

ТИПЫ ЗОЛОТО-РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

А.С. Борисенко, Е.А. Наумов, А.А. Оболенский

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

Изучение золото-ртутных месторождений Центральной Азии показало, что они представляют собой гетерогенную группу золоторудных объектов, пространственно и генетически связанных с разными типами эндогенного оруденения (рудными комплексами). Выделены четыре типа золото-ртутного оруденения: золото-мышьяково-ртутный, золото-сурьмяно-ртутный, золото-теллуридно-ртутный и золото-медно-ртутный. Они являются продуктами разных рудно-магматических систем и формируются на их верхних близповерхностных уровнях. Обоснование выделенных типов золото-ртутных месторождений основывается на специфике минерального состава и геохимии их руд, включая состав и содержание Hg в самородном золоте, связью с разными комплексами сопутствующего эндогенного оруденения и особенностями физико-химических условий их образования.

Золото-ртутные месторождения, рудные формации, классификация, генезис, возраст.

TYPES OF GOLD-MERCURY DEPOSITS AND THEIR FORMATION CONDITIONS

A.S. Borisenko, E.A. Naumov, and A.A. Obolensky

Study of gold-mercury deposits in Central Asia showed that they are a heterogeneous group of gold-ore objects spatially and genetically related to different types of endogenous mineralization (ore deposit complexes). Four types of gold-mercury mineralization have been recognized: Au-As-Hg, Au-Sb-Hg, Au-Te-Hg, and Au-Cu-Hg. They are the products of different ore-magmatic systems, formed at their subsurface levels. The classification of gold-mercury deposits is based on the specific mineral and geochemical compositions of their ores, including the content of Hg in native gold, relationship with different complexes of accessory endogenous mineralization, and physicochemical conditions of their formation.

Gold-mercury deposits, ore associations, classification, genesis, age

Одним из важных и перспективных, но нетрадиционных для многих рудных провинций мира типов месторождений золота является золото-ртутный тип. Его изучению уделяется большое внимание и посвящены многочисленные публикации [1—7 и др.]. В целом ряде золоторудных районов мира выявлены и успешно эксплуатируются достаточно крупные объекты такого типа: Карлин, Кортец, Белл и др. (Невада); Ноксвилл, Нью-Идрия (Калифорния), Хемло (Канада); Дунбайшань, Ляньхэцунь, Дзымудан (Китай); Алшар (Македония); Заршуран (Иран); Воронцовское (Урал); Кючюс, Галхая, Светлое (Якутия); Тас-Юрях (Хабаровский край); Кончоч, Джалама (Средняя Азия); Мурзинское (Алтай); Солонешное, Нерчинское и др. (Восточное Забайкалье); Унэгэн-Дел (Монголия); Семейтауский рудный узел (Казахстан), рудный район Тоскана (Италия) и месторождение Саламон (Испания).

Имеются обоснованные предпосылки выявления новых промышленных золото-ртутных месторождений в других регионах мира. Несмотря на достаточно хорошую изученность этого типа золотого оруденения, существуют несколько противоречивые представления об их систематике, соотношении с другими типами оруденения и магматизмом. Многие исследователи месторождения, руды которых содержат тонкодисперсное золото и минералы Hg, относят к типу Карлин, хотя они существенно отличаются от этого эталонного объекта как по минералого-геохимическим особенностям руд, так и по геологическим условиям образования, связи с магматизмом и другими типами оруденения. Все это вызывает необходимость рассмотреть проблему систематики этих объектов на основе новых накопленных к настоящему времени данных.

ТИПЫ ЗОЛОТО-РТУТНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Впервые в систематиках золоторудных месторождений понятие о золото-ртутном типе было введено И.Г. Магакьяном в 1955 г. [8, 9]. Позже такие месторождения применительно к конкретным регионам выделялись в качестве Au-Sb-Hg [10—12], Au-As-Hg [13] или Au-W-Sb-Hg [13—15]. В те годы эти объекты не имели промышленного значения, и лишь с начала 80-х гг. после открытия и ввода в эксплуатацию крупных золото-ртутных месторождений в Неваде интерес к этому типу золоторудных объектов резко возрос. В отечественной литературе первые представления о золото-ртутных месторождениях как о самостоятельном низкотемпературном типе золотого оруденения были обобщены и систематизированы В.А. Степановым и Р.О. Берзоном [3, 16]. Они выделили ноксвилльский, карлинский, хемлоский и кючюсский типы, различающиеся главным образом рудовмещающими породами, представленными соот-

ветственно серпентинитами, известняками, метаморфизованными эффузивно-осадочными породами, углистыми сланцами. С особенностями состава вмещающих пород на этих месторождениях связывали различия околорудных метасоматитов (лиственитов, окварцованных известняков, адуляризованных пород и аргиллизитов), а также особенности геохимии и минерального состава руд.

Геологами разных стран эпитермальные месторождения этого типа в современных классификациях золоторудных месторождений выделяются под названиями невадийского или Карлин-типа, золото-сурьмяно-ртутного, золото-сульфидного, золото-мышьякового или типа тонкодисперсного золота и относятся к разным классам рудных месторождений: вулканогенно-гидротермальному, телетермальному или гидротермально-осадочному (sedex-type). Такая неопределенность в систематике связана с их полигенностью и конвергентностью признаков, на основании которых они объединяются в одну группу.

Существуют различные представления о генезисе Au-Hg оруденения.

1. Как результат наложения низкотемпературного Sb-Hg оруденения на раннее средне- или высокотемпературное золотое при их пространственном совмещении.

2. Au-Hg месторождения рассматриваются как типичные Sb-Hg объекты, в которых появление золота связано с заимствованием его из вмещающих пород.

3. Au-Hg месторождения относятся к типичным высоко- и среднетемпературным золоторудным объектам, на которых широко проявлены минеральные ассоциации Ag, Sb и Hg заключительных низкотемпературных стадий гидротермального процесса.

4. Au-Hg месторождения представляют собой низкотемпературные гидротермальные образования, формирующиеся на верхних, приповерхностных уровнях разгрузки различных типов золотоносных рудно-магматических систем.

Несмотря на разные представления о генезисе Au-Hg месторождений, они характеризуются рядом сходных признаков, позволяющих объединить их в одну группу, отличающуюся по многим признакам от других рудно-формационных типов золоторудных месторождений:

— своеобразие и комплексность химического состава руд: Au, Ag, Hg, Sb, As (главные), Tl, Te, Ba, Cu, Pb, Zn, ±Mo, W (второстепенные), Rb, Cs, V, Co (редкие);

— сходство минерального состава руд: тонкодисперсное золото, часто Hg-содержащее, минералы Hg (киноварь, Hg-сфалерит, Hg-тетраэдрит, колорадоит и др.), Sb (антимонит, тетраэдрит), As (арсенопирит, реальгар, аурипигмент, As-пирит), Tl (карлинит, рутьеит и др.), карбонаты, халцедоновидный кварц, глинистые минералы и другие;

— низкие температуры формирования руд 300—50 °С (в основном 200—50 °С);

— низкотемпературный характер процессов околорудного метасоматоза — аргиллизация алюмосиликатных пород, окварцевание известняков, карбонатизация (лиственитизация) основных и ультраосновных пород и т. д.;

— строение рудных тел, представленных залежами рудоносных метасоматитов со слабым развитием или полным отсутствием жильных образований;

— пространственная обособленность от других типов оруденения.

Вместе с тем, несмотря на сходство минерального состава, геохимических особенностей руд и околорудных метасоматитов, Au-Hg месторождения проявлены в различных геодинамических обстановках, пространственно и генетически связаны с разными вулканическими, интрузивными и рудными комплексами, что позволяет относить их к производным разных типов рудно-магматических систем. Анализ условий образования, минералого-геохимических особенностей руд, пространственно-временных и генетических соотношений с другими типами оруденения и магматизмом показал, что золото-ртутные месторождения представляют собой гетерогенную группу, включающую разные типы эпитермального золотого оруденения.

