сульфидные, порфировые и жильные руды; (3) этап зонального метаморфизма, внедрения гранитоидов и формирования золотого оруденения; (4) постколлизийный этап. Первые два этапа являются собственно предысторией формирования ЗРС в том контексте, как это обсуждается в работах Д. В. Рундквиста (1997) и А. А. Сидорова (1994, 1998), с возникновением сульфидно-вкрапленного «черносланцевого» и сульфидного колчеданного оруденения с повышенными концентрациями благородных металлов.

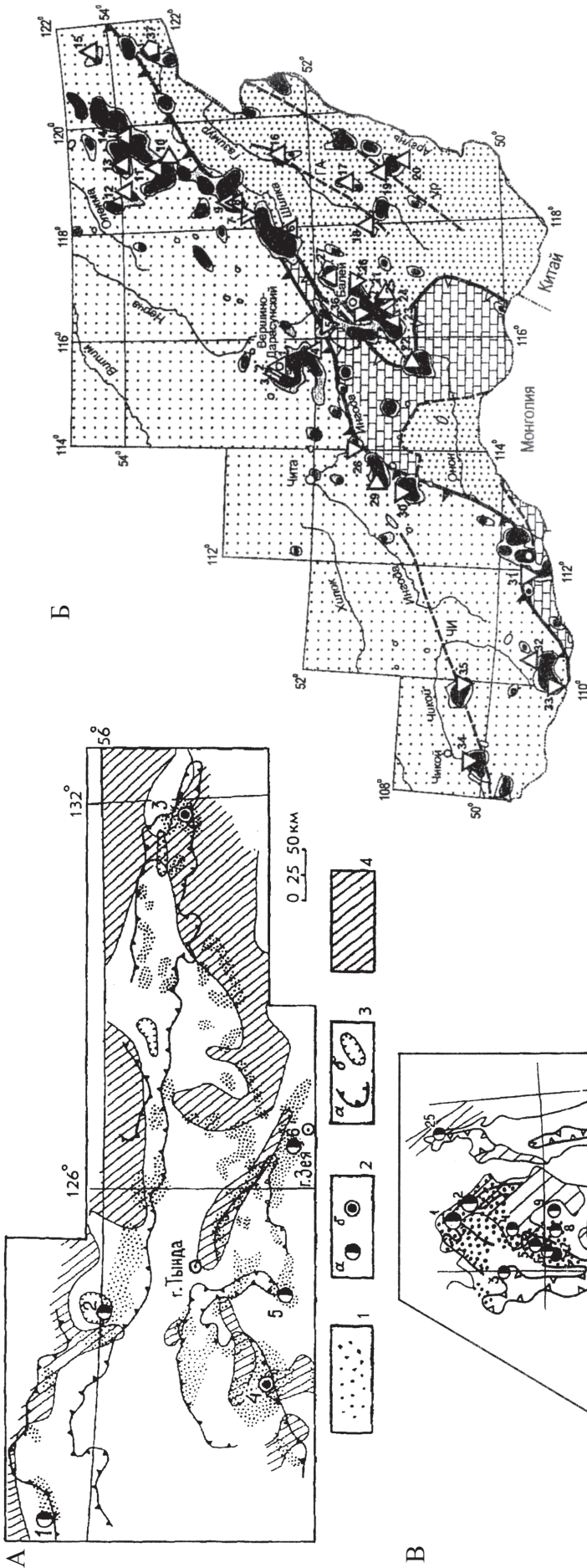


Рис. 4. Примеры распределения золотого оруднения в орогенных поясах коллизионного и аккреционного типа. А-Б – Монголо-Охотский орогенный пояс: Верхнеамурский (А) (Моисеенко, Эйриш, 1996) и Забайкальский сектор (Б) (Спиридонов, 2004); В – Сихотэ-Алиньский орогенный пояс (Моисеенко, Эйриш, 1996). А: 1 – аралы золотоносности; 2 – крупнейшие месторождения золоторудные (а) и золото-сульфидные (б); 3 – региональные (а) и локальные (б) гравитационные минимумы и 4 – региональные магнитные максимумы; В: 1 – аралы золотоносности (а) и редкометалльного оруднения (б); 2 – месторождения гипабиссальные золоторудные (а), золото-редкометалльные (б), золото-сульфидные (в), субвулканические золоторудные (г) и золото-серебряные (д); 3 – гравитационные минимумы интенсивные (а) и менее интенсивные (б, в), 4 – региональные магнитные максимумы

Fig. 4. Gold mineralization occurrences within collisional and accretionary orogenic belts. А-Б – Mongol-Okhotsk Orogenic Belt: Verkhneamursky Sector (А) (Моисеенко, Эйриш, 1996) and Transbaikal Sector (Б) (Спиридонов, 2004); В – Sikhote-Alin Orogenic Belt (Моисеенко, Эйриш, 1996). А: 1 – gold mineralization areas; 2 – major gold lode deposits (а) and gold-sulfide deposits (б); 3 – region-wide (а) and area-specific (б) gravitational minimums; 4 – region-wide magnetization maximums; В: 1 – gold mineralization areas (а) and rare metal mineralization areas (б); 2 – hypabyssal gold lode deposits (а), granitoid related gold (б), gold-sulfide (в), subvolcanic gold lode (г), and gold-silver (д) deposits; 3 – intense gravitational minimums (а) and less intense gravitational minimums (б, в); 4 – region-wide magnetization maximums

