

УДК 553.411.(571.6+7)

О ПЛУТОНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ТОНКОДИСПЕРСНОГО ЗОЛОТА СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

© 2007 г. А. В. Волков, Н. Е. Савва, член-корреспондент РАН А. А. Сидоров

Поступило 02.06.2006 г.

В начале 40-х годов прошлого века в оловоносных районах Северо-Востока выявлены золоторудные проявления, отличающиеся по минеральным ассоциациям и геологическому положению от месторождений золото-кварцевой формации. В течение последних 20 лет только в пределах Магаданской области выявлено более 30 месторождений (рис. 1), многие из которых могут оказаться в категории крупных и сверхкрупных месторождений [1, 2]. Широкий разворот поисковых работ был связан с открытием в 1980 г. среднего по масштабу месторождения Школьное, но отличающегося очень богатыми рудами ($Au > 35$ г/т), из которого добывается 0.6–0.8 т в год. В последние годы интерес к этим месторождениям подогревается успешной разработкой на Аляске и в Австралии месторождений Форт-Нокс (>350 т), Пого (150 т), Даблин-Галч (>100 т) и Тэфлер (>500 т) [3].

П.И. Скорняковым еще в 1949 г. этот тип оруденения отнесен к турмалиново-кварцевой формации и выделено четыре минеральных типа: золото-кобальтовый, золото-теллуровый, золото-вольфрамовый, золото-касситеритовый. Н.А. Шило и др. [4], анализируя особенности золоторудных месторождений Северо-Востока СССР, указывали на необходимость выделения золото-редкометалльного оруденения в самостоятельную формацию. А.П. Осипов и А.А. Сидоров [5] суммировали имеющийся материал по рудопроявлениям золото-редкометалльной формации и провели сравнительный анализ этого материала с данными по аналогичной рудной минерализации других провинций Советского Союза. За рубежом подобные месторождения относятся к типу золоторудных, связанных с гранитоидами (granitoid related) [3].

На Северо-Востоке месторождения этого типа широко распространены в осадочных вулканоген-

ных зонах различного возраста и в пределах Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, а также в зонах интрузивного магматизма срединных массивов. Месторождения локализуются в пределах гранитоидных интрузивов или в зонах контактовоизмененных пород, сравнительно редко выходя за пределы последних. Часто рудные тела подчинены форме интрузивного контакта. В отличие от Cu-порфировых и месторождений Sn золото-редкометалльные месторождения связаны с гранитоидами самого разного состава и происхождения. Рудные тела месторождений этого типа представлены жилами мощностью 0.1–0.6 м и протяженностью 2–100 м, штокверковыми ареелами площадью до 1–2 км² и более с 10–20% кварцевого материала на погонный метр, зонами дробления мощностью до 2–3 м и протяженностью до 200–300 м с различным количеством кварцевого материала. Обычны сочетания зон дробления и стволочных жил или зон дробления и штокверков. Мощность околожилных метасоматитов достигает 1 м, а в штокверковых зонах охватывает всю занимаемую ими площадь. Для большинства месторождений характерно низкое содержание золота при большом объеме рудной массы и запасов металла; вертикальный размах оруденения превышает 300 м. Характеристика наиболее изученных месторождений приведена в табл. 1.

Процессы минералообразования на месторождениях золото-редкометалльной формации характеризуются многостадийностью и специфическим для каждого выделенного типа комплексом редкометалльных минералов. Для всех указанных типов общими являются следующие ассоциации: кварц-турмалин-арсенопиритовая, золото-теллуровая, кварц-карбонатная.

Ранний прерудный этап гидротермальной деятельности связан с химически активными богатыми летучими компонентами растворами. Он характеризуется широким распространением турмалина и кварца. Вслед за этим происходит повышение щелочности растворов и отложение сульфидов свинца, меди, мышьяка, висмута.

В конечные этапы продуктивных стадий происходит резкое падение температур и снижение парциального давления серы. В этих условиях

*Институт геологии рудных месторождений,
петрографии, минералогии и геохимии
Российской Академии наук, Москва
Северо-Восточный комплексный
научно-исследовательский институт
Дальневосточного отделения
Российской Академии наук, Магадан*