На основе имеющихся к настоящему времени данных можно достаточно определенно выделить четыре рудные формации золото-ртутных месторождений [17] (табл. 1): золото-мышьяково-ртутную (Au-As-Hg), золото-сурьмяно-ртутную (Au-Sb-Hg); золото-теллуридно-ртутную (Au-Te-Hg) и золото-медно-ртутную (Au-Cu-Hg). Они входят в состав четырех разных генетических рядов рудных формаций (рудных комплексов):

1) золото-сульфидная (Au-As) → золото-свинцово-цинковая (Au-Pb-Zn) → золото-серебряная (Au-Ag) → **золото-мышьяково-ртутная** (Au-As-Hg) → ртутная (Hg-Sb);

2) золото-сульфидная (Au-As) → **золото-сурьмяно-ртутная** (Au-Sb-Hg) → ртутная (Hg-Sb);

3) Cu-Mo (Au) порфировая → золото-серебро-теллуридная (Au-Ag-Te) → **золото-теллуридно-ртутная** (Au-Te-Hg) → ртутная (Hg-Sb);

4) золото-медно-скарновая (Au-Cu-Sk) → золото-медно-кварцево-жильная (Au-Cu-Q) → **золото-медно-ртутная** (Au-Cu-Hg) → ртутная (Hg-Sb).

Таблица 1.

Рудные формации золото-ртутных месторождений

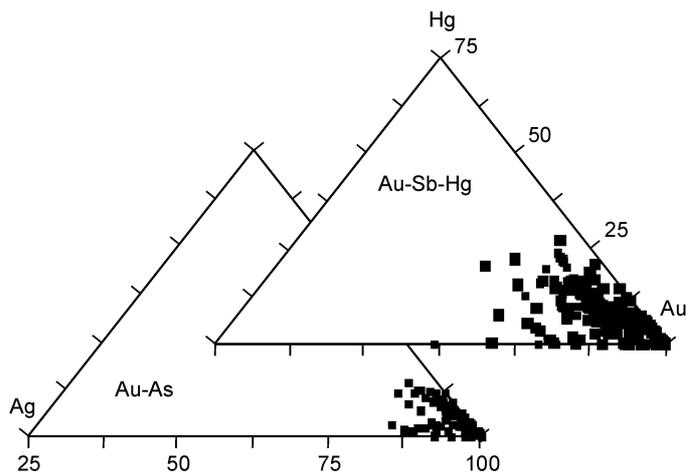
Рудная формация	Геохимическая специфика руд	Минеральный состав руд (в порядке распространенности)	Сопутствующее оруденение	Связь с магматизмом	Месторождение
Золото-мышьяково-ртутная (Au-As-Hg)	Au, As, Sb, Hg, Tl ± Mo	As-пирит, реальгар, аурипигмент, антимонит, киноварь, Tl минералы, Au. Кварц, карбонаты, глинистые минералы, барит	Au-Ag-Pb-Zn, Au-Ag, Sb-Hg	Вулканические и вулканоплутонические комплексы базальт-андезит-риолитового и трахибазальт-трахидацит-риолитового состава	Карлин, Кортец, Белл, Гетчелл (Невада), Ноксвилл, Нью-Идрия (Калифорния), Роторуа, Ротокава (Нов. Зеландия), Аколук (Турция), Алшар (Македония), Воронцовское (Урал), Суздальское (Казахстан), Лухумское (Кавказ)
Золото-сурьмяно-ртутная (Au-Sb-Hg)	Au, Sb, As, Hg, Tl ± W, Mo, Cs, Rb	Арсенопирит, As-пирит, антимонит, реальгар, аурипигмент, киноварь, акташит, Hg-золото (990—750 ‰). Кварц, карбонаты, глинистые минералы ± барит, флюорит	Au-As, Sb-Hg	Интрузивные габбродиорит-гранитные и сиенит-граносиенит-гранитные комплексы	Ключок (Якутия), Кончок (Таджикистан), Дунбайшань, Куйоло, Зимуданг и др. (Китай), Саламон (Испания)
Золото-теллуридно-ртутная (Au-Te-Hg)	Au, Ag, Sb, As, Te, Hg (Cu, Bi, Ba, Tl ± V, Mo, Se)	Пирит, халькопирит, Hg-тетраэдрит, сфалерит, антимонит, реальгар, колорадоит, теллуриды Ag и Pb, Hg-золото (800—500 ‰). Кварц, карбонаты, барит, флюорит, целестин, адуляр, глинистые минералы	Cu-Mo(Au)-порфиоровое, Au-Ag-Te, Hg	Вулканические и субвулканические комплексы	Оганчинское, Аппапел (Камчатка), Куранах (Якутия, Алдан), Хуртэ-Тологой (Монголия), Каларское (Горная Шория), Новолушниковское (Салаир), Хуримт-Худук (Монголия)
Золото-медно-ртутная (Au-Cu-Hg)	Au, Ag, Cu, Sb, Te, Hg (Ag, Bi, Ba ± Tl, W, Mo)	Пирит, халькопирит, Hg-тетраэдрит, Hg-сфалерит, киноварь, колорадоит, антимонит, Hg-золото (700—500 ‰). Кварц, карбонаты, барит, серицит, глинистые минералы	Au-Cu-Sb, Au-Cu-Q, Hg	Интрузивные габбродиорит-гранитные и сиенит-граносиенитовые комплексы	Кварцитовые горки (Казахстан), Лялинское, Травяное (Урал), Мурзинское (Алтай), Тас-Юрях (Хабаровский край), Хуримт-Худук (Монголия)

Месторождения **золото-мышьяково-ртутной** рудной формации (Карлин-тип) характерны для районов развития вулканогенно-гидротемального Au-Pb-Zn, Au-Ag и Sb-Hg оруденения, пространственно и генетически связанного с базальт-андезит-риолитовым (Карлин, Кортец, Белл в Неваде, Калеташ, Аколук, Матра в Турции и др.) или трахибазальт-трахидацит-трахириолитовым (Алшар в Македонии, Семейтауский рудный узел в Восточном Казахстане) вулканизмом, проявленным в обстановках внутриплитного рифтогенеза. В России типовыми объектами этой формации являются Воронцовское месторождение (Урал), Нерчинское и Солонешное (Вост. Забайкалье). Классическим районом развития такого комплекса гидротермального оруденения является Невадийский золоторудный район в США, где в связи с проявлением кайнозойского магматизма, начиная с эоцена (43 млн лет), на протяжении нескольких возрастных этапов формировались золото-серебряные, сурьмяно-ртутные месторождения и выделяемое американскими геологами как Карлин-тип золото-мышьяково-ртутное оруденение [18, 19]. Наиболее продуктивным в отношении последнего является этап 43—36 млн лет, в ходе которого сформировались такие крупные месторождения как Карлин, Кортец, Гетчелл, Бетце и др., суммарные запасы которых оцениваются в несколько тысяч тонн Au.

Золотое оруденение в рудных узлах и районах с месторождениями этого формационного типа формируется на трех уровнях: *поверхностном* (травертины и озерные отложения термальных источников Вайотапу, Бродлендс, Ротокава в Новой Зеландии, Стимбот-Спрингс в Неваде, Эль-Татио в Чили, Тунгинское в Забайкалье, Сенатор в Турции) [20], *близповерхностном* (минерализованные зоны дробления и пластообразные тела — месторождения Карлин, Гетчелл, Белл, Бетце в Неваде, Ноксвилл, Нью-Идрия в Калифорнии, Алшар в Македонии, Калеташ и Аколук в Турции, Солонешное, Нерчинское в Забайкалье, Унэгэн-Дел в Монголии) и *умеренно-глубинном* (Матра и Аколук в Турции) [21] и др. В ряде рудных узлов отчетливо прослежена смена по вертикали оруденения разных уровней глубинности.

Наиболее крупные месторождения Au-As-Hg формации локализованы среди карбонатных пород (месторождения Невады, Воронцовское, Алшар, Заршуран и др.) или карбонатизированных (лиственитизированных) серпентинитов (Нью-Идрия, Ноксвилл в Калифорнии). В алюмосиликатных породах — песчаниках, сланцах и магматических породах известны в основном мелкие месторождения и рудопроявления.

Рис. 1. Состав самородного золота золото-сульфидной (Au-As) и золото-сурьмяно-ртутной (Au-Sb-Hg) рудных формаций.