Третий этап является временем формирования орогенных региональных ЗРС, когда в ряду орогенных эндогенных событий возникли золото-кварцевые жильные, золото-сульфидные прожилково-вкрапленные и золото-редкометалльные месторождения. И, наконец, последний, четвертый этап – время возникновения золото-серебряного оруденения, связанного обычно с постагрегационными вулканическими поясами. Этот этап широко проявлен в некоторых орогенных поясах – Яно-Колымском, Олойско-Чукотском, Монголо-Охотском, Кузнецко-Байкальском, Сихотэ-Алинском и пр. Однако в вопросе, насколько он закономерен в данном ряду и связан с формированием орогенного пояса, остается еще много неясного. Так, в случае с Олойско-Чукотским и Яно-Колымским поясами мы видим, что это явно самостоятельный этап, связанный с формированием Охотско-Чукотского окраинно-континентального пояса, наложенного на оба указанных орогенных пояса с интервалом от 35 (Яно-Колымский) до 20 (Олойско-Чукотский) млн лет. В то же время золото-серебряное оруденение (Балей) в пределах Монголо-Охотского пояса формировалось на этапе постколлизийного расширения, который может трактоваться как последнее звено развития орогенного пояса (см. табл. 3) или в качестве задуговых впадин самостоятельного Большехинганского вулканогенного пояса (Гордиенко и др., 2000). Аналогичная ситуация наблюдается и для ЗРС востока Центральной Аляски (Горячев, 2003). В этом проявляется важная проблема тектоники – соотношение ареалов эндогенных процессов, связанных с формированием разновременных крупных геотектонических структур – орогенных поясов.

Пространственная позиция золотой минерализации различна в кратонах, складчатых и вулканических поясах, островных дугах и срединных массивах, равно как и ее специфика в структурах фемического – сиалического профиля. При этом выявляется определяющая роль субстрата в пространственном распределении разных типов золотой минерализации и в ее металлогенических ассоциациях с другими типами оруденения. Наибольшее разнообразие наблюдается там, где преобладает сиалический коровый субстрат. Например, в Яно-Колымской ЗРС, имеющей такой субстрат (Гамянин и др., 2003б), золото-кварцевое, золото-сульфидное прожилково-вкрапленное, золото-редкометалльное и золото-сереброкварцевое оруденение сочетается с оловянно-вольфрамовым и полиметаллическим (Горячев, 1998). Золото-серебряное оруденение в сочетании с олово-серебряным, серебро-полиметаллическим и редкометалльным характерно только для окраинно-континентальных и энсиалических островных дуг. Золото-медное вместе с серебро-колчеданным и медно-порфировым типично для энсиматических дуг и окраинно-континентальных дуг там, где они имеют фемический субстрат (Бялбжеский, Горячев, 2003). Магматические ассоциации золотого оруденения меняются от пря-

мых связей его с основными породами на ранних этапах формирования орогенных поясов (так называемые дайковые месторождения Яно-Колымского и Олойско-Чукотского поясов) к прямым связям с кислыми породами – на поздних этапах (Кузнецко-Байкальский, Яно-Колымский, Сихотэ-Алинский, Монголо-Охотский пояса). При этом влияние ранних базитов прослеживается даже в типично сиалических поясах, как, например, в Яно-Колымском (Горячев, Колесниченко, 1997).

Изотопные исследования золоторудных месторождений показывают, что орогенные ЗРС обладают общими тенденциями в изменении таких параметров, как изотопный состав серы и свинца сульфидов, стронция карбонатов и силикатов (Горячев, 2003; Горячев, Гамянин, 2000; Гамянин и др., 2003а). Так, для орогенных поясов севера Дальнего Востока России выделено несколько ареалов месторождений с близким изотопным составом серы их сульфидов (рис. 6), в пределах которых установлена стабильность изотопного состава серы при существовании определенных различий между ними. Эти особенности свидетельствуют либо о близости условий рудоотложения в конкретных региональных рудно-магматических системах, либо об общности источников серы (Горячев, Гамянин, 2000; Гамянин и др., 2003а). Среди вулканогенных поясов наименьшими вариациями значений $\delta^{34}\text{S}$ характеризуются молодые золото-серебряные месторождения Камчатского орогенного пояса, для которого, как в целом для всех вулканогенных поясов этого региона, отмечается утяжеленная сера сульфидов (Gamyagin et al., 2004). На наш взгляд, такая однородность является следствием существования единых региональных потоков флюидов, возникших в процессах орогенеза. В ходе эволюции таких потоков закономерно облегчается состав серы сульфидов, от ранних золото-кварцевых и золото-сульфидных прожилково-вкрапленных к более поздним золото-редкометалльным (см. табл. 3), что наиболее отчетливо проявлено среди месторождений Кузнецкого Алатау и Яно-Колымского пояса (Алабин, Калинин, 1999; Горячев, 2003; Горячев, Гамянин, 2000; Гамянин и др., 2003а).

