

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

ЗОЛОТОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В КРЕМНИСТО-КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Е.В. Айриянц, С.М. Жмодик, А.Г. Миронов*, А.А. Боровиков

Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

** Геологический институт СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, ба, Россия*

Проведено комплексное изучение и сравнительный анализ двух золоторудных месторождений Водораздельное и Ондолтой, расположенных среди карбонатных и карбонатно-сланцевых отложений ильчирской свиты в юго-восточной части Восточного Саяна. Месторождение Водораздельное относится к золото-кварц-сульфидному типу, формировавшемуся при $T = 275\text{—}300\text{ }^{\circ}\text{C}$ с участием высококонцентрированных хлоридных флюидов, для которого характерно относительно низкопробное золото, связанное с кварц-сульфидной минерализацией. Изотопный состав серы $\delta^{34}\text{S}$ указывает на близость руд месторождения к сульфидам гидротермальных построек медленноспрединговых хребтов. Ондолтойское месторождение представлено малосульфидными карбонатными брекчиями и гематитизированными джаспероидами. Этот тип оруденения приурочен к фронтальной части крупного надвига и характеризуется наличием золотосульфидной минерализации, представленной тонкозернистыми сульфидами и субмикронным золотом в кремнисто-карбонатных образованиях и джаспероидах; развитием брекчиевых образований; повышенным содержанием Hg, Sb, Ba, Fe как во вмещающих породах, так и в рудах. Установленные геологические и минералого-геохимические особенности месторождения Ондолтой позволяют отнести его к карлинскому типу.

Карбонатные породы, джаспероиды, тонкодисперсное золото, золотое оруденение карлин-типа, Восточный Саян.

GOLD MINERALIZATION IN SILICEOUS-CARBONATE ROCKS OF SOUTHEASTERN EAST SAYAN

E.V. Airiyants, S.M. Zhmodik, A.G. Mironov, and A.A. Borovikov

Complex study and comparative analysis were carried out for two gold deposits, Vodorazdel'noe and Ondol'toi, localized among carbonate and carbonate-shale rocks of the Il'chir Formation in southeastern East Sayan. The Vodorazdel'noe deposit is of gold-quartz-sulfide type; it formed at $275\text{—}300^{\circ}\text{C}$ with the participation of highly concentrated chloride fluids and bears low-fineness gold associated with quartz-sulfide mineralization. In sulfur isotope composition ($\delta^{34}\text{S}$) the deposit ores are similar to sulfides of hydrothermal structures of slow-spreading ridges. The Ondol'toi deposit is formed by low-sulfide carbonate breccias and hematitized jasperoids. This deposit is localized in the frontal zone of a large thrust and bears gold-sulfide mineralization (fine-grained sulfides and submicron gold in siliceous-carbonate rocks and jasperoids). It is characterized by the presence of brecciated rocks and high contents of Hg, Sb, Ba, and Fe in both ores and the host rocks. The established geologic, mineralogical, and geochemical features of the deposit permit it to be assigned to the Carlin type.

Carbonate rocks, jasperoids, finely dispersed gold, Carlin-type gold mineralization, East Sayan

ВВЕДЕНИЕ

Золоторудные месторождения карлин-типа, расположенные в кремнисто-карбонатных отложениях, вызывают повышенный интерес со стороны исследователей, что обусловлено как значительными прогнозными запасами подобных рудопроявлений и достаточно простой технологией извлечения золота, так и сложностями, связанными с поисками тонкодисперсного типа руд. Несмотря на большое число работ, посвященных исследованию геологического строения, минералого-геохимических особенностей руд и условий формирования невадийского типа оруденения, многие важные стороны образования таких месторождений неясны [Бакулин и др., 2001]. Главной проблемой выявления руд карлинского типа является их макроскопическая „невыразительность“ и возможность обнаружения горизонтов с высокими концентрациями золота только на основании опробования.

В последнее время на уровне предположений активно обсуждается [Дамдинов и др., 2004] вероятность обнаружения золотого оруденения типа Карлин в Восточном Саяне. В юго-восточной части Восточного Саяна в терригенно-карбонатных отложениях ильчирской свиты (V—E), входящих в состав офиолитового покрова, расположена целая группа месторождений и рудопроявлений с типичным для региона кварц-золотополисульфидным и золотосульфидным типом золотого оруденения, многие из которых изучены достаточно детально [Рошкетаяев и др., 2000]. Выделяются, как минимум, два типа оруденения: первый — зун-холбинский, к которому относится месторождение Водораздельное, представляющее собой рудную зону, выполненную системой кварц-полисульфидных жил и прожилков в углисто-глинистых сланцах и карбонатных отложениях ильчирской свиты. Второй тип, к которому относится месторождение Ондольтой, резко отличается от вышеописанного и обладает рядом особенностей, характерных для месторождений карлинского типа [Нарсеев, 2002].

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ РАЙОНА

Юго-восточная часть Восточного Саяна (рис. 1) представляет собой сложный в геологическом отношении район, в строении которого участвуют архейский Гарганский палеомикроконтинент, сложенный породами плагиоплейрогнейсовой формации, Ильчирская и Окинская структуры, первая из которых является частью палеоокеанической области, а тектоническая природа второй пока остается дискуссионной и, возможно, представляет собой реликт задугового палеобассейна [Жмодик и др., 2006]. Карбонатные породы иркутской свиты, слагающие субплатформенный чехол, залегают чаще всего со стратиграфическим несогласием на кристаллических породах фундамента. Их перекрывают с контактом, имеющим характер надвига, венд-раннекембрийские осадочно-вулканогенные породы ильчирской свиты. Отложения ильчирской свиты преимущественно черные углеродисто-кремнистые, углисто-глинисто-карбонатные сланцы с прослоями углеродсодержащих карбонатных отложений. Внутри сланцевой толщи

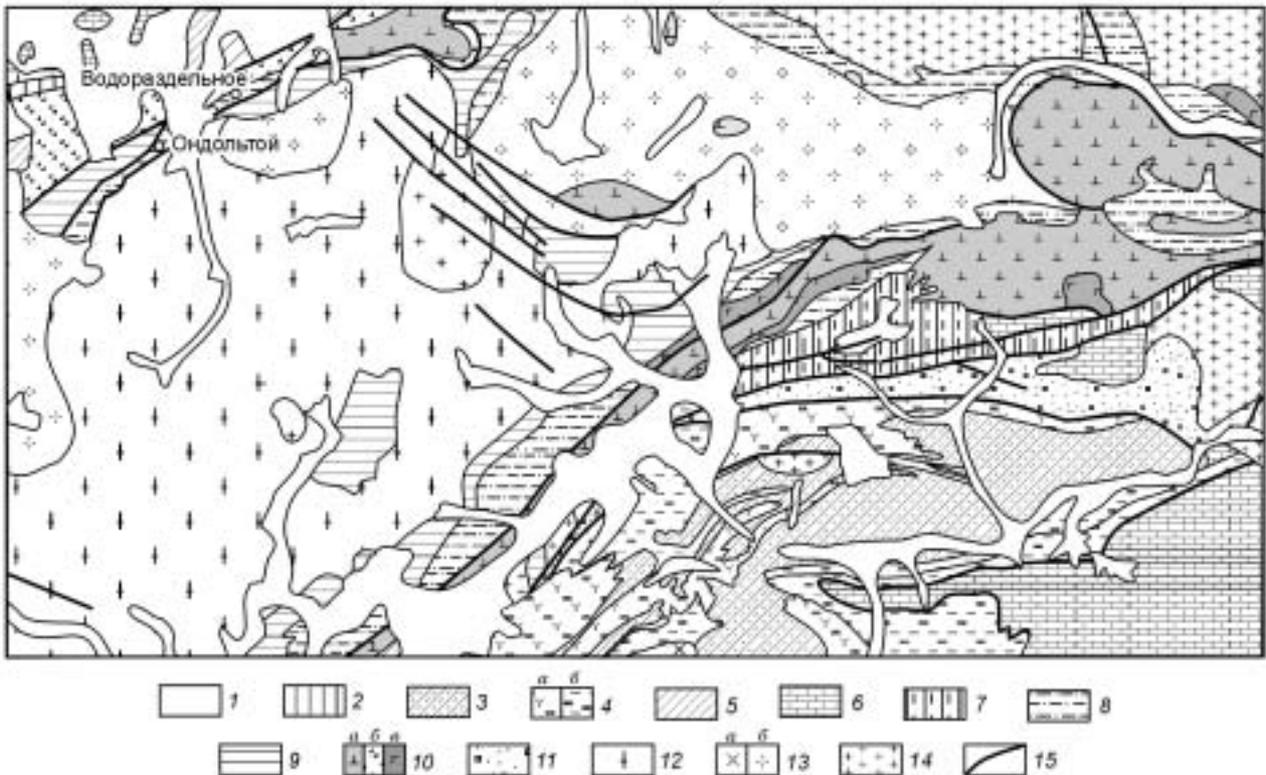
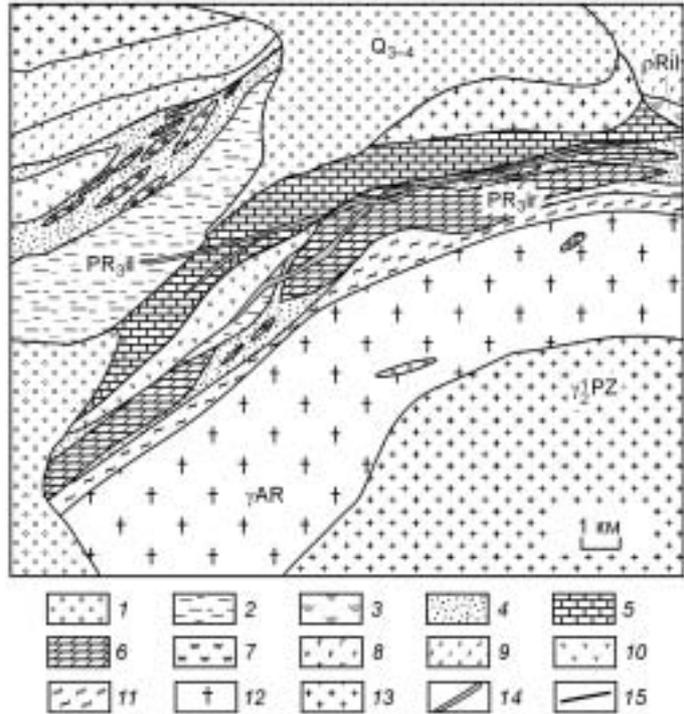


Рис. 1. Геологическая схема юго-восточной части Восточного Саяна [Добрецов, 1988].