Месторождения золото-сурьмяно-ртутной рудной формации проявлены вне районов развития вулканических образований, но тесно ассоциируют с интрузивными комплексами известково-щелочной и калиевой известково-щелочной серий. Они пространственно и генетически связаны с плутоногенно-гидротермальным золото-сульфидным (золото-арсенопиритовый тип), Sb-Hg и, возможно, Au-Sb оруденением, что согласуется со сходством геологических обстановок локализации и близостью возрастов их образования, сходством минерального состава и геохимических особенностей руд. Типовыми районами его развития являются Южно-Китайская платформа, Верхоянье (Кючюс, Левосакынджинский рудный узел), Тянь-Шань (Кончоч, Терексай).

Крупные месторождения Au-Sb-Hg формации локализованы, как правило, в углистых терригенных отложениях (Кючюс, Голд-Кворри и др.) или карбонатных породах (ЮВ Китай, Кончоч, Терексай, Левосакынджинский рудный узел и др.). Руды представлены минерализованными зонами дробления, субпластовыми или секущими залежами.

Для руд месторождений золото-сурьмяно-ртутной формации, как и золото-мышьяково-ртутной, характерен **Au-As-Sb-Hg-Tl** ($\pm Mo$, $\pm W$) геохимический профиль и сходный минеральный состав руд: тонкодисперсное золото, As-пирит, минералы As (арсенопирит, реальгар, аурипигмент), Hg (киноварь, сауковит, Hg-блеклые руды), Tl (карлинит, лорандит, рутьеит и др.), антимонит, шеелит, глинистые минералы, халцедоновидный кварц и другие. В отличие от Au-As-Hg месторождений характерны повышенные содержания в рудах W (шеелит), Cs (галхаит), Rb (глинистые минералы), в меньших количествах отмечается Tl. В рудах, локализованных среди алюмосиликатных пород, золото содержит высокие концентрации Hg — до 26 мас. % (месторождения Кючюс, Кончоч и др.), среди карбонатных — в нем отмечаются невысокие содержания Hg, как правило, ниже 1—2 мас. % (рис. 1).

Au-Sb-Hg оруденение в ряде рудных районов пространственно ассоциирует с другими генетически родственными типами минерализации: золото-сульфидной и сурьмяно-ртутной. Впервые наиболее обоснованно были рассмотрены генетические соотношения этих типов минерализации на примерах северо-востока России [22—24]. Детально их соотношения изучены и для ЮВ Китая в рудных поясах Циньлин и Юннань — Хунань [4, 25]. Здесь известны золото-сульфидные месторождения (Шижиба, Миншань и др.), золото-сульфидные с антимонитом и шеелитом (Манаокэ, Куйоло), Au-Sb-Hg (Ланнигоу, Дзымудан, Дунбайшань, Гэтан и др.), а также Sb-Hg (Ваншань, Учунань и др.). Между этими типами оруденения существуют взаимопереходы по вертикали и латерали, что установлено на ряде месторождений и

Таблица 2. Минеральные ассоциации руд золото-сульфидных месторождений в черносланцевых толщах [29, 30]

Уровень рудоотложения	Минеральная ассоциация			
	пирит-арсенопиритовая	полисульфидная	антимонит-киноварная	типичные месторождения
Верхний	As-пирит (Hg до 0,6 мас. %), арсенопирит, золото	Антимонит, теннантит, тетраэдрит (Hg до 16,1 мас. %), халькостибит (Hg до 6,1 мас. %), акташит, киноварь, джемсонит, бурнонит, сфалерит (Hg до 11,5 мас. %), галенит, халькопирит, золото (Hg до 24,3 мас. %)	Киноварь, реальгар, аурипигмент, метациннабарит, антимонит, самородная ртуть, золото	Кючюс
Средний	Пирит, арсенопирит, пирротин, шеелит, золото (Hg до 1,6 мас. %)	Сфалерит, халькопирит, джемсонит, тетраэдрит, буланжерит, галенит, бертьерит, антимонит, золото (Hg до 12,9 мас. %)	Антимонит, бертьерит, ауристибит, золото, киноварь, самородный мышьяк, самородная сурьма	Олимпиадинское, Ведугинское, Майское, Даугыстау
Нижний	Пирит, арсенопирит, золото	Галенит, сфалерит, висмут, висмутин, халькопирит	—	Мурунтау, Сухой Лог

согласуется с изменением минерального состава руд (табл. 2). Наиболее глубоким уровням отвечает золото-сульфидное с шеелитом оруденение, верхним — Au-Sb-Hg, промежуточное положение занимает золото-сульфидное с антимонитом (\pm киноварь). Ртутная минерализация локализована обычно по периферии рудных узлов с золото-сульфидным и Au-Sb-Hg оруденением и занимает несколько обособленное положение. Такие же взаимоотношения устанавливаются и в ряде других рудных районов: в Чарской зоне в Восточном Казахстане [26], Верхоянье [27], Канадских Кордильерах [28] и некоторых других регионах. Сходные соотношения золото-сульфидного и ртутного оруденения установлены и в Енисейском крае на месторождениях Олимпиадинское и Ведугинское (см. табл. 2) [29, 30]. В рудах этих месторождений, сложенных пиритом, арсенопиритом, шеелитом, антимонитом и другими сульфидами, отмечается Hg-золото (до 12 мас. % Hg), Hg-блеклая руда [31, 32]. По периферии рудных полей этих месторождений известны рудопроявления ртути с повышенными содержаниями Au и шлиховые ореолы киновари.

Месторождения **золото-теллуридно-ртутной** формации проявлены в рудных районах и узлах с Cu-Mo (Au)-порфировым и вулканогенно-гидротермальным Au-Ag-Te и Hg оруденением и связаны с вулканоплутоническими комплексами известково-щелочных, калиевых известково-щелочных и щелочных серий. Типовыми объектами этой рудной формации являются месторождения Куранахское и другие (Алданский щит), Юзикское (Кузнецкий Алатау), локализованные в карбонатных породах, Цзинмуда (ЮВ Китай), Оганчинское, Аппапель, Агликич (Центрально-Камчатский пояс). Для руд этих месторождений характерно широкое развитие пирита главным образом с низким содержанием As (<1 %) при полном отсутствии или слабом развитии арсенопирита. Минералы ртути представлены колорадоитом (HgTe), Hg-тетраэдритом, Hg-сфалеритом, тиманнитом (HgSe), киноварью. Минералы мышьяка — реальгар, аурипигмент, арсенопирит, являются редкими, не характерными для Au-Te-Hg руд. Минералы сурьмы представлены в основном тетраэдритом, реже антимонитом. Отмечаются теллуриды и селениды Ag, Au, Pb, висмутин, галенит, халькопирит. Для золота характерно присутствие повышенных содержаний ртути: для руд, локализованных в карбонатных породах, <1 мас. %, в алюмосиликатных — до 20 мас. % и более. Нерудные минералы представлены кварцем, часто халцедоновидным, адуляром, серицитом, глинистыми минералами, карбонатами, баритом, целестином и другими. Геохимический профиль оруденения определяется своеобразным комплексом рудных элементов: Au, Ag, Cu, Te, Hg, Se (Bi, As, Sb, Ba, V, Mo). Таллий в Au-Te-Hg рудах, в отличие от Au-As-Hg и Au-Sb-Hg месторождений, присутствует в меньших количествах и не образует собственных минералов. Околорудные метасоматиты представлены окварцованными известняками (джаспероидами), кварц-адуляровыми метасоматитами и аргиллизитами.

Вопрос об отнесении таких месторождений к группе эпитермальных золото-ртутных неоднократно поднимался многими исследователями [30, 33—37]. Основанием для этого являлись присутствие в рудах минералов ртути, низкие температуры рудоотложения, тонкодисперсность золота и другие признаки. В то же время минералого-геохимические особенности руд этих месторождений и отсутствие в них реальгара, аурипигмента, минералов Tl, арсенопирита и их связь с Cu-Mo-порфировым и Au-Ag-Te оруденением не позволяли относить их к классическим золото-ртутным объектам Карлин-типа. Это явилось основанием для выделения нового типа золоторудных месторождений — куранахского [34, 38], а в нашем понимании, Au-Te-Hg рудной формации [35].