О внутреннем изотопно-геохимическом единстве региональных ЗРС свидетельствуют и данные по изотопии рудного свинца, полученные при изучении галенитов и арсенопиритов золоторудных месторождений. Наши материалы по изотопии свинца Олойско-Чукотской и Яно-Колымской ЗРС, наряду с материалами для Кузнецкого Алатау (рис. 7), показывают, что в формирование региональной ЗРС вносят вклад источники свинца и верхней и нижней коры, а также мантии. Это подтверждает мнение о том, что процессы орогенеза затрагивают все горизонты коры, которые определяют специфику орогенного рудообразования. Разное положение полей точек изотопного состава свинца разных ЗРС (см. рис. 7) также подтверждает предположение о существовании специфических региональных условий их формирования.

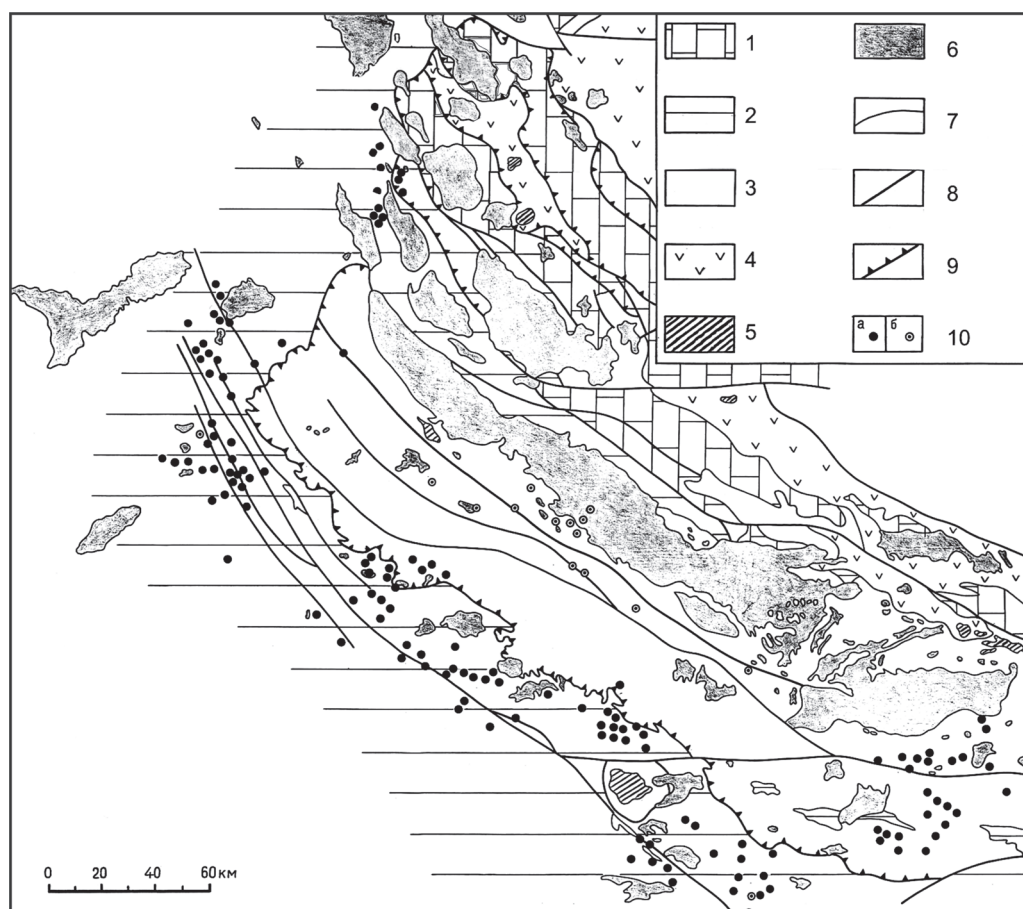


Рис. 5. Золотоносность зоны Чаркынского надвига (Горячев, 1998): 1 – палеозойские отложения Индигиро-Омолонского супертеррейна; 2, 3 – отложения Верхоянского миогеоклинального пояса: 2 – триасовые, 3 – юрские; 4 – позднеюрские вулканические комплексы Уяндино-Ясачненской дуги; 5 – субвулканические интрузивы; 6 – гранитоидные плутоны; 7 – геологические границы; 8 – разломы преимущественно сдвиговой и взбросовой кинематики; 9 – надвиги; 10 – золото-кварцевые (а) и золото-редкометалльные (б) месторождения

Fig. 5. Gold presence in the Charkyn Thrust Fault Area (Горячев, 1998): 1 – Paleozoic rocks of Indigirka-Omolon Superterrane; 2, 3 – rocks of Verkhoyansk Miogeoclinal Belt: 2 – Triassic, 3 – Jurassic; 4 – Late Jurassic volcanic rocks of Uyandino-Yassachny Arc; 5 – subvolcanic intrusions; 6 – granitoid plutons; 7 – geologic boundaries; 8 – fault structures dominated by strike-slip and upthrust faulting kinematics; 9 – thrust faults; 10 – gold-quartz deposits (a) and granitoid related gold deposits (b)