1 — аллювиальные и ледниковые четвертичные отложения; 2 — флишoidная формация (S—D): песчаники, алевролиты, сланцы; 3 — существенно карбонатная с вулканитами формация (O—S); 4 — вулканогенно-осадочная карбонатная (O—S): а — толеит-базальт-карбонатная, б — туфосланцевая карбонатная; 5 — доломит-известковая, фосфатоносная формация; 6 — известковая формация (O—S); 7 — граувакк-песчаная сланцевая (V—PR); 8 — песчано-сланцевая карбонатная (ильчирская свита) (PR₂); 9 — известняково-доломитовая (иркутская свита); 10 — офиолитовая ассоциация: а — гипербазиты, б — базиты, в — вулканиты; 11 — олистостромовая карбонатно-терригенная формация; 12 — плагиоплейрогнейсовая мигматит-гранитовая (AR) формация; 13 — гранитоидные формации: а — сиенит-граносиенитовая, б — диорит-плагиогранитовая; 14 — гранитоиды; 15 — разрывные нарушения.

Рис. 2. Геологическая схема месторождения Водораздельное [Деревенец и др., 1993].

1 — аллювиальные отложения; ильчирская свита: 2 — углеродистые карбонат-слюдисто-кремнистые сланцы, 3 — метаэффузивы основного состава, 4 — полимиктовые песчаники; иркутская свита: 5 — темно-серые мелкозернистые известняки, 6 — доломиты, 7 — кварциты; офиолитовая ассоциация: 8 — габбро, 9 — серпентиниты, 10 — диабазы; 11 — амфиболитовые кристаллические сланцы; 12 — гнейсограниты; 13 — граниты сумсунурского комплекса; 14 — рудные тела; 15 — разрывные нарушения.



фиксируются олистолиты, представленные вулканогенно-осадочными и карбонатными образованиями [Рошектаев и др., 1983]. Порода ильчирской свиты входят в состав офиолитовой ассоциации и участвуют в строении покровной структуры. Офиолиты располагаются в виде непрерывного кольца вокруг микроконтинента Гарганской глыбы. Магматические породы представлены гранитоидами сумсунурского комплекса (R) [Кузьмичев, 2004]. Массивы имеют зональное строение: центральные части сложены лейкократовыми тоналитами, сменяющимися к периферии биотитовыми и роговообманковыми. Более поздними являются малые интрузивные тела и дайки, сложенные лейкократовыми плагиогранитами, ранее выделявшиеся в самостоятельный холбинский комплекс.

Месторождение Водораздельное приурочено к толще углисто-глинистых и графитизированных сланцев ильчирской свиты вблизи контакта (надвиг) с карбонатными отложениями иркутской свиты [Рошектаев и др., 2000]. Южнее сланцы сменяются линзами, связанными с доломитами и известняками иркутской свиты, которые рассланцованы, диафорированы вместе с гнейсогранитами фундамента Гарганской глыбы и гранитоидами сумсунурского комплекса (рис. 2). Карбонатная толща залегает в виде изоклинальных складок, образованных в результате сдвиговых деформаций. Рудоконтролирующими структурами являются широтные и северо-западные зоны, осложненные субширотными и северо-восточными разрывными нарушениями, сопровождающиеся рассланцеванием, окварцеванием и графитизацией пород. Разломы субширотного направления секутся системами северо-западных нарушений, к которым приурочены дайки фельзит-порфиров, микродиоритов и лампрофиров.

Месторождение представляет собой рудную зону, сложенную системой прожилкования, кварц-полисульфидными жильными и линзовидными телами. Главное рудное тело — крупная минерализованная зона близширотного направления (2 км) среди мощной сланцевой толщи. Она состоит из разобщенных кулис, приуроченных к линейно-вытянутой системе однотипных разрывов. Мощность рассланцованных пород меняется от первых метров до 10 м. Падение крутое на северо-восток (75°). Зона смещается вдоль секущих северо-западных и северо-восточных тектонических нарушений с амплитудой в первые метры и состоит из разобщенных кулис, приуроченных к линейно-вытянутой системе однотипных разрывов. Полиметаллическая минерализация образует вкрапления, бананцы.

Месторождение Ондольтой расположено на северо-западном фланге Хойто-Гарганского рудоконтролирующего разлома северо-западного простирания в месте пересечения им интрузии сумсунурского комплекса (рис. 3). Территория участка сложена карбонатами и терригенными породами ильчирской свиты: массивными, доломитизированными известняками, карбонатными брекчиями и доломитами, в которых фиксируется горизонт интенсивно окремненных известняков, вплоть до джаспероидов мощностью до 40 м. В средней части разреза среди известняков отмечаются маломощные прослои (до 20 м) черных углеродистых сланцев. В верхней части разреза карбонаты сменяются кварц-серицитовыми, кварц-хлорит-серицитовыми и углеродсодержащими кварц-серицитовыми филлитовыми сланцами. На юго-западе участка карбонатные породы подстилаются черными углеродистыми сланцами иркутской свиты. На участке распространены магматические породы, представленные гранитоидами, кварцевыми порфирами и дайками сумсунурского комплекса: гранодиорит-порфирами, микродиоритами и кварцевыми порфирами. Дайки ориентированы преимущественно в северо-восточном и северо-западном направлениях, соответственно направлениям преобладающих разрывных нарушений. Положение Ондольтойского участка в зоне влияния крупного Хойто-Гарганского разлома обусловило развитие на

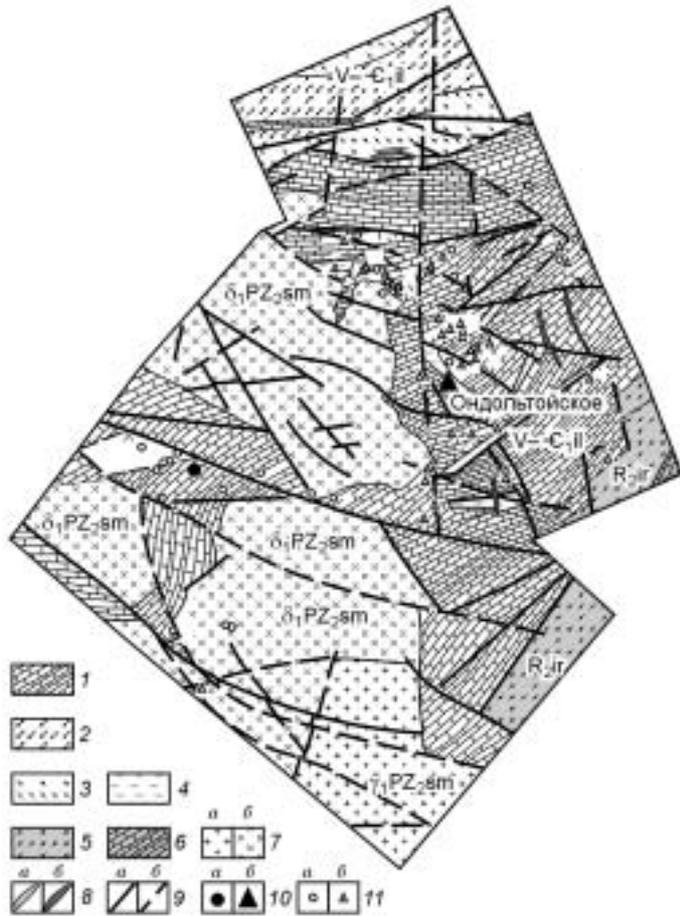


Рис. 3. Геологическая схема рудопроявления Ондольтой [Деревенец и др., 1993].

Ильчирская свита: 1 — известняки, доломиты, 2, 3 — сланцы: 2 — амфибол-хлорит-слюдистые, 3 — кварцсерицитовые углеродсодержащие, 4 — вторичные кварциты; иркутская свита: 5 — углеродсодержащие кварцсерицитовые сланцы, 6 — известняки; 7, 8 — сумсу-мурский интрузивный массив (sm): 7 — первая фаза: граниты, гранодиориты (а), кварцевые порфиры (б), 8 — вторая фаза: дайки гранодиорит-порфиры (а), кварцевых порфиры (б); 9 — тектонические нарушения: установленные (а), предполагаемые (б); 10 — рудопроявления золота, связанные с кварцевыми жилами (а), минерализованными зонами (б); 11 — места отбора проб: в карбонат-кварцевых прожилках (а), в минерализованных зонах (б).

площади густой сети разрывных нарушений более высоких порядков северо-западного простирания ($290\text{—}310^\circ$), которые представлены участками дробления, брекчирования и расщепления пород.