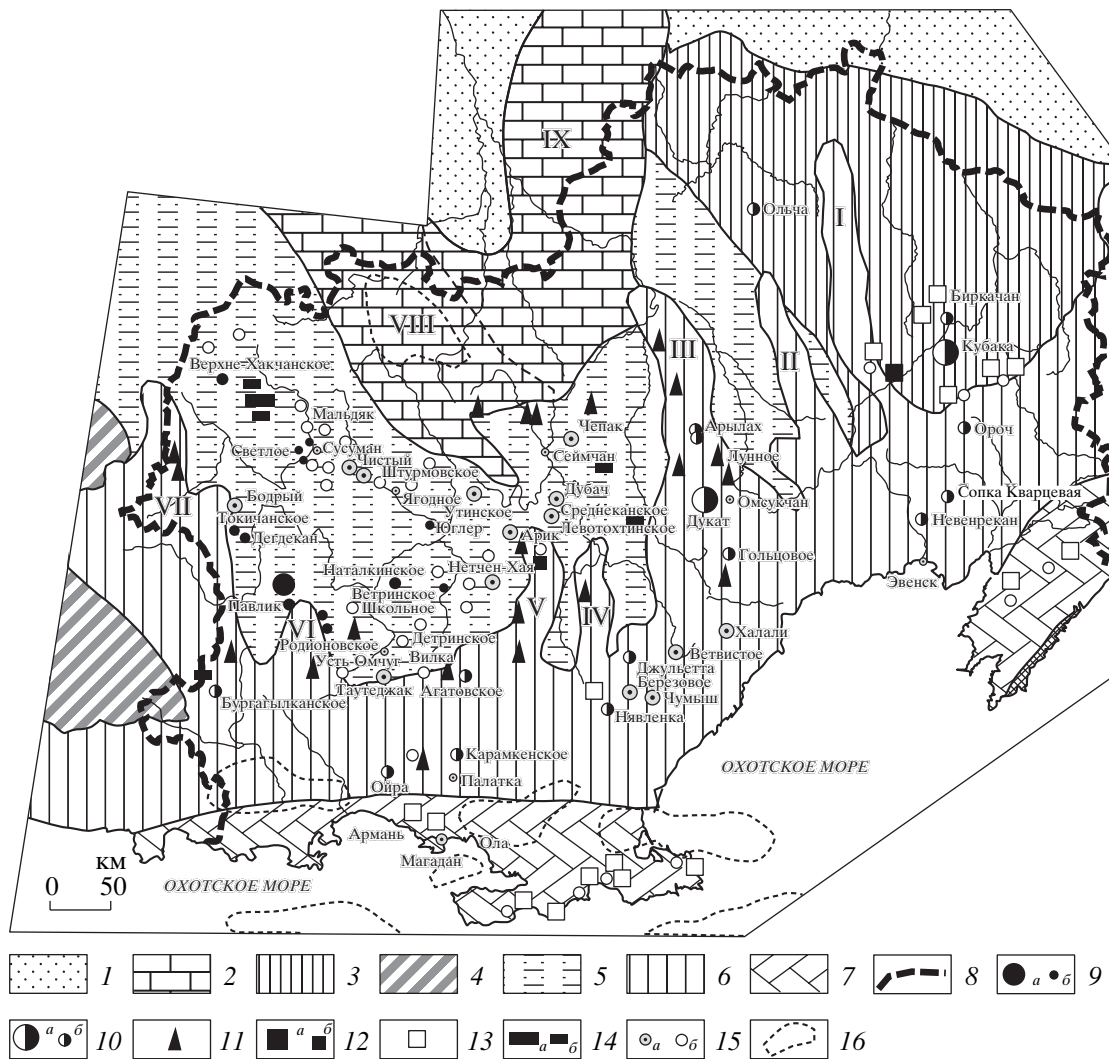


Рис. 1. Схема металлогенического районирования Магаданской области. 1 – Алазейско-Олойская металлогеническая провинция; 2 – Приколыво-Черско-Полоуенненский металлогенический пояс; 3 – Омолонская металлогеническая провинция; 4 – Охотская металлогеническая провинция; 5 – Яно-Колымский металлогенический пояс; 6 – Охотско-Чукотский металлогенический пояс; 7 – Тайгоноско-Западно-Корякский металлогенический пояс; 8 – граница Магаданской области; 9 – месторождения золото-кварцевой формации: а – крупные, б – средние и малые; 10 – месторождения золото-серебряной формации: а – крупные, б – средние и малые; 11 – месторождения олова; 12 – месторождения железа: а – крупные, б – малые; 13 – проявления медно-порфировой формации; 14 – месторождения каменного угля: а – средние, б – малые; 15 – золоторудные месторождения (а) и проявления (б), связанные с гранитоидами; 16 – площади перспективные на нефть и газ. I–IX – металлогенические зоны: I – Конгинская, II – Коркодон-Наяханская, III – Балагычано-Сугойская, IV – Таня-Нурская, V – Хурчан-Оротуканская, VI – Тенькинская, VII – Тас-Кыстабытская, VIII – Омудевская, IX – Приколывская.

происходит отложение теллуридов золота, серебра, висмута. Для каждого выделенного типа золото-редкометалльных месторождений существуют отличия минерального состава. Выделяются три типа месторождений: кобальтовый, висмутовый и оловянный.

Минеральный состав месторождений кобальтового типа характеризуется наличием минералов кобальта, наложенных на кварц-турмалин-арсенопиритовую ассоциацию. Среди них кобальтистый леллингит, кобальтин, саф-

флорит. В минералах кобальта тонкие включения, представленные сростаниями самородного золота с теллуридами золота и серебра, петцитом, гесситом, сивланитом, калаверитом.