Соотношение Cu-Mo-порфирового, Au-Ag-Te и Au-Te-Hg оруденений детально изучено для Центрально-Камчатского рудного пояса [36], Центрального Алдана [34, 38] и других регионов. На Салаире в пределах Новолушниковского рудного поля, где выявлено одноименное Cu-Mo-порфировое месторождение [39], установлено Au-Te-Hg оруденение (жила 13). Оно представлено штокверком кварц-карбонатных жил и прожилков среди измененных терригенно-карбонатных пород, содержащих галенит, халькопирит, Hg-тетраэдрит (Hg — до 17,6 мас. %), Hg-сфалерит, колорадоит, киноварь, теллуриды Au и Ag, айкинит, тетрадимит, барит. По данным Н.А. Рослякова и др. [40], золото, содержащееся в жилах и метасоматитах, является ртутистым (до 24,6 мас. %). Золото-ртутное оруденение располагается на южном фланге Новолушниковского Cu-Mo-порфирового месторождения на более высоких гипсометрических уровнях. В целом на месторождении выделяются три разновозрастные минеральные ассоциации: 1) кварц, серицит, КПШ, молибденит, халькопирит, борнит (Cu-Mo-порфировые руды); 2) кварц, серицит, пирит, халькопирит, теннантит, галенит, золото (золото-кварцевое оруденение) и 3) пирит, галенит, минералы Hg, теллуриды Au, Ag, Pb, Hg-содержащее золото (Au-Te-Hg оруденение). Эти три ассоциации связаны с тремя разновозрастными этапами формирования месторождения. Такие же соотношения Cu-Mo-порфирового, Au-Ag-Te и Au-Te-Hg оруденения выявлены и в других регионах.

Следует отметить, что Hg является характерным элементом и для Au-Ag-Te месторождений [30, 41—43] (табл. 3). Она проявлена в виде обширных геохимических ореолов, в присутствии в рудах колорадоита, киновари, Hg-содержащего сфалерита, тетраэдрита и золота (Крипл-Крик, Калгурли, Керкленд-Лейк, Кочбулак, Мергадзор и др. [44, 45]). В большей мере парагенезисы минералов ртути развиты на верхних горизонтах Au-Ag-Te месторождений, иногда в достаточно значимых количествах (Крипл-Крик, Калгурли). В рудных узлах и районах собственно Au-Te-Hg оруденения пространственно обо-

Таблица 3. Минеральные ассоциации руд золоторудных месторождений Севано-Акеринской зоны Малого Кавказа [30, 44, 45 и др.]

Уровень рудоотложения	Минеральная ассоциация			
	пирит-халькопиритовая	полисульфидная	висмут-теллуридная	типичные месторождения
Верхний	Пирит, халькопирит, ваэсит, полидимит, герсдорфит, золото	Халькопирит, галенит, сфалерит, Hg-блеклая руда	Киноварь, теллуру-висмутит, колорадоит, киноварь, аурипигмент, золото	Шорбулакское, Сеютлучай, Агкаинское
Средний	Пирит, халькопирит, борнит, марказит, пирротин, кобальтин, коринит	Халькопирит, энаргит, люционит, тетраэдрит, теннантит, галенит, сфалерит, золото	Теллуриды Au, Ag, Pb, Hg (колорадоит), антимонит, реальгар, золото	Мергадзор, Зодское, Тейское
Нижний	Халькопирит, пирит, молибденит, магнетит	Халькопирит, энаргит, галенит, сфалерит, тетраэдрит	Тетрадимит, теллуриды Au, Ag, Pb, сам. Bi, Te, золото	Каджаран

соблено от Au-Ag-Te и Cu-Mo-порфиривого. Наиболее полно такая обособленность происходит при его локализации среди карбонатных толщ (Куранах, Юзик, ряд месторождений Южно-Гобийского и Монголо-Охотского поясов) и реже среди алюмосиликатных пород.

Месторождения **золото-медно-ртутной** рудной формации пространственно тесно ассоциируют с многофазными габбро-диорит-гранитными или сиенит-граносиенит-гранитными комплексами, и пространственно, и генетически связаны с Au-Cu-скарновым, Au-Cu-кварцево-жильным и ртутным оруденениями, что показано на примере более чем 20 рудных узлов Алтая, Кузнецкого Алатау, Салаира, Монголии и других регионов. Общность этих типов оруденения доказана по ряду минералого-геохимических и изотопно-геохимических критериев, в том числе и по направленному снижению пробности золота (от 980—850 до 600—480 %) и повышению содержания в нем ртути (от 0,1 до 26 мас.%) от ранних Au-Cu-скарновых к поздним Au-Cu-Hg рудам (табл. 4, рис. 2). Такое своеобразие золота и его ртутистость являются специфическими признаками месторождений Au-Cu геохимического профиля [46—49].

Au-Cu-Hg оруденение в рудных узлах такого типа формируется на поздних стадиях (или этапах) или на верхних уровнях рудообразующих систем в близповерхностной обстановке. Более глубоким уровням отвечает Au-Cu-кварцево-жильное и Au-Cu-скарновое оруденение, что доказывается проявлением эндогенной зональности на ряде рудных узлов на Алтае, Урале, в Кузнецком Алатау, Туве и Монголии.

Типовым примером Au-Cu-Hg оруденения является Мурзинское месторождение на Алтае. Оно приурочено к небольшому штоку гранодиоритов, являющемуся сателлитом более крупного Усть-Беловского массива одноименного габбро-диорит-гранодиоритового комплекса. Возраст гранодиоритов этого массива составляет 364 ± 8 млн лет (U-Pb метод) [50]. Вокруг штока гранодиоритов, прорывающих силурийские терригенные и девонские терригенно-карбонатные и карбонатные породы, развит ореол роговиков, скарнов и скарнированных пород. В последних отмечается гематит-магнетитовая и апоскарновая золотосодержащая медная (халькопирит-борнитовая) минерализация. В южной части рудного поля Мурзинского месторождения установлена протяженная (>1,5 км) зона гидротермально-измененных пород мощностью от 10 до 80 м. В ней отмечаются жилы и прожилки кварц-карбонатного состава с пиритом, халькопиритом, тетраэдритом, сфалеритом (Hg до 17,7 мас. %), киноварью, сауковитом — $Hg(Cd,Zn)S$, а также айкинитом, эмплектитом, науманнитом, баритом, шеелитом. Золото низкой пробы (700—800 %) содержит Hg от следов до 5,45 мас. %. Возраст такой низкотемпературной минерализации, определенный по серициту из рудных жил Ag-Ag методом, составляет $358,3 \pm 8$ млн лет [51]. Это свидетельствует о

Таблица 4. Состав минеральных ассоциаций руд Au-Cu месторождений Урала [48, 49]

Уровень рудоотложения	Минеральная ассоциация			
	пирит-халькопиритовая	полисульфидная	висмут-теллуридная	типичные месторождения
Верхний	Пирит, халькопирит	Халькопирит, сфалерит (Hg 1—20 мас. %), тетраэдрит (Hg 0,7—12,6 мас. %), Au (Hg до 4,9 мас. %)	Колорадоит (HgTe), киноварь, золото (Hg 3—24 мас. %)	Лялинское, Травяное
Средний	Пирит, халькопирит, арсенопирит	Халькопирит, галенит, сфалерит (Hg 0,1 мас. %), тетраэдрит (Hg 0,1 мас. %), золото (Hg 1 мас. %)	Теллуриды Au, Ag, Pb ± колорадоит, золото (Hg 8,5 мас. %)	Вилуйское, Ларьковское
Нижний	Пирит, пирротин, халькопирит, магнетит, борнит, молибденит	Халькопирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит, теннантит, пирротин	Bi, висмутин, сульфосоли Bi, теллуриды Au, Ag, Pb, золото	Приозерное