Руды месторождения Ондольтой представлены минерализованными зонами с неравномерным распределением золота в брекчированных яшмоидах, джаспероидах с кварц-гематитовыми жилками, полосчатыми магнетит-гематитовыми рудами и рассеянной редкой вкрапленностью сульфидных минералов. Преимущественно это зоны северо-западного, реже северо-восточного прости-

рания. Весьма характерна для участка кварц-гематитовая ассоциация минералов, развитая в пределах основных деформационных зон различной ориентировки.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для изучения вещественного состава руд отбирались пробы горных пород и руд из горных выработок. Большеобъемные пробы (50—20 кг) истирались до <0.25 мм и методом шлихования (промывки пробы в воде) выделялся золотосульфидный концентрат. Под биноклем выделялись мономинеральные фракции (золото, пирит, галенит, сфалерит и разные типы кварца) для определения изотопного состава серы, состава золота, сульфидов и термобарогеохимического изучения. Морфология и химический состав минералов исследовались с использованием сканирующего микроскопа с приставкой для определения элементного состава минералов KEVEX-Jeol (ОИГТМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитик С.В. Летов) и микронзондового микрорентгеноспектрального анализа на приборе „Сamebax Micro“ (аналитик О.С. Хмельникова). Характер взаимоотношения минералов, выявление стадий минералообразования, структурные особенности руд изучались методами минераграфии на поляризационном микроскопе МИН-9. Для выявления физико-химических параметров образования и состава флюидных систем, формирующих месторождения, были использованы методы термобарогеохимии: гомогенизация, криометрия, декрипитация газовой-жидких включений с использованием микротермокамеры, разработанной Н.Ю. Осоргиным и А.А. Томиленко [1990], и газовой хроматографии с использованием хроматографической установки, разработанной Н.Ю. Осоргиным [1990]. Криометрические исследования проводились по методике, разработанной А.С. Борисенко [1977].

Для выявления геохимических особенностей пород рудного поля был проведен анализ вмещающих пород месторождений Ондольтой, Водораздельное методами РФА—СИ и инструментальным нейтронно-активационным методом (содержание Au, Ag, Sb), которые позволили установить типы распределения редких, рассеянных и редкоземельных элементов (Аналитический центр ОИГТМ СО РАН, ИЯФ СО РАН, г. Новосибирск, аналитики В.С. Пархоменко, Ю.П. Колмогоров). Предварительная оценка концентрации золота в рудных зонах и вмещающих породах проводилась приближенно-количественным спектрохимическим методом. Для определения концентрации Au, Sb, Ag, Hg в породах месторождений и проведения

внешнего контроля эти же пробы были проанализированы атомно-абсорбционным методом (аналитик В.Г. Цимбалест).

С целью установления природы источника вещества, физико-химических условий минералообразования сделан анализ изотопного состава серы и свинца в рудных сульфидных минералах месторождения Водораздельное. Применение расчетного метода геотермометров Ohmoto—Rye [Рай, Омото, 1977] для сульфидов месторождений позволило осуществить независимую оценку температур образования руд и провести сравнение с данными, полученными термобарогеохимическими методами. Карбонатные отложения рассматриваемых месторождений анализировались на содержание стабильных изотопов С, О и Sr. Произведен расчет соотношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, позволяющий судить о динамике поступления стронция в морскую воду из земных пород.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В результате проведенных комплексных исследований месторождений Водораздельное и Ондольтой был определен минеральный состав руд и выявлена геохимическая специфика оруденения. Руды месторождения Водораздельное относятся к богатым полисульфидным, массивным, вкрапленным. В рудах отчетливо выделяются несколько минеральных ассоциаций: кварц-пирит-пирротиновая, кварц-полисульфидная и золото-кварцевая, соответствующие последовательности рудоотложения. Преобладающие минералы: пирит, халькопирит, пирротин, в меньшей степени галенит, сфалерит-марматит (Fe до 6.62 мг/т) (табл. 1). Второстепенные представлены блеклой рудой, аргентитом, электрумом. Содержание золота в жилах колеблется от 10 до 140 г/т при среднем содержании 45 г/т. Золото встречается обычно в виде сростаний с сульфидами в кварцевых жилах, образует самостоятельные зерна (от 0.1 до 3—7 мм) проволоочной, дендритовой, изометричной формы. По результатам изучения 300 зерен золота диапазон пробности колеблется от 250 до 1000. На гистограмме распределения золота установлено три максимума 47—52, 67—68.5 и 88—90 мас.% (рис. 4, а). В более низкопробном золоте отмечается примесь Hg до 0.36 и Sb до 2.78 мас.%, причем высокие концентрации сурьмы не связаны с включениями собственных минералов сурьмы, что доказано данными электронной микроскопии. Скорее всего, сурьма входит как

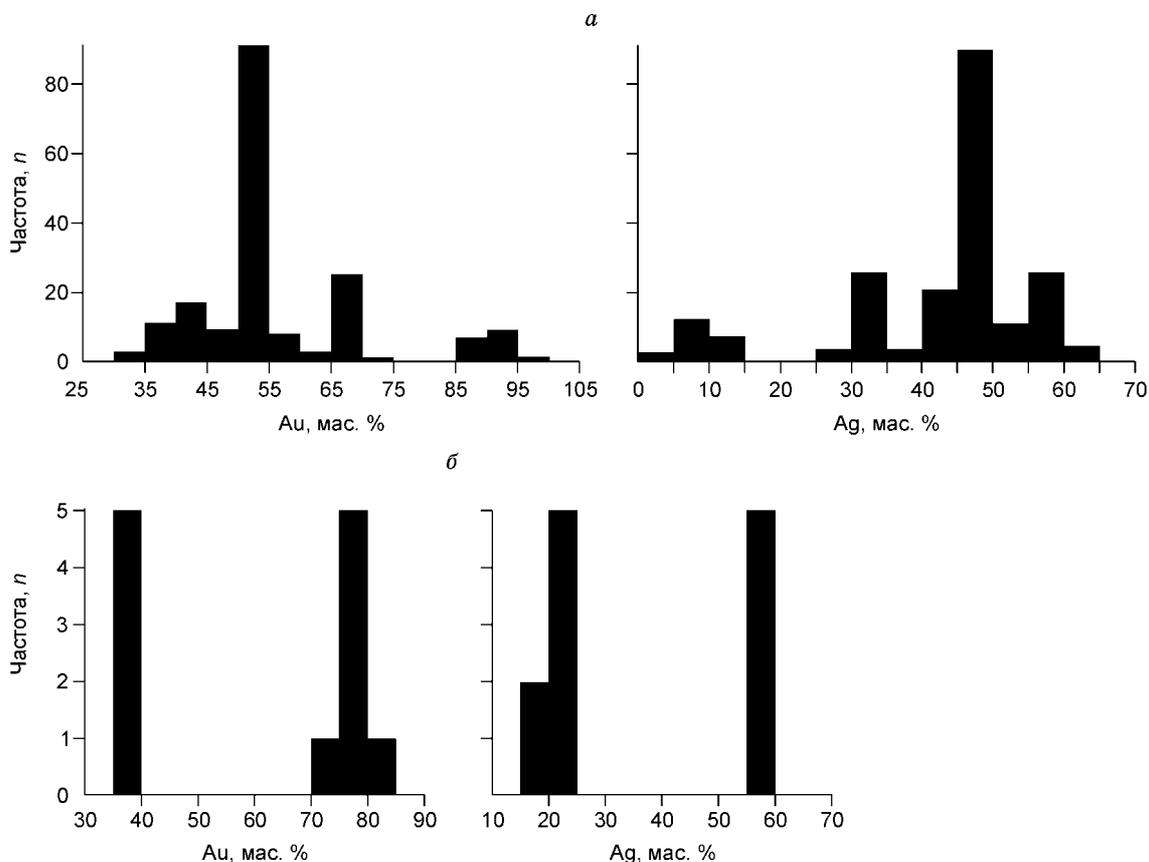


Рис. 4. Гистограммы распределения Au, Ag в золотилах месторождений Водораздельное (а), Ондольтой (б).

Таблица 1.

Состав сульфидных минералов месторождений Водораздельное и Ондольтой по данным микрозондового анализа

Месторождение	Fe	Cu	Zn	As	Au	Hg	S	Pb	Ag	Sb	Сумма	Формула	Минерал
Водораздельное	0.05	0.03	0.34	0	0.219	0.107	13.21	85.6	0.15	0.19	99.89	PbS	Галенит
	60.17	0.008	0.039	0	0.108	0.086	38.48	Не ан.	0.069	0.021	99.16	Fe _{1-x} S	Пирротин
	47.07	0.003	0.116	0	0.154	0.023	52.53	0.214	0.005	0.013	100.09	FeS ₂	Пирит
	31.57	33.2	0.054	0	0.185	0.062	33.37	0	1.57	0.051	98.7	CuFeS ₂	Халькопирит
	6.59	0.013	58.69	0	0	0	32.59	0.46	0.003	0	99.59	(Fe,Zn)S	Сфалерит-марматит
Ондольтой	30.14	34.22	0.007	0	0.043	0	34.57	0.108	0.005	0	99.11	CuFeS ₂	Халькопирит
	47.65	0.003	0.002	1.2	0.1	0	52.06	0.18	0.002	0.012	100.03	FeS ₂	Пирит
	0.06	0.011	0.005	0	0	0.054	13.16	86.16	0.04	0.052	99.55	PbS	Галенит

Примечание. Анализы выполнены в лаборатории рентгеноспектрального анализа Аналитического центра ОИГТМ СО РАН (аналитик О.С. Хмельникова); содержание элементов даны в мас. %.