Изотопная специфика разнотипных золотых руд (индикаторы влияния субстрата, подстилающих и вмещающих толщ) и специфика состава рудоносных флюидов (существенная роль углекислоты, метана и хлоридов) показывают, что определяющей в генезисе золотой минерализации является плутонометаморфическая модель (рис. 8) с тремя направлениями эволюции: (1) ветвь зонального метаморфизма и ультраметаморфизма (жильный и вкрапленный морфологические типы золото-сульфидной и золото-кварцевой минерализации); (2) ветвь плутоническая (дайковый золото-кварцевый и золото-редкометалльный типы) и (3) ветвь субвулканическая (эпитермальный малоглубинный золото-серебряный и золото-редкометалльный типы). При этом оказывается, что появление того или иного типа золотого оруденения определяется сочетанием плутонометаморфических процессов той или иной геодинамической обстановки с составом подсти-

лающих и вмещающих толщ, что отчетливо фиксируется в металлогенических ассоциациях золотого оруденения. Это обусловлено тем, что флюиды экстрагировали рудные компоненты на всех уровнях своего существования как в верхней, так и в нижней коре в силу коллизионных взаимодействий и относительно равномерного прогрева всего разреза (золото-кварцевое и золото-сульфидное); в последующем потоки структурируются гранитоидными телами в локальные ЗРС.

Специфика влияния состава вмещающих и подстилающих толщ на региональные ЗРС отчетливо выделяется по изотопному составу свинца – например, и палеозойские и позднемезозойские ЗРС в пределах архейских блоков Омолонского кратонного террейна обладают примитивным свинцом (Шпикерман и др., 1993; Горячев и др., 2000; Горячев, 2003); аналогично примитивным изотопным составом свинца характеризуются и месторождения Саяно-Байкальского

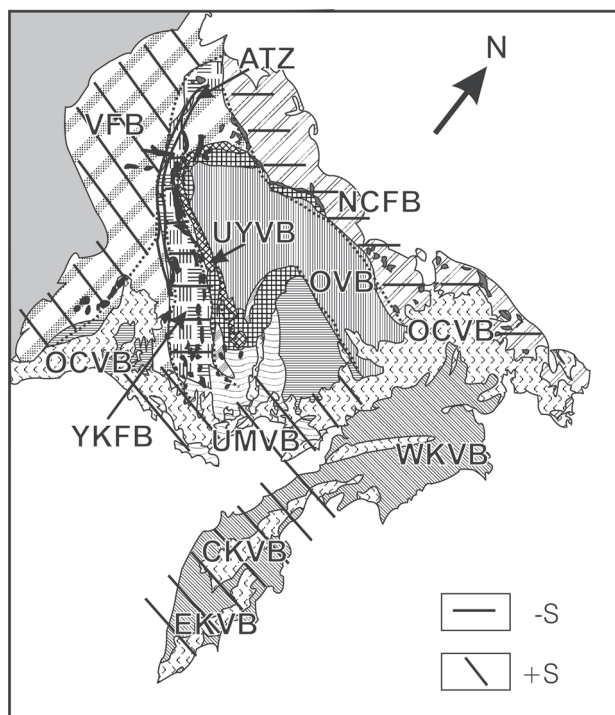


Рис. 6. Изотопные провинции по сере. Параллельная штриховка – ареалы месторождений с преобладанием легкой серы, косая – с преобладанием тяжелой серы. VFB – Верхоянский складчатый пояс, ATZ – Адыча-Тарынская зона, OCVB – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, YKFB – Яно-Колымский складчатый пояс, UMVB – Удско-Мургалский вулканогенный пояс, NCFB – Новосибирско-Чукотский складчатый пояс, OVB – Олойский вулканогенный пояс, WKVB – Западно-Камчатский вулканогенный пояс, СКВБ – Центрально-Камчатский вулканогенный пояс, ЕКВБ – Восточно-Камчатский вулканогенный пояс, УУВБ – Уяндино-Ясачненский вулканогенный пояс

Fig. 6. Sulfur isotope provinces. Parallel hatching shows mineralization areas dominated by light sulfur, oblique hatching shows mineralization areas dominated by heavy sulfur. VFB – Verkhoyansk Folded Belt, ATZ – Adycha-Taryn Zone, OCVB – Okhotsk-Chukotka Volcanic Belt, YKFB – Yana-Kolyma Folded Belt, UMVB – Uda-Murgal Volcanic Belt, NCFB – Novosibirsk-Chukotka Folded Belt, OVB – Oloy Volcanic Belt, WKVB – West-Kamchatka Volcanic Belt, CKVB – Central-Kamchatka Volcanic Belt, EKVB – East-Kamchatka Volcanic Belt, UYVB – Uyandino-Yassachny Volcanic Belt

пояса (Зун-Холба и др.), имеющие длительную предысторию формирования (Жмодик и др., 1999, 2006; Zhmodik et al., 1993; Миронов, Жмодик, 1999) и локализованные в блоках с неглубоким залеганием древних архейских пород. Сходная ситуация выявляется при анализе золотонности Монголо-Охотского орогенного пояса: там, где его региональная ЗРС пересекает древние струк-

туры Восточного Забайкалья, преобразованные гранитоидами палеозоя, мы наблюдаем комплексные золото-редкометалльные месторождения с повышенной сульфидностью и без оной (Дарасун, Ключи и пр.), и даже в золото-кварцевых жилах встречаются минералы висмута, как только ЗРС выходит в дислоцированные толщи палеозоя – раннего мезозоя, золото-редкометалльные месторождения практически исчезают (как на восточном, так и на западном флангах орогенного пояса).