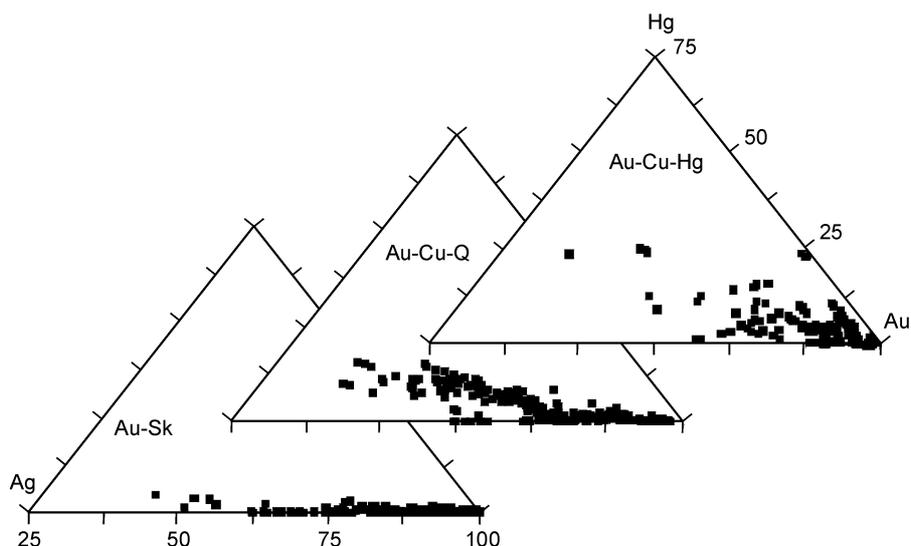


Рис. 2. Состав самородного золота золото-медно-скарновой (Au-Sk), золото-медно-кварцево-жильной (Au-Cu-Q) и золото-медно-ртутной (Au-Cu-Hg) рудных формаций.

сближенности во времени золото-ртутной минерализации (Au-Cu-Hg) с предшествующими ей более высокотемпературными типами оруденения — скарновым, железорудным и апоскарновым золото-медным.

Оруденение рассмотренных выше генетических рядов рудных формаций является продуктом четырех различных рудно-магматических систем, проявленных в разных геологических обстановках и связанных с магматическими комплексами разного состава [17]. Рудно-магматические системы, формирующие оруденение Au-As-Hg-Sb-Tl геохимического профиля (Au-As-Hg и Au-Sb-Hg рудные формации), связаны с бимодальными вулканическими и интрузивными комплексами, в составе которых преобладает лейкократовая составляющая (граниты, гранит-порфиры, риолиты). Для систем с оруденением Au-Cu-Hg-Te профиля (Au-Te-Hg и Au-Cu-Hg рудные формации) магматические комплексы сложены в основном базитами или щелочными базитами при меньшей роли кислых пород. Это во многом определяет геохимическую специфику оруденения, в том числе и присутствие гранитофильных элементов (W, Mo, Rb, Cs, Tl и др.) в рудах месторождений Au-As-Hg и Au-Sb-Hg, с одной стороны, или Cu, Ni, Co, V, Ti и др. для Au-Te-Hg и Au-Cu-Hg рудных формаций, с другой.

Для обоснования формационной самостоятельности выделенных типов золото-ртутного оруденения важное значение имеет их пространственная обособленность от других типов оруденения в конкретных рудных узлах. Наиболее четко это проявляется в районах развития карбонатных толщ, которые благодаря специфике своего состава способствуют переносу золота в условиях низких температур и его отложению совместно с Hg, As, Sb, Tl и другими элементами при 250—100 °C [52]. Такая пространственная обособленность Au-Hg оруденения послужила основой для выделения в свое время соответствующих геолого-промышленных типов золото-ртутного оруденения: Карлин-тип для Au-As-Hg и Au-Sb-Hg формаций, куранахский — для Au-Te-Hg. Характерно, что золото-ртутные месторождения разных формационных типов, проявляясь в карбонатных породах, имеют весьма сходный облик руд. К примеру, такие известные месторождения как Карлин, Кортец, Гетчел в Неваде, Алшар в Македонии, Воронцовское на Урале (Au-As-Hg рудная формация), Сакынджинский рудный узел в Якутии, Кончоч в Таджикистане, месторождения ЮВ Китая (Au-Sb-Hg формации), Куранах, Юзиское в России, Заршуран в Иране (Au-Te-Hg) исследователи относят к Карлин-типу [1, 4—7, 18, 27, 37]. Их руды представлены окварцованными доломитизированными известняками, содержащими тонкую вкрапленность сульфидов и тонкодисперсное золото, макроскопически весьма сходны по текстурно-структурным особенностям. И только на основе детальных минерало-геохимических исследований таких руд удается выявить дивергентные признаки, по которым с учетом геологических данных можно уверенно отнести эти месторождения к тому или иному формационному типу. Все это свидетельствует о важности и необходимости выяснения формационной принадлежности конкретных золото-ртутных объектов в тех или иных рудных районах для разработки корректных и надежных критериев регионального и локального прогнозов и поисков конкретного типа золото-ртутного оруденения.

К числу таких поисковых критериев многие исследователи относят ртутьсодержащее золото, которое характерно для большинства золото-ртутных месторождений. Анализ состава самородного золота из руд 25 таких месторождений Центральной Азии и обзор литературных данных показали:

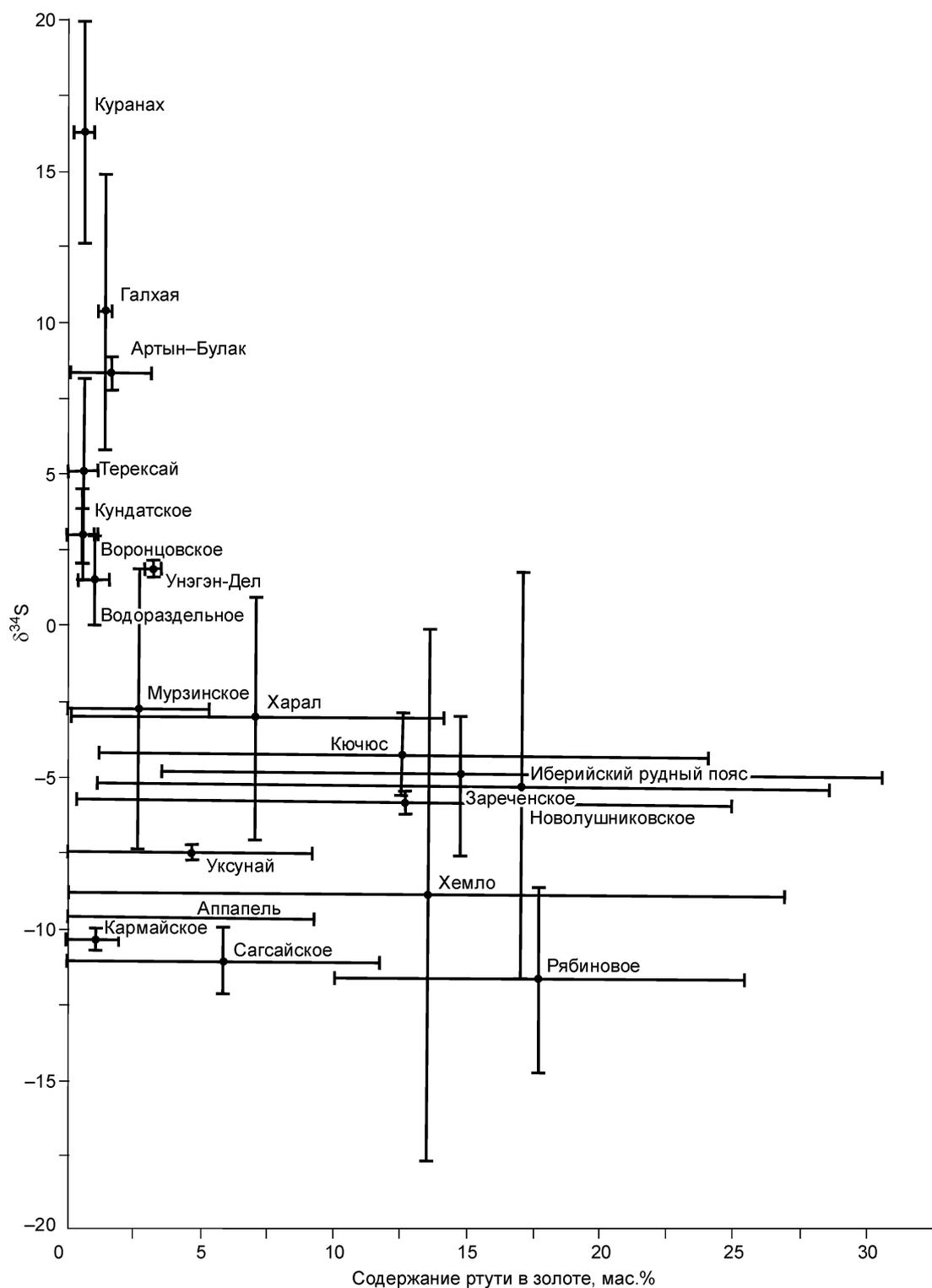


Рис. 3. Соотношение содержания Hg в золоте с изотопным составом серы сульфидов, отлагавшихся вместе с ним.