структурная примесь, что подтверждается графиками обратно пропорциональной зависимости с содержанием золота в золотилах и прямо пропорциональной с серебром (рис. 5) [Самусиков, Петрова, 1983]. В целом золотое оруденение месторождения Водораздельное связано с мощными зонами кварц-полисульфидной проработки, жилами и линзовыми выделениями. Представлено оно в виде самостоятельных зерен изометричной формы или в сростании с более поздними сульфидами. По своему составу золото в основном является средне- и низкопробным с примесью Sb (до 3 %) и Hg (до 1 %).

Руды месторождения Ондольтой можно отнести к убогосульфидным, которые представлены стратиформными брекчированными яшмоидами, джаспероидами с кварц-гематитовыми жилками, полосчатыми магнетит-гематитовыми рудами и редкой рассеянной вкрапленностью сульфидных минералов: пирита, халькопирита, реже галенита (см. табл. 1). Выделены три минеральные ассоциации: кварц-карбонат-халькопиритовая, золото-кварцевая и золото-гематит-кварцевая, которые соответствуют последовательности минералообразования на месторождении. Наиболее ярко проявлена ранняя кварц-карбонат-халькопиритовая ассоциация, главными минералами которой являются кварц, кальцит, сидерит, доломит, пирит, халькопирит. Редко встречаются пирит, блеклая руда, борнит, ковеллин, халькозин. Халькопирит двух генераций: ранней — в виде ксеноморфных зерен, сростаний с пиритом (по трещинам развиваются гидроксиды железа и халькозин), более поздней — пластинчатый с образованием решетчатых структур в борните. Для данной ассоциации характерно присутствие серебряных минералов, представленных гесситом, штрмейеритом. Золото-кварцевая ассоциация характеризуется среднезернистым, друзовидным кварцем с редкими зернами видимого золота. Самостоятельные зерна золота отмечаются в скоплениях лимонита в кварц-карбонатных прожилках. В рудной гематит-кварцевой ассоциации установлен гематит двух разновидностей. Тонкодисперсный гематит равномерно развивается по всей массе породы,

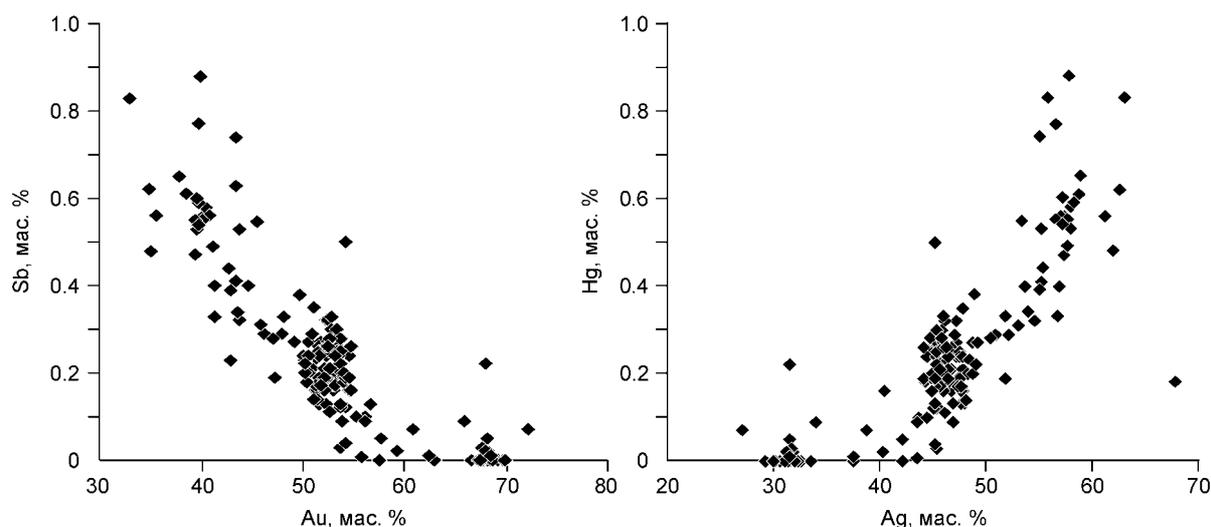


Рис. 5. Графики распределения примесей сурьмы и ртути в золотилах месторождения Водораздельное.

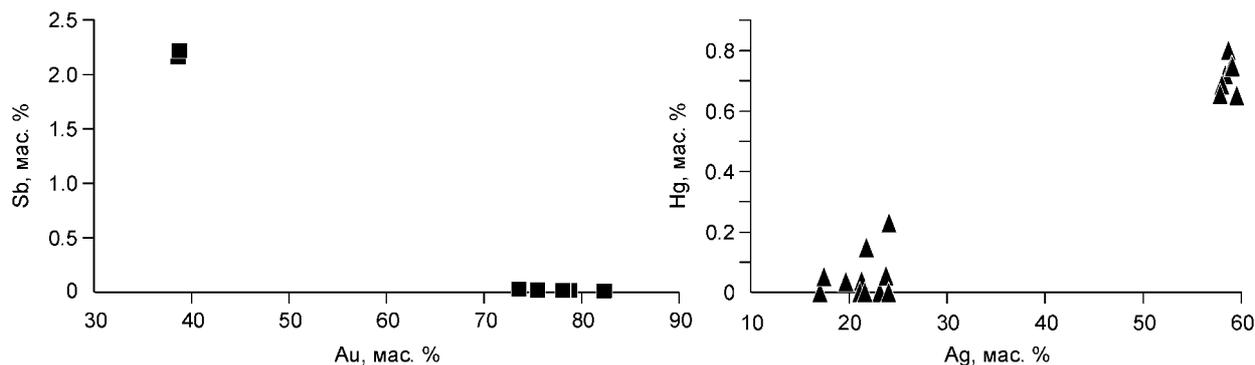


Рис. 6. Графики распределения примесей сурьмы и ртути в золотилах месторождения Ондольтой.

образует мелкозернистые сплошные, сливные скопления и каемки обрастания. Гематит второй разновидности представлен крупночешуйчатыми, таблитчатыми выделениями, формирующими гнездовые скопления. В крайне незначительном количестве присутствует пирит, халькопирит, встречаются реликты магнетита.

Видимое золото на месторождении отмечается редко. Распределение золотилов неравномерное, гнездово-вкрапленное, размер выделений 0.0005—0.2—0.5 мм с преобладанием золота размером 0.01—0.02 мм, формы золотилов изометричные. Все изученное золото низкопробное, двух типов, значительно отличающихся друг от друга. Первый тип с пробностью 771—782 не содержит примесей сурьмы и ртути (рис. 6), второй тип — гетерогенное соединение Au (38.83 %) и Ag (58.63 %) с устойчивой примесью ртути до 0.68 и сурьмы до 2.22 мас. %.

ТЕРМОБАРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛЮИДНОГО РЕЖИМА МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Результаты термобарогеохимического исследования жильного кварца с месторождения Водораздельное показали, что жильный кварц насыщен многочисленными мелкими, одно-, двухфазными включениями размером не более 5 мкм. Встречаются и более редкие газовые и трехфазные включения такого же размера (рис. 7). Незначительные размеры флюидных включений не позволили исследовать их содержание с помощью методов термометрии и криометрии, так как особенности фазового наполнения отдельных включений удастся наблюдать достаточно четко только при увеличении более 1000 крат в водной иммерсии. Особый интерес представляет обнаружение трехфазных включений, которые содержат, скорее всего, кубик галита в качестве третьей фазы. Наличие таких включений свидетельствует об участии высококонцентрированных хлоридных флюидов в процессе минералообразования в начальные моменты гидротермального процесса. Трехфазные включения не содержатся в поздней генерации кварца, слагающей тонкие кварц-карбонатные прожилки в основной массе жильного кварца.

Кварц месторождения Ондольтой содержит многочисленные холодноводные однофазные (раствор) включения размером до 15—20 мкм. Менее широко распространены существенно газовые и двухфазные (раствор—газ) включения. Последние определенно представляют собой результат комбинированного захвата двух фаз (газ и жидкость) гетерогенного гидротермального флюида, так как характеризуются различным соотношением фаз и гомогенизируются в широком интервале температур (120—220 °С). При охлаждении в однофазных жидких включениях не появляется газовый пузырек, это связано с явлением метастабильности и свидетельствует о том, что включения жидкости были захвачены при температуре около 100 °С или менее того. В одно- и двухфазных включениях при глубоком охлаждении кристаллизуется лед, первые признаки плавления которого отмечаются при –41...–40 °С. Эта температура близка к температуре плавления эвтектики раствора. Близкими температурами плавления эвтектики

характеризуются водно-солевые системы, содержащие FeCl₂ и FeCl₃, что свидетельствует о возможном присутствии этих компонентов в растворах флюидных включений. Лед окончательно плавится при –12...–11 °С.

Рис. 7. Зарисовки в произвольном масштабе трехфазных (а), существенно газовых (б), двухфазных газовой-жидких (в, г) включений в кварце месторождения Водораздельное.

Приведенные зарисовки отражают характер соотношения фаз на основании визуального наблюдения флюидных включений при увеличении 1200 крат в водной иммерсии, размер включений не более 5 мкм.