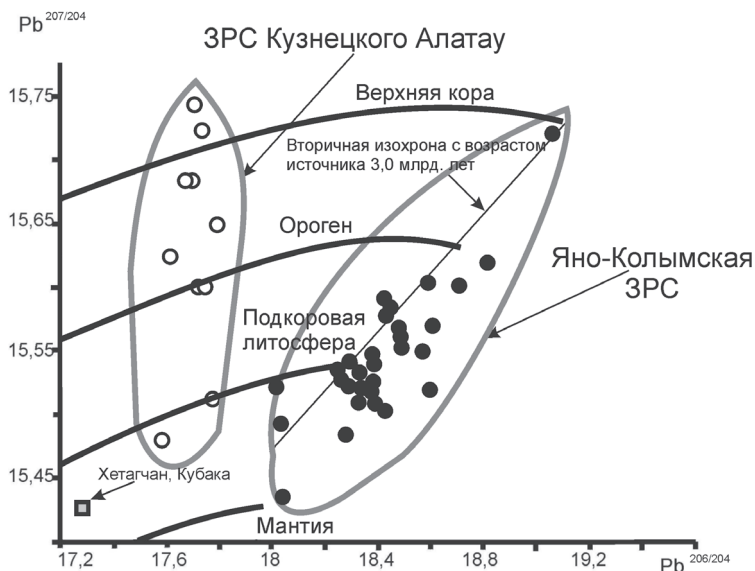


Рис. 7. Ареалы точек изотопных соотношений свинца в сульфидах золоторудных месторождений Яно-Колымской ЗРС и ЗРС Кузнецкого Алатау. Данные заимствованы из (Горячев, 2003; Алабин, Калинин, 1999). Поля диаграммы по Р. Зартману (1984)

Fig. 7. Point areas of lead isotopic ratio in sulfides from gold lode deposits of the Yana-Kolyma gold-ore-forming system (GOFs) and Kuznetsk Alatau GOFs. According to (Горячев, 2003; Алабин, Калинин, 1999). Diagram fields are given by P. Zartman (Зартман, 1984)

Естественно, что изложенные в статье представления требуют дальнейшей проработки в вопросах связей ЗРС с рудообразующими системами других металлов (Cu, Zn, Pb, Mo, W, Sn и др.), относительно роли платиноидов в ЗРС. Весьма интересной представляется проблема смены разных форм золота в рудах разных типов (переход золота из тонкодисперсной формы в минералообразующую). Это связано с проблемами геохимии благородных металлов в геологических средах и разработкой новых адекватных методов анализа и физико-химической диагностики форм нахождения дисперсных благородных металлов в упорных рудах золоторудных месторождений, а также с изучением химизма процессов образования дисперсных систем Au и платиноидов. В геологическом и тектоническом отношении представляется важным обратить внимание на проблемы существования так называемых перивулканических зон и зон тектоно-магматической активизации, включать ли их в состав орогенных поясов как проявление структур посторо-