— Hg в золоте содержится в переменных количествах, и ее концентрация определяется физико-химическими параметрами рудоотложения, включая особенности состава пород, вмещающих золото-ртутные руды (известняки до 1—1,5 мас.%, алюмосиликатные породы — от 1—2 до 26 мас.% Hg в золоте);

— тренды состава золота (Au, Hg, Ag) и соотношение Hg/Ag в нем для разных типов золото-ртутных месторождений, локализованных в алюмосиликатных породах, существенно отличаются (см. рис. 1, 2);

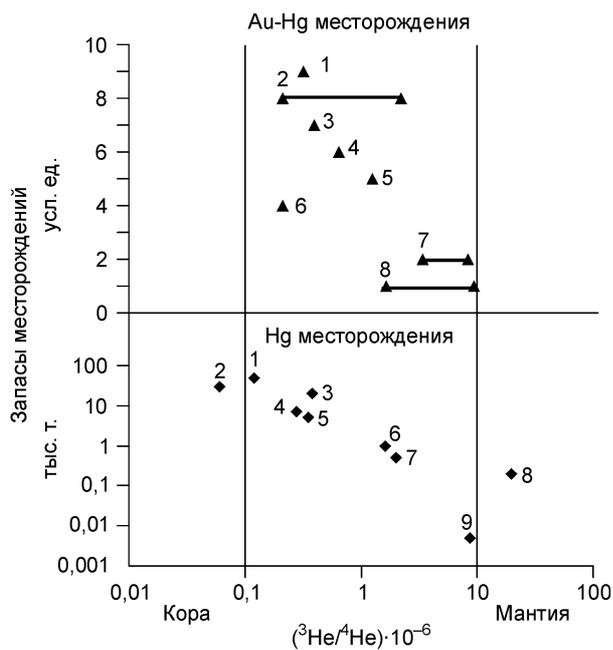


Рис. 4. Изотопный состав гелия рудообразующих флюидов:

Au-Hg месторождений (1 — Кючюс, 2 — Гетчел [59], 3 — Лысогорское, 4 — Новолушниковское, 5 — Мурзинское, 6 — Кундатское, 7 — Нов. Зеландия [62], 8 — Стимбот-Спрингс [63]) и Hg месторождений (1 — Никитовка, 2 — Хайдаркан, 3 — Ваншань, 4 — Акташ, 5 — Терексай, 6 — Джилкидал, 7 — Иликалар [64], 8 — Сульфур-Бенк [63], 9 — Узон [61]).

— отражением влияния физико-химических условий (E_h , pH, P , T) рудоотложения на ртутистость золота является ее корреляция с изотопным составом серы киновари, антимонита и других сульфидов, отлагавшихся совместно с золотом (рис. 3).

Анализ геологических условий образования и закономерностей размещения, характера пространственно-временных и генетических связей с магматизмом и другими типами оруденения, физико-химических параметров отложения руд показал, что выделенные типы золото-ртутных месторождений являются производными разных типов мантийно-коровых рудно-магматических систем [17, 53—55].

Их специфика связана с разной направленностью эволюции рудоносных магматических комплексов, уровнями зарождения и развития флюидогенерирующих магматических очагов и флюидным режимом рудно-магматических систем. Участие мантийного вещества в формировании золото-ртутных месторождений доказывается их пространственно-временной и генетической связью с рудоносными магматическими комплексами, имеющими мантийные характеристики ($^{86}\text{Sr}/^{87}\text{Sr}$, Sm, Nd и др.), а также мантийным источником ртути — одним из важных компонентов руд [56, 57]. В то же время близповерхностные обстановки формирования этих месторождений определяют неизбежное участие в процессах рудоотложения экзогенных вод, что доказывается данными по изотопии He, O, H, C, S и низкими температурами и концентрациями рудообразующих флюидов [58—60].

Разбавление и смешение мантийных флюидов с экзогенными водами подтверждают данные по изотопному составу гелия из флюидных включений в минералах руд [59—64]. Значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ рудообразующих флюидов варьируют от 0,2 до $8,36 \cdot 10^{-6}$, что свидетельствует о разных соотношениях мантийной и коровой составляющих этого элемента во флюидах. Установлено, что наиболее низкие значения $^3\text{He}/^4\text{He}$ ($<1—2 \cdot 10^{-6}$) характерны для крупных золото-ртутных месторождений, а высокие ($1—8,36 \cdot 10^{-6}$) для мелких месторождений и рудопроявлений (рис. 4). Этот вывод согласуется с данными по изотопному составу He из флюидных включений в минералах руд ртутных месторождений и указывает на то, что основная часть He во флюидах промышленных ртутных и золото-ртутных месторождений, по-видимому, заимствована из вмещающих пород или привнесена водами экзогенного происхождения.

ЭПОХИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-РТУТНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Золото-ртутные месторождения достаточно широко распространены во многих золоторудных провинциях мира, образуя в их пределах обособленные ареалы в виде рудных районов, поясов или зон. Примерами таких рудных районов являются Невадийский в США, Чарская зона в Казахстане, Юго-Восточный Китай и другие [4, 18, 26]. Причем наиболее крупные из таких районов локализованы в пределах древних кратонов, либо разновозрастных орогенных поясах, обрамляющих древние блоки. В такой позиции располагаются месторождения Невады, Китая, месторождение Хемло в Канаде, Кючюс и Куранах в Якутии и другие. В разновозрастных орогенных поясах золото-ртутное оруденение также приурочено к более древним блокам или структурам их обрамления. Его формирование связано с несколькими металлогеническими эпохами, наиболее продуктивными из которых являются докембрийская, среднепалеозойская, ранне- и позднемезозойская и кайнозойская. Основные возрастные рубежи формирования наиболее крупных объектов золото-ртутного типа отвечают интервалам 2600—2700, 780—750, 360—340, 250—230, 130—90 и 40—20 млн лет. Докембрийское оруденение проявлено на Северо-Американской (месторождение Хемло), Австралийской и Сибирской платформах; среднепалеозойское — в Центральном Казахстане (Кварцитовая гора) и Алтае-Саянской области (Мурзинское, Кундатское); раннемезозойское ($P_2—T_1$) — в Восточном Казахстане (Чарская зона), Тянь-Шане (Кончоч), Алтае-Саянском регионе, Северной и Западной Монголии, на Урале (Воронцовское) и Испании

(месторождение Саламон). Весьма продуктивными являются позднемезозойская и кайнозойская эпохи, с которыми связано более 60 % мировых запасов золота, сосредоточенных в рудах месторождений этого типа. Позднемезозойское оруденение наиболее широко проявлено в восточной части Азии, начиная с Верхоянского пояса (Кючюс), Алданского щита (Куранах), Сетте-Дабана (Тас-Юрях, Светлое) до Юго-Восточной Азии (рудные районы Сычуань, Юннань-Чжо-Цюанси в Китае, месторождение Саравака в Малайзии и другие). Крупной структурой, с которой связано позднемезозойское оруденение этого типа, является Монголо-Охотский пояс (Забайкалье, СВ и Южная Монголия, месторождения Солонешное, Нерчинское, Унэгэн-Дел). Месторождения кайнозойского возраста связаны в основном с двумя глобальными структурами Тихоокеанского кольца и Средиземноморского пояса. В пределах последнего золоторудное оруденение проявлено на Апеннинах, Балканах (Алшар в Македонии), в Турции (Калеташ, Аколук), Иране (Заршуран). В пределах Тихоокеанского кольца наиболее крупными районами его развития являются западные штаты США (Невада, Калифорния, Юта), Боливия, Чили, а по западному сегменту — Центрально-Камчатский пояс (Оганчинское, Аппапель), Китай (провинции Юннань, Чжо, Цюанси), Новая Зеландия (Роторуа, Ротокава и др.). В Тихоокеанском поясе в кайнозойскую эпоху выделяются четыре временных максимума рудообразования: 40—30, 26—20, 14—6 и 2—0 млн лет.