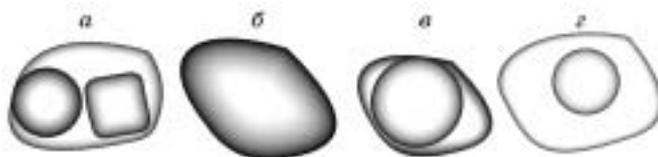


Таблица 2. Данные по изотопам серы $\delta^{34}\text{S}$ для основных сульфидов месторождения Водораздельное

Номер пробы	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$, ‰
$T_{\text{обр}} = 275^\circ\text{C}$		
BC-671	Сфалерит	2.6
BC-672	»	2.6
BC-672	Пирит	3.0
BC-672	Арсенопирит	3.1
BC-672	Галенит	0.1
BC-672	Угристо-глинистый сланец с пиритом	0.5
$T_{\text{обр}} = 330^\circ\text{C}$		
BC-673	Сфалерит	2.6
BC-673	Пирит	3.3
BC-673	Галенит	0.5
BC-671	Пирит	3.1
BC-699	»	3.1
BC-676	»	0.5

Примечание. Анализы выполнены в Аналитическом центре ОИГТМ СО РАН (аналитики В.А. Пономарчук, А.П. Перцева). $T_{\text{обр}}$, °C дана по [Рай, Омото, 1977].

который в сульфидах месторождения Водораздельное колеблется в незначительном интервале от 0.1 до 3.3 ‰ при среднем значении 2.2 ‰. Такие изотопно-легкие значения серы характеризуют сульфиды гидротермальных построек, приуроченные к быстросрединговым хребтам (0.2...6.1 ‰) [Рипп, 1984]. В сульфидных постройках, ассоциирующих с базальтами, из медленносрединговых хребтов величина $\delta^{34}\text{S}$ варьирует от -4.4 до +8.2 ‰ (рис. 8). Возможным источником серы выступали мантия или океаническая кора и, частично, сера за счет восстановления сульфатов морской воды. Изотопный состав серы изменялся под влиянием процесса восстановления экзогенных сульфатов морской воды. С поверхности поступали морские воды с определенной f_{O_2} (обогащенные O_2), и неравновесные изотопные отношения серы пирита и серы раствора стремились к равновесию. Ранее отмечалось, в сульфидах разных месторождений Урик-Китойской зоны значения изотопов S близки к метеоритному уровню, лишь несколько обогащены тяжелым изотопом [Добрецов и др., 1986]. Наибольшее смещение изотопного состава фиксируется для сульфидов поздних стадий на месторождениях и рудопроявлениях, формирование которых тесно связано с гранитоидами. Сера в пиритах вмещающих черных сланцев ильчирской свиты значительно облегчена. Удивительно, что в этих условиях смешанного состава растворов изотопный состав свинца из галенитов самый примитивный и располагается между линиями нижнекорового и мантийного источников. Точки, соответствующие набору рудных минералов (пирит, галенит, сфалерит) рудопроявления Водораздельное, образуют на свинец-свинцовой диаграмме компактную область, близкую к занимаемой сульфидами месторождений Зун-Холба, но смещенную в область радиогенного свинца. Изотопный состав свинца галенитов характеризуется самым примитивным значением и располагается между



Рис. 8. Значения $\delta^{34}\text{S}$ ‰ для сульфидов различных гидротермальных океанических построек и для сульфидов месторождения Водораздельное.

1 — значения $\delta^{34}\text{S}$ серы для сульфидных построек срединно-океанических хребтов, 2 — значения серы для сульфидных построек задуговых бассейнов, 3 — значения $\delta^{34}\text{S}$ для сульфидов исследуемого месторождения; данные по TAG [Lein et al., 1991], по Броукен Спур [Duckworth et al., 1995], по Снейк Пит [Kase, 1990], по EPR 21° N [Ziereberg et al., 1984], по хребту Окинава [Halbach, 1989], по бассейну Манус [Lein et al., 1993], по Марианскому хребту [Kusakabe, 1990].

Общая концентрация солей в растворах включений в экв. NaCl составляет 16—15 мас.%. При глубоком охлаждении (до -150°C) в газовых включениях не была отмечена конденсация вещества в виде кристаллической CO_2 или жидкого CH_4 , что может указывать на низкую плотность газов, наполняющих эти включения, и преобладание в составе газовой фазы водяных паров. Особенностью минералообразующих флюидов является повышенная концентрация солей (до 16 мас.%) при низкой температуре (100°C и менее), а также признаки присутствия FeCl_2 и FeCl_3 .

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ СЕРЫ СУЛЬФИДНЫХ МИНЕРАЛОВ

Данные изотопного состава серы сфалерита и галенита месторождения Водораздельное (табл. 2), принадлежащих к одной стадии минералообразования, позволили оценить температуры образования руд. Усредненные значения $\delta^{34}\text{S}$ для галенита месторождения Водораздельное — 0.3, для сфалерита — 2.6 ‰, что, в соответствии с галенит-сфалеритовым геотермометром Ohmoto—Rye [Рай, Омото, 1977], указывает на то, что образование подобных руд происходило при температуре порядка $300\text{—}275^\circ\text{C}$. Все сульфиды характеризуются гомогенным изотопным составом серы,

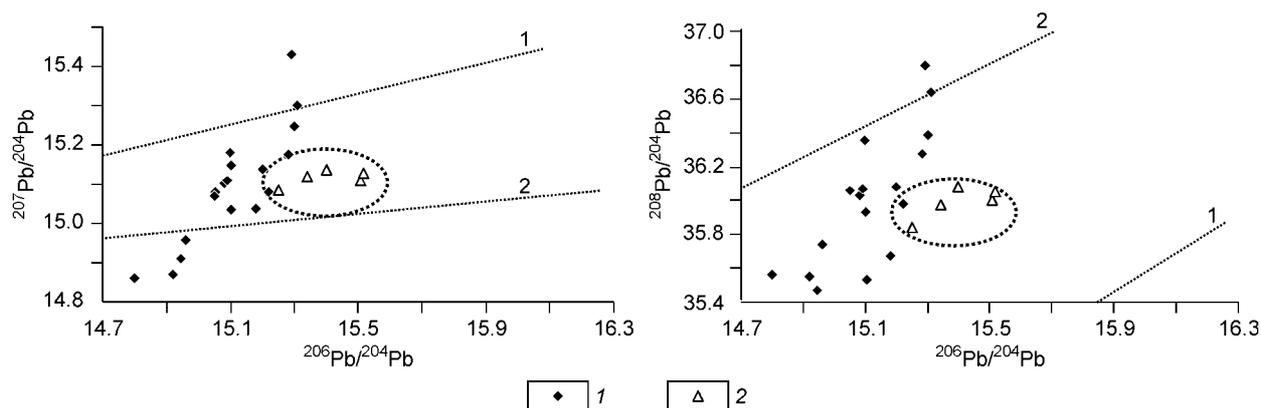


Рис. 9. Отношение изотопного состава рудных свинцов месторождений Водораздельное, Зун-Холба.

Линии эволюции свинца в мантии (1), в нижней коре (2). Фигуративные точки свинца из месторождений: 1 — Водораздельное, 2 — Зун-Холба.

линиями нижнекорового и мантийного источников (рис. 9). Полученные Pb-изотопные данные позволяют дать возможную оценку масштабов оруденения месторождений на основе материалов по хорошо изученным золоторудным месторождениям. Наиболее крупные месторождения характеризуются менее радиогенным изотопным составом свинца в связи с различной степенью вовлечения древнего фундамента в процессы преобразования и соответственно масштабами конвективной флюидной ячейки. Используя данный критерий, можно также предположить хорошую перспективу на большие запасы золота месторождения Водораздельное с максимально радиогенным изотопным составом свинца в районе.

ОСОБЕННОСТИ ВМЕЩАЮЩИХ КАРБОНАТНЫХ ТОЛЩ

На основе кластерного анализа основных типоморфных элементов и элементов-примесей было выявлено, что в обоих рудопроявлениях отчетливо обособляются две группы элементов с сильной отрицательной корреляцией, первая — Fe, Na, Mn, K и вторая — Ca, Mg, свидетельствующие о магниево-кальциевом составе карбонатов и присутствии остальных элементов в составе терригенной примеси. В геохимическом плане можно отметить ряд отличий между карбонатами рассматриваемых месторождений. Окварцованные известняки рудопроявления Ондольтой отличаются повышенными содержаниями Ba, As, V, Ca, Fe, Au, Zn, Cu, Hg. Для известняков ильчирской свиты характерны вынос карбонатной составляющей и увеличение содержания SiO_2 , Fe_2O_3 , MnO, Al_2O_3 . Кроме того, доломитизированные карбонаты ильчирской свиты отличаются повышенными содержаниями Ba, As, Au, Zn, Cu, Hg. Подобная картина отмечалась в литературе для известняков месторождений, относимых к невадийскому типу, и связывалась с метасоматическим преобразованием пород — процессами декарбонатизации, доломитизации и окремнения. Как видно на спайдер-диаграмме распределения элементов в породе (нормированных по хондриту), наиболее близкий характер имеют тренды окремненных известняков месторождения Ондольтой и карбонатных конгломератов месторождения Бист (Карлин-тренд, США), а также карбонаты рудного поля Роберт-Маунтинз (рис. 10) [Дамдинов и др., 2004]. На переходной спайдер-диаграмме график распределения карбонатов Ондольтой практически совпадает с графиком доломитов месторождения Тас-Юрях (зона Красная, Россия).

При сравнении распределения редких и рассеянных элементов в карбонатах месторождений выявляется геохимическая картина, соответствующая различным обстановкам осадконакопления. Тренд распределения редких и рассеянных элементов на месторождении Водораздельное (рис. 11) представляет собой наклонную кривую с легким обогащением LREE относительно HREE с ярко выраженным Eu минимумом. Подобная картина отмечается для карбонатных отложений боксонской и иркутской свит, отвечающих субплатформенным условиям осадконакопления (активных окраин континентов и микроконтинентов) [Летников, 2003]. Другой тип распределения РЗЭ имеют карбонаты рудопроявления Ондольтой: слабонаклонный, почти плоский график со слабо выраженным Eu минимумом. Он приближен к кривой, отражающей состав РЗЭ для глубоководных карбонатных отложений хасуртинской свиты Джидинской зоны. Такой характер распределения свойствен карбонатным отложениям океанических островов.