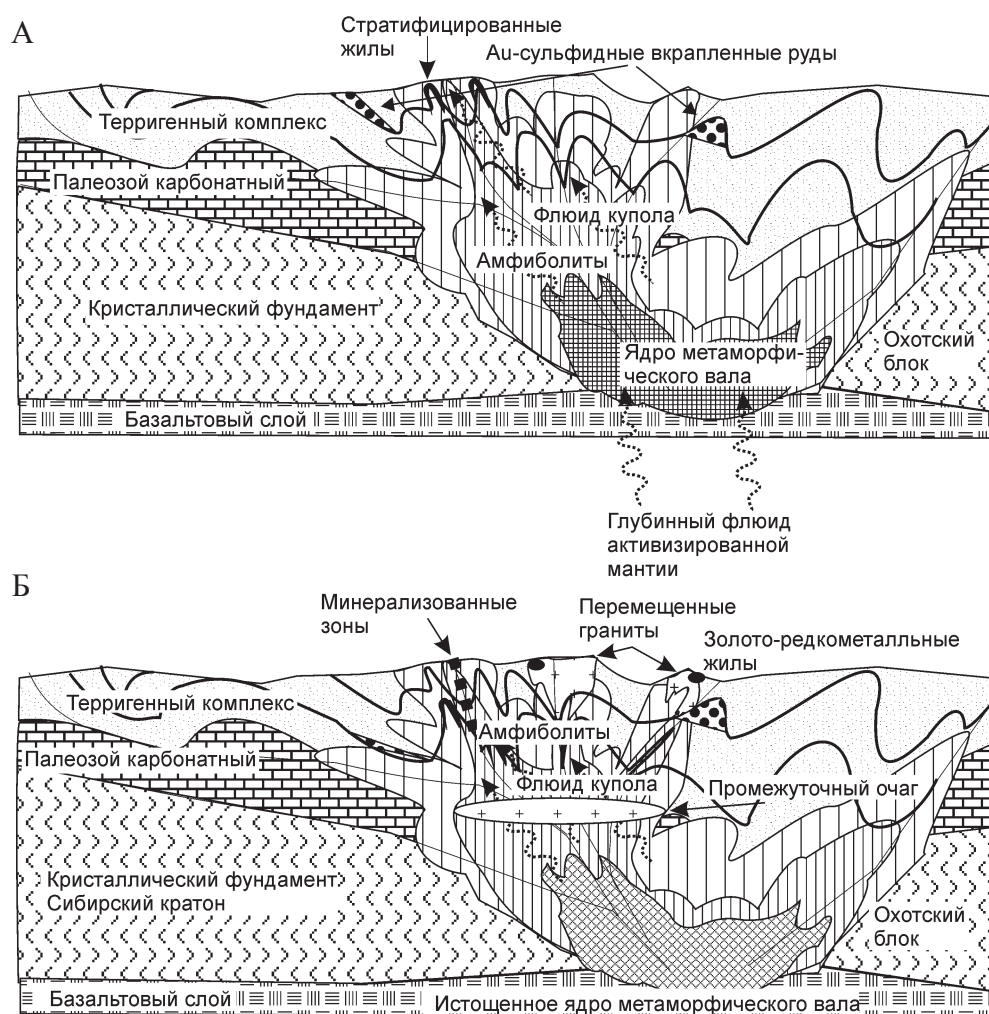


Рис. 8. Плутонометаморфическая модель ЗРС Яно-Колымского золоторудного пояса (Горячев, 2003): А – раннеорогенный этап, Б – позднеорогенный этап

Fig. 8. Plutonic-metamorphic model for the GOFS of Yano-Kolyma Metallogenic Belt (Горячев, 2003): А – early orogenic stage, Б – late orogenic stage

генного расширения, или это структуры более молодого наложенного орогенного пояса? В таком случае мы будем иметь дело с сонахождением разных региональных ЗРС, что может служить указанием на возможность формирования в таких местах крупных полигенных и полихронных, а то и полиформационных объектов, как, например, Кючюс на севере Якутии.

Таким образом, ЗРС орогенных поясов в своем происхождении охватывают весь комплекс геологических формаций орогенных структур, имея длительную предысторию: формирование осадочных бассейнов пассивных континентальных окраин (черносланцевые толщи) или бассейнов, связанных с формированием вулканических островных дуг. Но основные процессы формирования ЗРС обеспечены орогенным региональным и зональным метаморфизмом и связанными с ним магматическими очагами и региональными флюидными потоками, формирующими конкретные магматические комплексы и локальные ЗРС. Эволюция орогенных золоторудообразующих систем является следствием общего направления геохимической дифференциации рудообразующих систем во времени

и представляет собой результат рудного разнообразия как функции сиализации коры.

Статья подготовлена в рамках междисциплинарного интеграционного проекта СО РАН – ДВО РАН № 119.

ЛИТЕРАТУРА

Алабин Л. В., Калинин Ю. А. Металлогения золота Кузнецкого Алатау. – Новосибирск : Изд-во СО РАН НИЦ ОИГГМ, 1999. – 237 с.

Бялбжеский С. Г., Горячев Н. А. Сравнительный анализ тектоники и металлогении Азиатского и Американского сегментов Северной Пацифики // Геодинамика, магматизм и минерогения континентальных окраин Севера Пацифики : в 3 т. : Материалы Всерос. совещ., посвящ. 90-летию акад. Н. А. Шило. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – Т. 3. – С. 18–21.

Власов Г. М. О принципах выделения магматогенно-рудных систем // Магматогенно-рудные системы. – Владивосток : ДВНЦ АН СССР, 1979. – С. 3–10.

Гамянин Г. Н., Горячев Н. А. Золоторудно-магматические системы гранитоидного ряда на Северо-Востоке СССР // Рудно-магматические системы Востока СССР. – Якутск : ЯНЦ СО РАН, 1991. – С. 37–48.