Многоэтапность формирования золото-ртутного оруденения характерна и для других рудных провинций. В Алтае-Саянской орогенной области выделены четыре основных возрастных рубежа его образования (по данным ^{40}Ar - ^{39}Ar метода): раннепалеозойский (Мозголевское в Туве — $486,7 \pm 8,2$ млн лет, Юзикское в Кузнецком Алатау), среднепалеозойский (Мурзинское на Алтае — $358,3 \pm 3,8$ млн лет, Кундатское — $337,8 \pm 2,9$ млн лет), раннемезозойский (Чарская зона в Восточном Казахстане, Большой Алтай в России и Западной Монголии, Хангайский прогиб в Центральной Монголии — 235 ± 5 млн лет) и позднемезозойский (J_3 — K_1 в Забайкалье). Наиболее продуктивным из них является раннемезозойский этап, с которым связано формирование промышленных месторождений в Восточном Казахстане, на Урале и Таймыре.

Таким образом, проведенные исследования золото-ртутных месторождений в Центральной Азии и анализ известных литературных источников по геологии, условиям образования, минералогии и геохимии этих месторождений в других золоторудных провинциях мира показал, что:

— золото-ртутные месторождения представляют собой гетерогенную группу объектов, относящихся к разным рудным формациям: золото-мышьяково-ртутной, золото-сурьмяно-ртутной, золото-теллуридно-ртутной и золото-медно-ртутной;

— эти рудные формации пространственно и генетически связаны с разными магматическими и рудными комплексами и являются производными разных типов рудно-магматических систем;

— состав самородного золота и содержание в нем ртути отражает различия геологических и физико-химических условий его образования и может служить одним из поисковых критериев для поиска разных типов золото-ртутного оруденения;

— в Центральной Азии выделяются несколько возрастных рубежей формирования месторождений рассматриваемого типа, наиболее продуктивными из них являются ранне- и позднемезозойский, с которыми связано образование промышленных месторождений.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты 04-05-64485 и 02-05-64399).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Radtke A.S.** Geology of Carlin Gold Deposit, Nevada // US Geol. Surv. Profess. Pap. 1267, 1985, 124 p.
2. **Harris D.C.** The mineralogy and geochemistry of the Hemlo Gold Deposit, Ontario // Econ. Geol. Rept. Geol. Surv. Canad., 1989, v. 38, p. 1—88.
3. **Степанов В.А., Моисеенко В.Г.** Геология золота, серебра и ртути, Ч. I. Владивосток, Дальнаука, 1993, 227 с.
4. **Hu Rui-Zhong, Su Wen-Chao, Bi Xian-Wu et al.** Geology and geochemistry of Carlin-type gold deposits in China // Miner. Deposita, 2002, v. 37, p. 378—392.
5. **Hofstra A., Cline J.** Characteristics and models for Carlin-type gold deposits // Rev. Econ. Geol., 2000, v. 13, p. 163—220.
6. **Asadi H.H., Voncken J.H.L., Kühnel R.A., Hale M.** Petrography, mineralogy and geochemistry of the Zarshuran Carlin-like gold deposit, northwest Iran // Miner. Deposita, 2000, v. 35, p. 656—671.
7. **Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А., Поленов Ю.А.** Золоторудные месторождения Урала. Екатеринбург, Изд-во УГГГА, 1999, 567 с.
8. **Магакьян И.Г.** Рудные месторождения. М., Госгеолтехиздат, 1955, 335 с.
9. **Магакьян И.Г.** Опыт классификации рудных формаций СССР // Геология рудных месторождений, 1967, № 5, с. 35—43.

10. **Кузнецов В.А., Оболенский А.А., Васильев В.И.** Опыт систематики ртутных месторождений Сибири и Дальнего Востока // Эндогенные рудные формации Сибири и Дальнего Востока. М., Наука, 1966, с. 197—202.
11. **Щербаков Ю.Г.** Новые данные о юрских отложениях и „юном“ оруденении Горной Шории // Изв. СО АН СССР, 1959, вып. 2, с. 136—137.
12. **Дмитриев А.Н., Зыков С.И., Кляровский В.М., Щербаков Ю.Г.** Новые данные о мезозойском магматизме и оруденении в Горном Алтае и Кузнецком Алатау // Докл. АН СССР, 1963, т. 153, № 4, с. 31—33.
13. **Федорчук В.П.** Геология ртути. М., Недра, 1983, 270 с.
14. **Maucher A.** Die Antimon-Wolfram-Quecksilber und ihre Beziehungen zu Magmatismus und Geotektonik // Freiburger Forschungshefte, 1965, Reihe C-186, s. 173—187.
15. **Höll R.** Genese und Alterstellung von Vorkommen der Sb-W-Hg Formation in der Turkei und auf Chios (Griechenland). Munchen, 1966, Bd. 199, 111 S.
16. **Берзон Р.О., Степанов В.А.** Золото-ртутная формация эндогенных месторождений, оруденение и геотектонические условия его формирования // Геология, методы поисков и разведки месторождений метал. полезных ископаемых: Экспресс-информация ВИЭМС, 1986, № 9, вып. 2, с. 1—9.
17. **Борисенко А.С., Наумов Е.А., Задорожный М.В. и др.** Рудообразующие системы золото-ртутных месторождений // Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной 10-летию Российского фонда фундаментальных исследований, „Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков“. Иркутск, 2002, с. 179—181.
18. **Vikre P., Thompson T.B., Bettles K. et al. (eds.)** Carlin-Type Gold Deposits Field Conference: Society of Economic Geologists Guidebook Series, 1997, v. 28, 288 p.
19. **White D.E.** Vein and disseminated gold-silver deposits of the Great Basin through space and time // US Geol. Surv. Bull., 1985, v. 1646, p. 5—14.
20. **Reyes A.G., Trompeter W.J., Britten K., Searle J.** Mineral deposits in the Rotokawa geothermal pipelines, New Zealand // J. Volcan. Geotherm. Res., 2002, v. 119, p. 215—239.
21. **Tuisuz N., Аксау М.** The gold occurrences in volcanic arc of the eastern Pontides, NE Turkey // Mineral deposits: research and exploration — where do they meet? Proceedings of the 4th SGA Meeting, Turku, Finland, 11—13 August 1997, Turku, 1997, p. 331—334.
22. **Сидоров А.А.** Базовые рудные формации и проблема промежуточных источников рудного вещества жильных месторождений // Сов. геология, 1987, т. 36, с. 54—57.
23. **Волков А.В., Сидоров А.А.** Этапы формирования и конвергенция золото-кварцевого оруденения северо-востока России // Докл. РАН, 2005, т. 401, № 1, с. 52—57.
24. **Волков А.В., Сидоров А.А., Томсон И.Н., Алексеев В.Ю.** О многоярусном эпитептермальном оруденении // Докл. РАН, 2003, т. 391, № 2, с. 219—222.
25. **Maо J., Qiu Y., Goldfarb R.J. et al.** Geology, distribution, and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China // Miner. Depos., 2002, v. 37, № 3—4, p. 352—377.
26. **Нарсеев В.А.** К дискуссии о генезисе руд карлинского типа. Суздаль-тренд, Юго-Западный Алтай // Руды и металлы, 2002, № 1, с. 67—70.
27. **Амузинский Г.А., Иванов Г.С.** Состояние сырьевой базы по золоту Якутии // Наука и образование, 1997, № 1, с. 60—67.
28. **Nesbitt B.E., Muehlenbachs K., Murowchick J.B.** Genetic implications of stable isotope characteristics of mesothermal Au deposits and related Sb and Hg deposits in the Canadian Cordillera // Econ. Geol., 1989, v. 84, № 6, p. 1489—1506.
29. **Берзон Р.О., Брызгалов И.А., Коньшев В.О. и др.** Геологическое строение, минеральный состав и условия формирования золото-ртутного месторождения Кючюс (Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений, 1999, т. 41, № 6, с. 485—506.
30. **Константинов М.М., Варгунина Н.П., Косовец Т.Н. и др.** Золото-серебряные месторождения (Сер. Модели месторождений благородных и цветных металлов). М., ЦНИГРИ, 2000, 239 с.
31. **Генкин А.Д., Лопатин В.А., Савельев Р.А. и др.** Золотые руды месторождения Олимпиада // Геология рудных месторождений, 1994, т. 36, № 2, с. 111—137.
32. **Сазонов А.М., Романовский А.Э., Шведов Г.И. и др.** Ведугинское золото-сульфидное месторождение (Енисейский кряж) // Руды и металлы, 1994, № 2, с. 86—97.
33. **Степанов В.А.** Геология золота, серебра и ртути, Ч. 2. Владивосток, Дальнаука, 2000, 161 с.
34. **Угрюмов А.Н.** О некоторых условиях формирования золотоносных джаспероидов в Центральном Алдане // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования, Т. 2. Новосибирск, Наука, 1979, с. 174—181.