Инструментальный нейтронно-активационный и полуколичественный спектрохимический анализы вмещающих пород месторождений подтвердили предположение о повышенной золотоносности карбо-

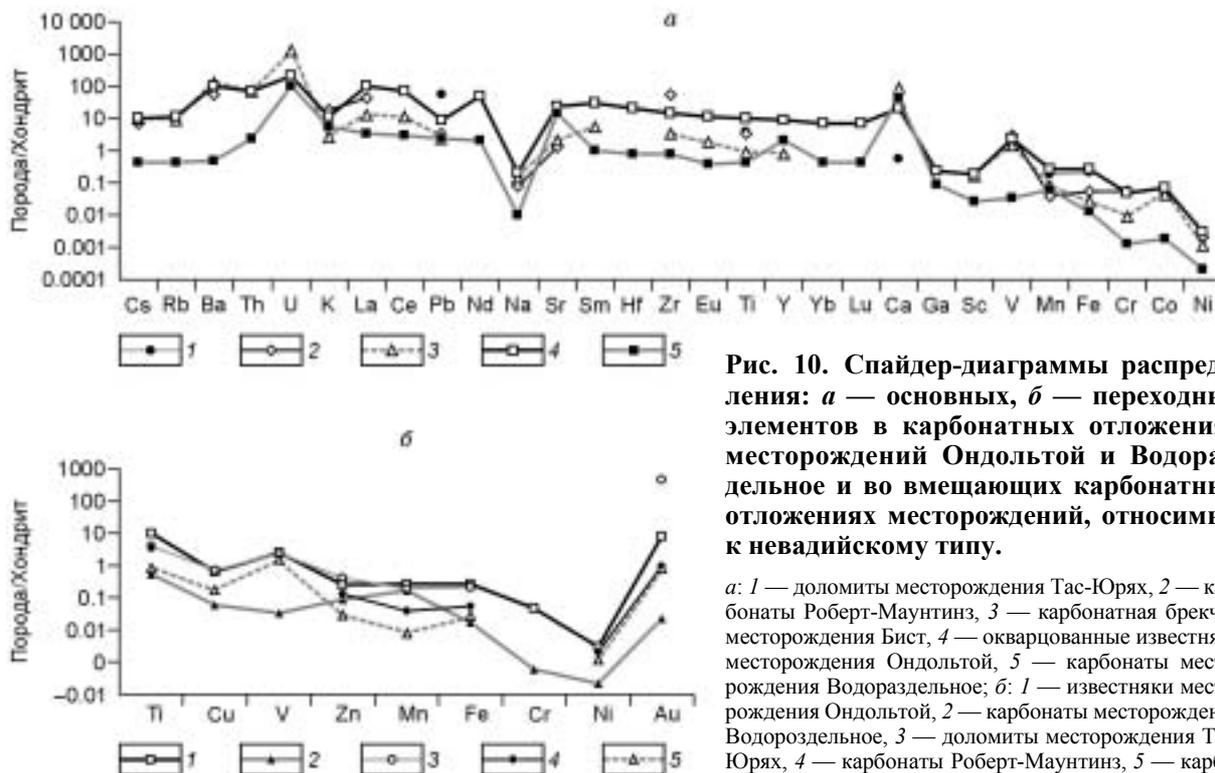


Рис. 10. Спайдер-диаграммы распределения: *а* — основных, *б* — переходных элементов в карбонатных отложениях месторождений Ондолтой и Водораздельное и во вмещающих карбонатных отложениях месторождений, относимых к невадийскому типу.

а: 1 — доломиты месторождения Тас-Юрях, 2 — карбонаты Роберт-Маунтинз, 3 — карбонатная брекчия месторождения Бист, 4 — окварцованные известняки месторождения Ондолтой, 5 — карбонаты месторождения Водораздельное; *б:* 1 — известняки месторождения Ондолтой, 2 — карбонаты месторождения Водораздельное, 3 — доломиты месторождения Тас-Юрях, 4 — карбонаты Роберт-Маунтинз, 5 — карбонатная брекчия Бист.

натных пород рудного поля рудопроявления Ондолтой (рис. 12). Наибольший интерес представляют повышенные концентрации золота во вмещающих бессульфидных известняках, сравнимые с валовыми концентрациями такого для самих руд (в среднем 2—3 г/т). Исключение составляют лишь известняки с метабазитом (0.001 г/т). Причем появление редкой вкрапленности сульфидов позволяет предположить наличие субмикронного золота, не связанного с сульфидной минерализацией. Полученные валовые концентрации Au, Sb, Ag представлены в табл. 3. Кварц-карбонатные жилы обеднены золотом, которое, вероятно, выносится. Низкий уровень содержания отмечается для гранитов и гранит-порфиров (0.01 г/т). Самые продуктивные — кварц-карбонат-гематитовые брекчии, в которых содержание кварца и гематита варьирует в широких пределах, вплоть до образования существенно-кварцевых и гематитовых участков на кварц-гематитовом цементе. Наиболее высокое валовое содержание золота (до 17 г/т) отмечается в окремненных разностях: яшмоидах, джаспероидах, часто брекчированных и гематитизированных в той или иной степени. При сравнении спайдер-диаграмм (рис. 13) распределения элементов из рудных зон месторождения Ондолтой выявляется картина относительного соответствия кварц-гематитизированных брекчированных карбонатных руд с рудными зонами месторождения Тас-Юрях и породами рудного поля месторождения Роберт-Маунтинз. В них наблюдается повышенное содержание Ba, Hg, Ca.

На месторождении Водораздельное, согласно полученным данным, карбонаты иркутской свиты являются „пустыми“. Алевролит-углеродистые сланцы вмещающей ильчирской свиты содержат невысокие концентрации золота (1—1.5 г/т), но при появлении в породе кварц-пиритовых линз показатели увеличиваются до 10—12 г/т. Здесь наблюдается обратная картина — основная масса золота связана с кварц-сульфидной минерали-

Рис. 11. Распределение РЗЭ в карбонатных отложениях различных геодинамических типов в пределах южного складчатого обрамления Сибирской платформы.

Карбонаты: 1 — ильчирской свиты (месторождение Ондолтой), 2 — иркутской свиты (месторождение Водораздельное); 3—7 — карбонатные отложения свит, по [Летников, 2003]: 3 — хасуртинской, 4 — боксонской, 5 — иркутской, 6 — толтинской, 7 — слюдянской.

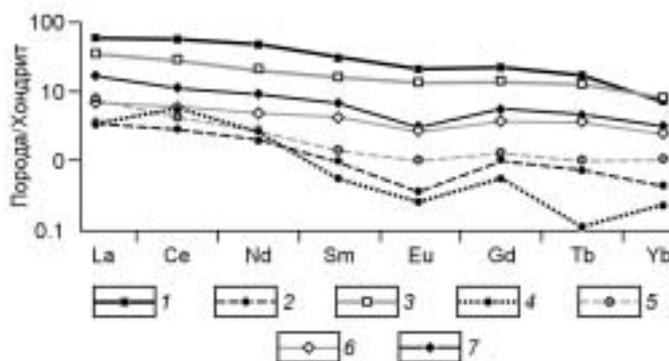
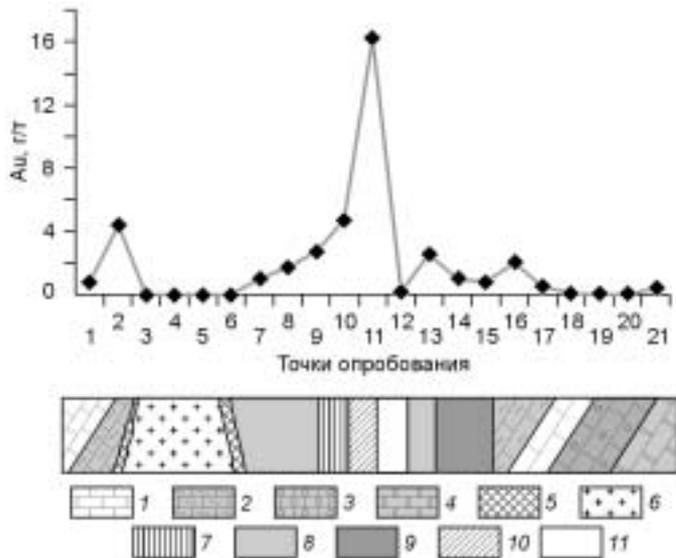


Рис. 12. Графики валовой концентрации золота во вмещающих породах и рудных зонах и схематические геологические разрезы, отображающие зоны опробования месторождения Ондольтой.

1—3 — известняки ильчирской свиты: мраморизованные (1), аргиллитизированные (2), строматолитовые (3); 4 — доломиты, 5 — зона контакта; 6 — гранодиориты сумсунурского комплекса; 7 — пятнистая кварц-карбонат-гематитовая руда; 8 — яшмоид с крупночешуйчатым гематитом; 9 — сливные гематитовые руды; 10 — зона контакта с жилой; 11 — кварц-карбонатная жила. Для построения использовались данные инструментального нейтронно-активационного и спектрохимического анализов.