- Гамянин Г. Н., Горячев Н. А., Бортников Н. С., Аникина Е. Ю. Изотопы серы в познании генезиса рудно-магматических систем Северо-Востока Азии // Геодинамика, магматизм и минерагения континентальных окраин севера Пацифики... – 2003а. – Т. 2. – С. 207–211.
- Гамянин Г. Н., Горячев Н. А., Бахарев А. Г. и др. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003б. – 196 с.
- Гамянин Г. Н., Горячев Н. А., Округин В. М. и др. Геология изотопов серы месторождений золота и серебра Северо-Востока Азии // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология : тез. докл. III Всерос. совещ. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2004. – С. 45–47.
- Геодинамика, магматизм и металлогения Дальнего Востока России / А. И. Ханчук и др. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – (В печати).
- Гончаров В. И. Рудно-магматические системы Восточно-Азиатских вулканогенных поясов и проблемы их изучения // Рудно-магматические системы Северо-Востока СССР. – Хабаровск : МФ ХПИ, 1990. – С. 4–15.
- Гордиенко И. В., Климук В. С., Хень Цюань. Верхнеамурский вулканоплутонический пояс Восточной Азии (строение, состав, геодинамические условия формирования) // Геол. и геофиз. – 2000. – Т. 41, № 12. – С. 1655–1669.
- Горячев Н. А. Геология мезозойских золото-кварцевых жильных поясов Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1998. – 210 с.
- Горячев Н. А. Происхождение золото-кварцевых жильных поясов Северной Пацифики. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2003. – 143 с.
- Горячев Н. А. Удско-Мургальская магматическая дуга: геология, магматизм, металлогения // Проблемы металлогении рудных районов Северо-Востока России : сб. науч. тр. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2005. – С. 17–38.
- Горячев Н. А., Гамянин Г. Н. Изотопно-геохимические исследования золоторудно-магматических систем // Магматизм и метаморфизм Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – С. 136–140.
- Горячев Н. А., Колесниченко П. П. К геохимии габброидных интрузивов Яно-Колымского золотоносного пояса // Магматизм и оруденение Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1997. – С. 243–258.
- Горячев Н. А., Чарч С. Е., Ньюберри Р. Дж. Контраст в свинцово-изотопных характеристиках золоторудных месторождений Северо-Востока Азии и Аляски // Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики. Т. 2. Рудная минерализация и петрогенезис. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2000. – С. 149–157.
- Дистанова А. Н., Телешев А. Е. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм каледонид Алтае-Саянской складчатой области (особенности проявления и эволюция) // Геол. и геофиз. – 2005. – Т. 46, № 8. – С. 817–832.
- Жмодик С. М., Постников А. А., Буслов М. М. и др. Геодинамика Саяно-Байкало-Муйского аккреционно-коллизонного пояса в неопротерозое – раннем палеозое, закономерности формирования и локализации благороднометалльного оруденения // Геол. и геофиз. – 2006. – № 1. – С. 183–197.
- Жмодик С. М., Травин А. В., Пономарчук В. А. и др. Pb-, S-изотопная систематика золоторудных месторождений юго-восточной части Восточного Саяна // Докл. РАН. – 1999. – Т. 366, № 3. – С. 392–394.
- Зартман Р. Pb, Sr и Nd изотопные характеристики рудных месторождений в зависимости от их геологического положения // Металлогения и рудные месторождения. – М. : Наука, 1984. – С. 44–56. – (Тр. 27-го МГК ; т. 12).
- Иванкин П. Ф., Рабинович К. Р. Золотоносные рудно-магматические системы гранитоидного ряда // Геол. и геофиз. – 1971. – № 5. – С. 55–63.
- Ивенсен Ю. П., Левин В. И. Генетические типы золотого оруденения и золоторудные формации // Золоторудные формации и геохимия золота Верхояно-Чукотской складчатой области. – М. : Наука, 1975. – С. 5–120.
- Константинов М. М. Генетические системы золоторудных месторождений // Докл. АН СССР. – 1984. – Т. 275, № 3. – С. 696–699.
- Кривцов А. И. Рудообразующие процессы и системы // Рудообразующие процессы и системы: докл. сов. геологов на XXVIII сес. МГК (Вашингтон, июль 1989 г.) – М. : Наука, 1989. – С. 7–12.
- Магматогенно-рудные системы. – М. : Наука, 1986. – 256 с.
- Миронов А. Г., Жмодик С. М. Золоторудные месторождения Урик-Китойской металлогенической зоны (Восточный Саян, Россия) // Геол. рудн. месторожд. – 1999. – Т. 41, № 1. – С. 54–59.
- Моисеенко В. Г., Эйриш Л. В. Золоторудные месторождения Востока России. – Владивосток : Дальнаука, 1996. – 352 с.
- Некрасов И. Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. – М. : Наука, 1991. – 302 с.
- Парфенов Л. М., Берзин Н. А., Ханчук А. И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеан. геол. – 2003. – № 6. – С. 7–41.
- Романовский Н. П. Петрофизика гранитоидных рудно-магматических систем Тихоокеанского пояса. – М. : Наука, 1987. – 191 с.
- Рунеев С. Н., Владимиров А. Г., Пономарчук В. А. и др. Раннепалеозойские гранитоидные батолиты Алтае-Саянской складчатой области (латерально-временная зональность, источники) // Докл. РАН. – 2004. – Т. 396, № 3. – С. 369–373.
- Рундквист Д. В. Эпохи реювенации докембрийской коры и их металлогеническое значение // Геол. рудн. месторожд. – 1993. – № 6. – С. 467–483.
- Рундквист Д. В. Фактор времени при формировании гидротермальных месторождений : периоды, эпохи, этапы и стадии рудообразования // Там же. – 1997. – Т. 39, № 1. – С. 11–24.
- Сафонов Ю. Г. Гидротермальные золоторудные месторождения: распространенность – геолого-генетические типы – продуктивность рудообразующих систем // Там же. – 1997. – № 1. – С. 25–40.
- Сафонов Ю. Г. Процессы образования золоторудных месторождений // Проблемы рудной геологии, петрологии, минералогии и геохимии. – М. : ИГЕМ РАН, 2004. – С. 99–129.
- Сидоров А. А. О геолого-генетическом моделировании рудных комплексов // Докл. РАН. – 1994. – Т. 337, № 6. – С. 794–796.

Сидоров А. А. Рудные формации и эволюционно-исторический анализ благороднометалльного оруденения. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 1998. – 246 с.

Смирнов В. И. Предисловие // Рудообразующие процессы и системы : докл. сов. геологов на XXVIII сес. МГК (Вашингтон, июль 1989 г.) – М. : Наука, 1989. – С. 5–6.