35. **Borisenko A.S., Naumov E.A., Pavlova G.G., Zadorozhny M.V.** Gold-mercury deposits of the Central Asia: types of deposits, regularities of localization, genetic models // *J. Geology (Vietnam)*, 2004, Series B, № 23, p. 42—51.
36. **Власов Г.М., Василевский М.М.** Гидротермально измененные породы Центральной Камчатки, их рудоносность и закономерности пространственного размещения. М., Недра, 1964, 220 с.
37. **Широких И.Н., Акимцев В.А., Васьков А.С. и др.** Месторождение Юзик — новый тип золото-рудной минерализации в Кузнецком Алатау // Труды Второго Международного симпозиума „Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика“. Красноярск, 2001, с. 44—46.
38. **Кочетков А.Я., Игумнова Н.С., Ким А.А.** Формационные и минеральные типы мезозойского оруденения Центрального Алдана // Геология и геохимия рудоносных магматических и метасоматических формаций зоны Малого БАМа. Якутск, ЯФ СО АН СССР, 1986, с. 20—31.
39. **Сотников В.И., Федосеев Г.С., Кунгурцев Л.В. и др.** Геодинамика, магматизм и металлогения Кольвань-Томской складчатой зоны. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1999, 227 с.
40. **Росляков Н.А., Нестеренко Г.В., Калинин Ю.А. и др.** Золотоносность кор выветривания Салаира. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1995, 172 с.
41. **Коваленкер В.А.** Минералого-геохимические закономерности формирования эпitherмальных руд золота и серебра: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., ИГЕМ РАН, 1995, 102 с.
42. **Markham N.L.** Synthetic and natural phases in the system Au—Ag—Te // *Econ. Geol.*, 1960, v. 55, № 6—7, p. 1148—1178.
43. **Шер С.Д.** Металлогения золота. М., Недра, 1972, 296 с.
44. **Коваленкер В.А., Прокофьев В.Ю., Левин К.А., Залибекян М.А.** Физико-химические условия формирования сульфидно-теллуридной минерализации Мергадзорского рудного поля в Армении // Геология рудных месторождений, 1990, т. 32, № 6, с. 18—35.
45. **Сулейманов С.М., Баба-Заде В.М.** Геология ртутных месторождений Малого Кавказа. Баку, Изд-во Азерб. ун-та, 1974, 227 с.
46. **Наумов Е.А., Задорожный М.В., Боровиков А.А., Гущина Л.В.** Условия формирования и особенности состава самородного золота скарновых месторождений Алтае-Саянской складчатой области // Материалы конференции „Строение литосферы и геодинамика“. Иркутск, 2005, с. 170—172.
47. **Гаськов И.В., Акимцев В.А., Ковалев К.Р., Задорожный В.М.** Золотоносные минеральные ассоциации медно-скарновых месторождений Алтае-Саянской складчатой области // Скарны, их генезис и рудоносность (Fe, Cu, Au, W, Sn...): Материалы научной конференции (XI чтения А.Н. Заварицкого), 31 мая—2 июня 2005. Екатеринбург, 2005, с. 170—178.
48. **Мурзин В.В.** Рудные минеральные ассоциации как показатель геологических и физико-химических условий формирования месторождений золота Урала: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Екатеринбург, ИГГ УрО РАН, 1996, 42 с.
49. **Спиридонов Э.М.** Самородное ртутное золото Северного Казахстана // Новые данные о минералах, 1991, № 37, с. 108—127.
50. **Владимиров А.Г., Козлов М.С., Шокальский С.П. и др.** Основные возрастные рубежи интрузивного магматизма Кузнецкого Алатау, Алтая и Калбы // Геология и геофизика, 2001, т. 42, с. 1157—1178.
51. **Борисенко А.С., Сотников В.И., Изох А.Э. и др.** Пермо-триасовое оруденение Азии и его связь с проявлением плюмового магматизма // Геология и геофизика, 2006, т. 47, с. 166—182.
52. **Naumov E.A., Gushchina L.V., Borisenko A.S. et al.** Conditions of forming of Hg-gold at the Au-Hg deposits // Mineral deposits at the beginning of the 21st century: proceedings of the Joint Sixth Biennial SGA—SEG Meeting, Krakow, Poland, 26—29 August 2001. Lisse, Balkema, 2001, p. 867—870.
53. **Наумов Е.А., Боровиков А.А., Борисенко А.С. и др.** Физико-химические условия формирования золото-ртутных месторождений // Геология и геофизика, 2002, т. 43, с. 1055—1064.
54. **Борисенко А.С.** Рудообразующие системы низкотемпературных гидротермальных месторождений (типы систем, генетические модели, факторы рудопродуктивности): Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук, Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГТМ СО РАН, 1999, 97 с.
55. **Borisenko A.S., Obolenskiy A.A., Naumov E.A.** Global tectonic settings and deep mantle control on Hg and Au-Hg deposits // Mineral deposits research: meeting the global challenge. Proceedings of the Eighth Biennial SGA Meeting, Beijing, China, 18—21 August 2005. Berlin, Springer, 2005, v. 1, p. 3—6.
56. **Озерова Н.А.** Ртуть и эндогенное рудообразование. М., Наука, 1986, 232 с.
57. **Оболенский А.А.** Генезис месторождений ртутной рудной формации. Новосибирск, Наука, 1985, 194 с.

58. **Mao J., Li Y., Goldfarb R. et al.** Fluid inclusion and noble gas studies of the Dongping gold deposit, Hebei province, China: a mantle connection for mineralization? // *Econ. Geol.*, 2003, v. 98, № 3, p. 517—534.
59. **Cline J.S., Stuart F.M., Hofstra A.H. et al.** Multiple sources of ore-fluid components at the Getchell Carlin-type gold deposit, Nevada, USA // *Mineral exploration and sustainable development*. Rotterdam, Millpress, 2003, p. 965—968.
60. **Naumov E.A., Airiyants A.A., Borisenko A.S. et al.** Helium, carbon and oxygen isotope composition study of the epithermal deposits // *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. 300—303.
61. **Рожков А.М.** Газовый состав, радиоактивность Rn, изотопные соотношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ как показатель условий формирования и разгрузки термальных вод кальдеры Узон (Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*, 1979, № 6, с. 30—40.
62. **Hulston J.R., Lupton J.E.** Helium isotope studies of geothermal fields in the Taupo Volcanic Zone, New Zealand // *J. Volc. Geotherm. Res.*, 1996, v. 74, p. 297—321.
63. **Torgersen T., Jenkins W.J.** Helium isotopes in geothermal systems: Iceland, The Geysers, Raft River and Steamboat Springs // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1982, v. 46, p. 739—748.
64. **Gülec N., Hilton D.R., Mutlu H.** Helium isotope variations in Turkey: relationship to tectonics, volcanism and recent seismic activities // *Chem. Geol.*, 2002, v. 187, p. 129—142.

*Рекомендована к печати 3 ноября 2005 г.
Г.В. Поляковым*

*Поступила в редакцию
3 ноября 2005 г.*