заций. Максимально золотосными являются кварц-полисульфидные руды. Интересно отметить, что сливные колчеданные руды лишь незначительно повышают валовое содержание золота в породе. Так, при появлении вкрапленности пирита и пирротина в серых мраморизованных известняках концентрация золота возрастает до 4 г/т. Это позволяет предполагать, что колчеданные руды содержат меньшее количество золота. Спайдер-диаграммы рудных зон показали (см. рис. 10), что руды месторождения обогащены Pb, Zn, Fe, Rb, Ni, Cu, Au. Кварц-полиметаллические руды

Таблица 3. Сводная таблица валовых содержаний (г/т) Au, Ag и Sb для вмещающих пород и руд месторождений

Месторождение	Номер пробы	Объект исследования	ИННА		СПА	
			Au	Ag	Au	Sb
Водораздельное	BC-695/693	Строматолитовый известняк	0.0034	—	—	—
	B-15	Алевролит-углеродистый сланец	1.25	—	0.5	1
	BC-700	Углеродисто-глинистый сланец с пиритом	—	—	>10	20
	BC-677	Сливная колчеданная руда	—	—	5	30
	B-12	Кварц-сульфидная руда	—	—	>10	150
	BC-671-675	»	93	—	—	—
Ондольтой	BC-657/658	Пятнистая гематитовая руда	0.554	—	1.5	30
	Од-355	Гематитизированные окремненные известняки	4.7*	—	—	—
	Од-360	Контакт кварцевой жилы с гематитизированным яшмоидом	16.2*	43.3*	—	—
	Од-363	Кварц-карбонатная жила	0.2*	—	—	—
	BC-661	Яшмоид с крупночешуйчатым гематитом	2.5*	0.5*	2	3
	BC-673	Рассланцованные известняки с метабазитом	0.01	—	—	—
	BC-654	Зона контакта с гранодиорит-порфирами	0.072*	—	0.2	0.6
	Од-299	Гранодиорит-порфиры	0.01*	—	—	—
	Од-345	Мраморизованные известняки	2*	—	—	—
	BC-664	Халькопирит-карбонат-гематитовая руда	2.5*	—	1	50
	Од-321	Серые брекчированные известняки	4.4*	—	—	—
	Од-319	Лимонитизированные известняки	0.5*	—	—	—
	BC-648/647	Листвениitizedированный зеленый известняк	0.03	—	0.8	2

Примечание. ИННА — инструментальный нейтронно-активационный анализ выполнен в Аналитическом центре ОИГГМ СО РАН (аналитик В.Г. Цимбалист), СПА — полуколичественный спектрохимический анализ выполнен в Аналитико-технологическом испытательном центре ФГУП „НП ПЭ“ (г. Новосибирск, аналитик Е.Д. Повитухина).

* По [Деревенец и др., 1993].

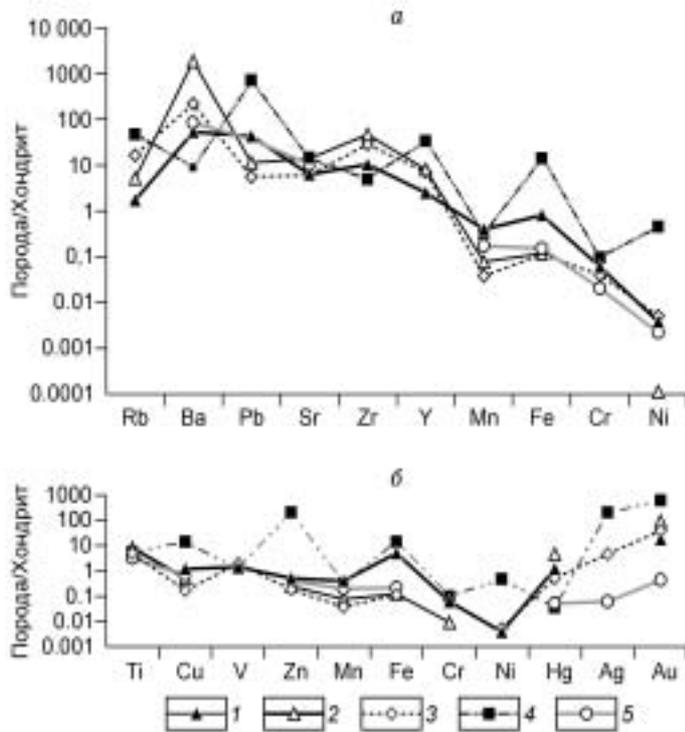


Рис. 13. Спайдер-диаграммы распределения: *a* — основных, *б* — переходных элементов в рудах месторождений Ондольтой и Водораздельное и рудах ряда месторождений невадийского типа.

1 — Ондольтой, 2 — Роберт-Маунтинз, 3 — Бист, 4 — Водораздельное, 5 — Тас-Юрях.

Водораздельного имеют контрастную картину распределения основных и переходных элементов, что говорит о принадлежности их к иному типу оруденения (о другой геохимической природе системы).

ИЗОТОПНЫЙ СОСТАВ КАРБОНАТОВ

Исследование изотопного состава углерода и кислорода в карбонатах месторождений показало, что $\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{18}\text{O}$ имеют близкие значения на обоих: Водораздельное — 1.25 и 24.73 ‰, Ондольтой — 1.05 и 26.35 ‰. Такие изотопные характеристики соответствуют метаморфизованным осадкам морского происхождения, подвергшимся перекристаллизации и брекчированию.

Различия отмечаются только при изменении состава карбонатов. Так, для темных углеродистых мраморизованных известняков значения — 2.61 и 26.43 ‰, а для строматолитовых известняков оно смещается в сторону более легких значений $\delta^{13}\text{C} = 0.15$, $\delta^{18}\text{O} = 23.04$ ‰. Возможно, отличие в показателях изотопного состава углерода обусловлено тем, что при разложении органического вещества углекислота наследует характерные для него низкие значения $\delta^{13}\text{C}$. Низкие значения $\delta^{13}\text{C}$ (1.25 — Водораздельное, 1.05 — Ондольтой) — показатель метасоматического преобразования углерода. Аналогичными изотопными характеристиками обладают мраморизованные известняки месторождения Воронцовское на Урале и карбонатные породы рудовмещающего комплекса месторождения Карлин (рис. 14) [Сазонов и др., 1998]. Расчеты изотопного состава C и O образования руд месторождения Ондольтой (слабокислая среда, $T = 200$ °C), произведенные по уравнению фракционирования между флюидом и отлагавшимся из него в равновесных условиях карбонатом, показали, что при формировании доломитизированных известняков в системе преобладали метаморфогенные флюиды ($\delta^{13}\text{C}_{\text{фл}} = 0-3$, $\delta^{18}\text{O} = 15$ ‰). Источником углерода и кислорода служили морские карбонаты и поровые реликтовые воды, заключенные в них.

Исследование изотопного состава стронция карбонатов месторождения Водораздельное показало, что он имеет достаточно большой разброс $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от 0.704 до 0.710 (рис. 15) при изначально невысоком содержании стронция, что указывает на эпигенетическую перекристаллизацию карбонатного вещества и частичное заражение стронцием из растворов, которые участвуют в перекристаллизации. При доломитизации замещаемых известняков в раствор переходит половина исходного кальция и большая часть

Рис. 14. Соотношение изотопного состава C и O карбонатов месторождений Водораздельное и Ондольтой и карбонатов некоторых золоторудных месторождений невадийского типа.

1 — известняки месторождения Водораздельное; 2 — карбонаты месторождения Ондольтой; 3 — черные мраморизованные известняки месторождения Водораздельное; 4 — область значений для Воронцовского месторождения: I — мраморизованные известняки, метасоматиты, II — джаспероиды; 5 — область значений для карбонатных толщ месторождения Карлин (Невада, США).

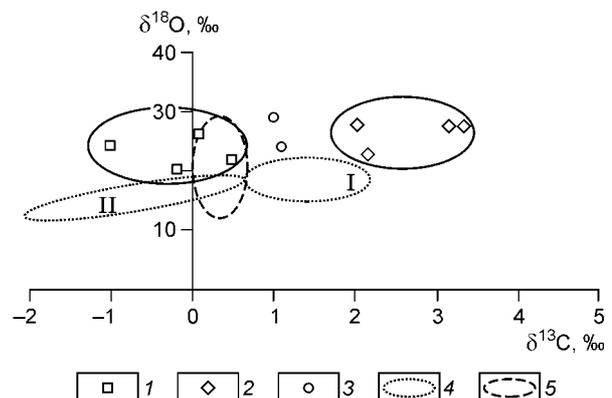
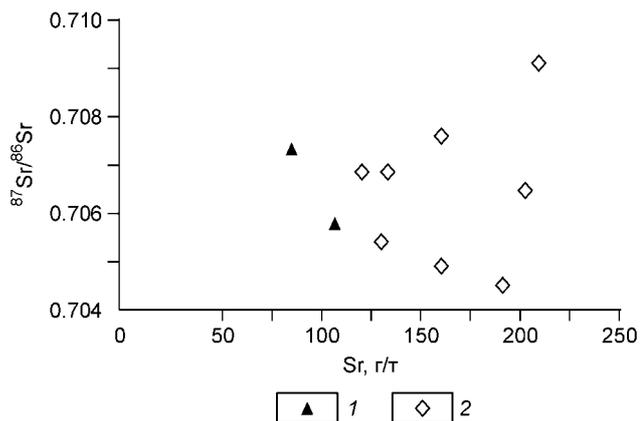


Рис. 15. Соотношение содержаний стронция и значений $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.

Карбонаты месторождений: 1 — Ондольтой, 2 — Водораздельное.

стронция. Вместе с выносом стронция происходит заражение вновь возникающего карбонатного (доломитового) вещества радиогенным стронцием, которое проявляется в изотопных отношениях $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$.