Соколов С. Д., Оксман В. С., Бондаренко Г. Е. Аккреционные и коллизионные складчатые пояса // Тектоника и геодинамика континентальной литосферы : материалы XXXVI тектон. совещ. – М. : Геос, 2003. – Т. 2. – С. 201–204.

Спиридонов А. М. Золотометалльные рудно-магматические системы Забайкальской части Монголо-Охотского складчатого пояса (геодинамическая позиция, модельные типы, генезис, прогноз) : автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. – Новосибирск, 2004. – 40 с.

Шахов Ф. Н. Геология жильных месторождений. – М. : Наука, 1964. – 221 с.

Шахов Ф. Н. Принцип формаций в систематиках месторождений, созданных горячими растворами // Эндеогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. – Новосибирск : Наука, 1966. – С. 41–46.

Шпикерман В. И., Чернышев И. В., Агапова А. А., Троицкий В. А. Геология изотопов рудного свинца центральных районов Северо-Востока России. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 1993. – 36 с.

Эйриш Л. В. Золоторудные системы Дальнего Востока // Тихоокеан. геол. – 1991. – № 2. – С. 67–80.

Эйриш Л. В. Металлогения золота Приморья. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 148 с.

Canadian Mineral Deposit Types / ed. O. R. Extrand // Geol. Surv. of Canada. Econ. Geol. Report 36. – 1984. – 86 p.

Gamyranin G. N., Goryachev N. A., Okrugin V. M. et al. Geologic characteristics of Sulfur Isotopes from Mesozoic and Cenozoic lode deposits in northeastern Asia // Metallogeny of the Pacific Northwest : Tectonics, Magmatism and Metallogeny of Active Continental Margins : proceedings of the Interim IAGOD conference. Vladivostok, 1–20 September 2004. – Vladivostok : Dalnauka, 2004. – P. 436–438.

Goldfarb R. J., Snee L. W., Pikhthorn W. J. Orogenesis, high-T thermal events, and gold vein formation within metamorphic rocks of the Alaskan Cordillera // Mineralogical Magazine. – 1993. – Vol. 57. – P. 375–394.

Goldfarb R. J., Miller L. D., Leach D. B., Snee L. W. Gold deposits in metamorphic rocks of Alaska/Ore deposits of Alaska // Economic Geology. Monograph No. 9. – 1997. – P. 151–190.

Goldfarb R. J., Phillips G. N., Nokleberg W. J. Tectonic setting of synorogenic gold deposits of the Pacific Rim // Ore Geology Reviews. – 1998. – Vol. 13. – P. 185–218.

Groves D. I., Goldfarb R. J., Gebre-Mariam M. et al. Orogenic gold deposits: a proposed classification in context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geology Reviews. – 1998. – Vol. 13. – P. 7–51.

Kerrich R., Goldfarb R., Groves D., Garwin S. Jia Yiefei The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // Science in China (ser. D). – 2000. – Vol. 43. Supp. – P. 1–68.

Lang J. R., Baker T. Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Mineralium Deposita. – 2001. – Vol. 36. – P. 477–489.

Lang J. R., Baker T., Hart C. J. R., Mortensen J. K. An exploration model for intrusion-related gold systems // SEG Newsletter. – 2000. – No. 40. – P. 1, 6–15.

Mineral deposit models / eds. D. P. Cox, D. A. Singer // US Geol. Surv. Bull. – 1986. – Vol. 1693. – 379 p.

Rundqvist D. V., Kravchenko S. M. The role of geologic time in the genesis of giant mineral deposits // Global Tectonics and Metallogeny. – 2001. – Vol. 7, No. 3–4. – P. 195–201.

Thomson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T. et al. Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces // Mineralium Deposita. – 1999. – Vol. 34. – P. 323–334.

Zhmodik S. M., Dobretsov N. L., Mironov A. G. et al. Mineralogical and Geochemical Signatures of Hydrothermal-Sedimentary Origin of Gold Ore Formations of the Kholba Deposits, Eastern Sayan, Russia // Resource Geol. Special Issue. – 1993. – No. 17. – P. 287–313.

Поступила в редакцию 20.02.2006 г.

GOLD-ORE-FORMING SYSTEMS OF OROGENIC BELTS

N. A. Goryachev

Major gold belts throughout eastern Russia including Yana-Kolyma, Mongolo-Okhotsk, Kuznetsk-Baikal and other belts serve as a basis for the author of this paper to present his idea of gold-ore-forming systems (GOFs) of orogenic belts in the Siberian Craton rims. The notion of a gold mineralization system is examined, different gold lode types are described and presented in the context of the orogenic belt geologic history. On basis of the space-and-time distribution law of different deposit types and in consideration of isotopic and geochemical data available, gold mineralization systems of orogenic belts are shown to represent the entire set of geologic units of orogenic structures and have a long-term prehistory including the development of sedimentary basins over passive continental edges (black shales) or basins related to developing island arcs. But developing gold mineralization systems have been mainly due to orogenic regional and zonal metamorphism and its related magmatic chambers and regional fluids, which resulted in area-specific magmatic complexes and gold lode deposits.

Key words: gold lode deposits, orogenic belts, ore-forming processes, gold-ore-forming systems, sulfur and lead isotopic data, plutonic-metamorphic model.