ВЫВОДЫ

Месторождения Ондольтой и Водораздельное, размещенные в терригенно-карбонатных отложениях ильчирской свиты (V—С), различны. Золото-кварц-полисульфидные руды месторождения Водораздельное в основном пирит-халькопирит-галенитового состава. Их формирование происходило при температурах порядка 275—300 °С при участии высококонцентрированных хлоридных флюидов в начальные моменты гидротермального процесса. Золото в основном связано с кварц-сульфидной минерализацией. Установлены два основных типа золота с пробностью 475—520 и 675—685. В более низкопробном золоте присутствуют ртуть до 0.36 и сурьма до 2.78 мг/т. Несколько повышенным содержанием золота отличаются также пиритизированные, углеродистые сланцы вмещающей ильчирской свиты. Возможным источником серосодержащих фаз при формировании руд могут выступать мантия и океаническая кора при незначительном влиянии сульфатов морской воды. Исследование изотопного состава серы из сульфидных минералов позволило предположить, что образование сульфидных руд месторождений происходило в океанических обстановках.

Гематитизированные джаспероиды и карбонатные брекчии месторождения Ондольтой формировались при более низких температурах (150—170 °С) из минералообразующих флюидов с повышенной концентрацией солей (до 16 мас.%) в присутствии FeCl_2 и FeCl_3 . Золото в виде самостоятельных зерен отмечается крайне редко. Определено два типа, значительно отличающихся друг от друга. Первый тип — пробностью 771—782 не содержит примесей сурьмы и ртути, второй тип — гетерогенного соединения Au (38.83 %) и Ag (58.63 %) с примесью ртути до 0.68 мас.% и сурьмы до 2.22 мас.%. Большая часть золота представлена дисперсным золотом, связанным с минерализованными рудными кварц-гематитовыми образованиями и в меньшей степени с вмещающими мраморизированными, аргиллитизированными карбонатными толщами. Вмещающие карбонатные толщи отличаются повышенным содержанием Ba, As, V, Ca, Fe, Zn, Cu, Hg и Au (до 4,5 г/т). Значения изотопов С и О в мраморизованных известняках (1.05 и 26.35 ‰ соответственно) для карбонатов рудопроявления Ондольтой близко к значениям этих изотопов для месторождений, относимых к невадийскому типу. Характер распределения РЗЭ указывает на их формирование в глубоководных условиях океанических островов. На основании проведенного всестороннего исследования можно предположить, что Ондольтой относится к месторождению кварц-гематитового типа, имеющего черты, схожие с типом Карлин. Золотое оруденение обладает многими типоморфными особенностями этого типа: приуроченностью к фронтальным частям крупных надвигов, наличием тонкодисперсного золота, приуроченностью оруденения к карбонатным комплексам доломитового состава с примесью алевролитового материала; развитием метасоматических изменений пород, прежде всего декарбонатизации и окремнения; наличием геохимической связи Au с Sb, в меньшей степени с Hg.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 03-05-65017, 06-05-64957, 06-05-64993), гранта Президента РФ для поддержки ведущих научных школ РФ (НШ-8872.2006.5) и проектов Президиума СО РАН (№ 83, 96, 119).

ЛИТЕРАТУРА

Бакулин Ю.И., Буряк В.А., Пересторонин А.Е. Карлинский тип золоторудного оруденения. Хабаровск, Изд-во ДВИМСа, 2001, 159 с.

Беличенко В.Г., Бутов Ю.П., Боос Р.Г., Вратковская С.В., Добрецов Н.Л., Долматов В.А., Жмодик С.М., Конников Э.Г., Кузьмин М.И., Медведев В.Н., Миронов А.Г., Постников А.А., Скляр Е.В., Филимонов А.В., Шафеев А.А. Геология и метаморфизм Восточного Саяна. Новосибирск, Наука, 1988, 192 с.

Борисенко А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика, 1977 (8), с. 16—27.

Дамдинов Б.Б., Миронов А.Г., Татаринев А.В. Признаки золоторудной минерализации карлинского типа в Северном Забайкалье (Россия) // Тезисы Третьего всероссийского симпозиума с международным участием „Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, экономика, экология“, г. Улан-Удэ, 21—25 сентября 2004 г. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2004, 2 с.

Деревенец В.Г., Мельников В.И., Бухаров В.Я. Поиски месторождений золота в м-бе 1:25 000 в западной части Гарганского золоторудного района. Улан-Удэ, Бурят. геол. инст., 1993, 139 с.

Добрецов Н.А., Карманов Н.С., Теплов Н.Л., Рошкетаяев П.А. Геохимические особенности самородного золота месторождений Восточного Саяна // Геохимия редкоземельных элементов в базитах и гипербазитах. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1985, с. 99—107.

Жмодик С.М., Постников А.А., Буслов М.М., Миронов А.Г. Геодинамика Саяно-Байкало-Муи-ского аккреционно-коллизонного пояса в неопротерозое—раннем палеозое, закономерности формирования и локализации благороднометалльного оруденения // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 183—197.

Кузьмичев А.Б. Тектоническая история Тувино-Монгольского массива: раннебайкальский, позднебайкальский и раннекаледонский этапы. М., ПРОБЕЛ-2000, 2004, 190 с.

Летникова Е.Ф. Распределение РЗЭ в карбонатных отложениях различных геодинамических типов (на примере южного складчатого обрамления Сибирской платформы) // Докл. РАН, 2003, т. 393, № 2, с. 235—240.

Нарсеев В.А. К дискуссии о генезисе руд карлинского типа. Суздаль-тренд, Юго-Западный Алтай // Руды и металлы, 2002, № 1, с. 67—70.

Осоргин Н.Ю. Хроматографический анализ газовой фазы в минералах (методика, аппаратура, метрология). Новосибирск, 1990, 32 с. (Препр. / ИГиГ СО АН СССР, № 11).

Осоргин Н.Ю., Томиленко А.А. А.С. № 1562816 СССР. Микротермокамера. Оpubл. в Б.И., 17.05.1990. № 26, 4 с.

Рай Р., Омото Х. Стабильные изотопы и проблемы рудообразования. М., Мир, 1977, с. 175—212.

Рипп Г.С. Геохимия эндогенного оруденения и критерии прогноза в складчатых областях. Новосибирск, Наука, 1984, 189 с.

Рошкетаяев П.А., Катюха Ю.П., Рогачев А.М. Основные черты стратиграфии юго-восточной части Восточного Саяна // Стратиграфия позднего докембрия и раннего палеозоя Средней Сибири (юго-западное обрамление Сибирской платформы). Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1983, с. 19—44.

Рошкетаяев П.А., Миронов А.Г., Дорошкевич Г.И., Бахтина О.Т., Минин В.В., Мауришин Е.С., Ананин В.А., Жмодик С.М., Куликов А.А., Осокин А.П. Золото Бурятии. Улан-Удэ, Изд-во БНЦ СО РАН, 2000, 463 с.

Сазонов В.Н., Мурзин В.В., Григорьев Н.А. Воронцовское золоторудное месторождение — пример минерализации карлинского типа на Урале, Россия // Геология рудных месторождений, 1998, т. 40, № 2, с. 157—170.

Самусиков В.П., Петрова Н.И. Корреляционная зависимость содержания серебра, сурьмы и меди в самородном золоте (на примере Яно-Колымского пояса) // Типоморфные особенности рудных минералов эндогенных образований Якутии. Якутск, Якут. фил. СО АН СССР, 1983, с. 39—53.

Duckworth R.C., Knott R., Fallick A.E., Rickard D., Murtton B.J., van Dover C. Mineralogy and sulphur isotope geochemistry of the Broken Spur sulphides, 29° N, Mid-Atlantic Ridge / Eds. L.M. Parson, C.L. Walker and D.R. Dixon // Hydrothermal vents and processes. Geol. Soc. London Spec. Publ. 87, 1995, p. 175—189.

Halbach P., Nakamura K., Washner M., Mahsner M., Murten A. Probable modern analogue of Kuroko-type massive sulphide deposits in the Okinawa Trough back-arc basin // Nature, 1989, v. 338, p. 496—499.

Kase K., Yamamoto M., Shibata T. Cooper-rich sulphide deposits near 23° N, Mid-Atlantic Ridge: chemical composition, mineral chemistry and sulphur isotopes // Proc. ODP, Sci. Results, 106/109: College Station, TX (Ocean Drilling Program), 1990, p. 15—20.

Kusakabe M., Mayeda S., Nakamura E. S, O and Sr isotope systematics of active vent materials from the Mariana backarc basin spreading axis at 18° N // Earth Planet. Sci. Lett., 1990, v. 100, p. 275—282.

Lein A.Y., Ul'yanova N.V., Grinenko V.A., Dutova N.S. Mineralogical and geochemical features of the Manus Basin hydrothermal sulphide ores, Bismarck Sea // Geochem. Int., 1993, v. 30, p. 57—71.

Lein A.Y., Ul'yanova N.V., Grinenko V.A., Dutova N.S., Simonov V.V. Geochemistry of the hydrothermal sulphide ores of the Mid-Atlantic Ridge (26 °C) // Geochem. Int., 1991, v. 28, p. 1—13.

Ziereberg R.A., Shanks W.C. III, Bischoff J.L. Massive sulphide deposits at 21°, East Pacific Rise: chemical composition, stable isotopes, and phase equilibria // Geol. Soc. Amer. Bull., 1984, v. 95, p. 922—929.

*Рекомендована к печати 29 сентября 2006 г.
Г.Н. Аношиным*

*Поступила в редакцию 1 февраля 2005 г.,
после доработки — 24 мая 2006 г.*