Для висмутового типа характерно наличие минералов висмута в золото-теллуровой ассоциации (висмут самородный, висмутин), широкое развитие теллуридов висмута (тетрадимит, теллуrowисмутит, эмплектит, жозеит) и незначительных количеств теллуридов серебра и золота (петцит, гессит).

Таблица 1. Сравнительная характеристика золото-редкометалльных месторождений различных металлогенических эпох

Месторождение	Положение относительно интрузии	Возраст интрузии	Контактово-метасоматические изменения	Геохимическая специализация руд	Пробность самородного золота
Джугаджак	Околоинтрузивное	D ₂	Пирротинизация; эпидот, гематит, хлорит	Fe–Cu–Au–Ag–Bi–Te	880–970
Чепак	Надынтрузивное	J ₁	Грейзены – мусковит, турмалин	Au–Fe–As–W–Bi–Te	880–940
Подгорное	Околоинтрузивное	K ₁	Турмалин, хлорит	Fe–Co–As–Ag–Bi–Te	680–800
Басугуньинское	Околоинтрузивное	K ₁₋₂	Турмалин, хлорит, мусковит	Fe–As–Sb–Te–Bi	680–940
Тэутэджак	Надынтрузивное	K ₁₋₂	Пирротинизация; скарны, эпидот, гематит, хлорит	Au–Ag–Bi–Te	650–940

Для месторождений оловянного типа отличительной чертой является наличие кварц-касситерит-мусковитовой ассоциации, предшествующей кварц-арсенопиритовой. Более слабое проявление кварц-турмалиновой ассоциации и присутствие теллуридов золота, серебра, висмута в равной степени. Здесь выявлены тетрадимит, сильванит, петцит.

В зонах тектоно-магматической активизации, оперяющих Охотско-Чукотский вулканогенный пояс, руды золото-редкометалльных месторождений характеризуются аномально высокими содержаниями серебра (100–300 г/т и более), что позволяет выделять новый золото-серебряный тип этого оруденения [6].

Золото в рудах всех типов тонкодисперсное, обычно в виде мелких изометричных включений в арсенопирите, минералах висмута и кобальта. Свободное золото отмечается крайне редко и, как правило, связано с поздним кварцем. Следует отметить повышенное количество свободного золота в оловянном типе.

В результате детальных минералогических исследований, проведенных в последние годы на ряде золото-редкометалльных месторождений Северо-Востока России (Басугуньинское, Дубач, Тэутэджак, Верхнеурультунское, Чистое, Чепак, рис. 1), установлен тонкодисперсный характер подавляющей части золота главным образом во вкрапленных сульфидных рудах. По своим размерам (1–30 мкм) это золото (рис. 2а) существенно отличается от “нанозолота” (“невидимого” золота) в сульфидах [7] и может извлекаться цианированием. В отличие от “нанозолота” тонкодисперсное золото ассоциирует с соразмерными выделениями теллуридов золота и висмута, самородным висмутом (рис. 2б) и отличается более низкой пробностью (850–970). Главными минералами-носителями этого золота являются средне- и мелкокристаллический арсенопирит, реже пирит и леллингит. Типоморфной особенностью руд как с нано-, так и с тонкодисперсным золотом является

их вкрапленный характер, что свидетельствует о близких условиях рудообразования. Необходимо отметить еще одну важную в поисковом плане общую черту этих месторождений – в связи с тонкодисперсным характером золота в рудах они не образуют россыпей.

В 2005 г. получены первые результаты детального минералогического изучения руд месторождения Чепак, расположенного в крайней юго-восточной части Яно-Колымского золотоносного пояса (см. рис. 1). Ранее оруденение на этом месторождении было отнесено к золото-сульфидному вкрапленному типу, отличающемуся “невидимым золотом” в сульфидах по аналогии с “упорными” рудами месторождения Майское (Центральная Чукотка).

Главными особенностями минералогии руд месторождения Чепак являются высокое содержание сульфидов мышьяка, отсутствие свободного золота, повышенные концентрации шеелита (W 0.06%) и минералов висмута. Количество сульфидов на некоторых участках метасоматических рудных тел достигает 50%. Преобладают арсенопирит и леллингит. Ведущая роль среди жильных минералов кварца и белой слюды позволяет относить часть этих жил к жильным кварц-слюдистым грейzenам (рис. 3). Состав трещинных жил выполнения отличается от состава жил замещения более крупнозернистым и чистым кварцем, значительно меньшим количеством силикатов (слюд, хлоритов), преобладанием арсенопирита над леллингитом и широким распространением пирротина.

Главными минералами-носителями золота являются арсенопирит и леллингит. Арсенопирит чаще всего образует хорошо выраженные кристаллы короткопризматического габитуса размером до 2.5 мм, леллингит обычно устанавливается в арсенопирите в виде стебельчатых и лучистых сростков. Содержание золота в арсенопирите (по данным технологического опробования) составляет в двух пробах 56.6 и 108.4 г/т, в леллингите –

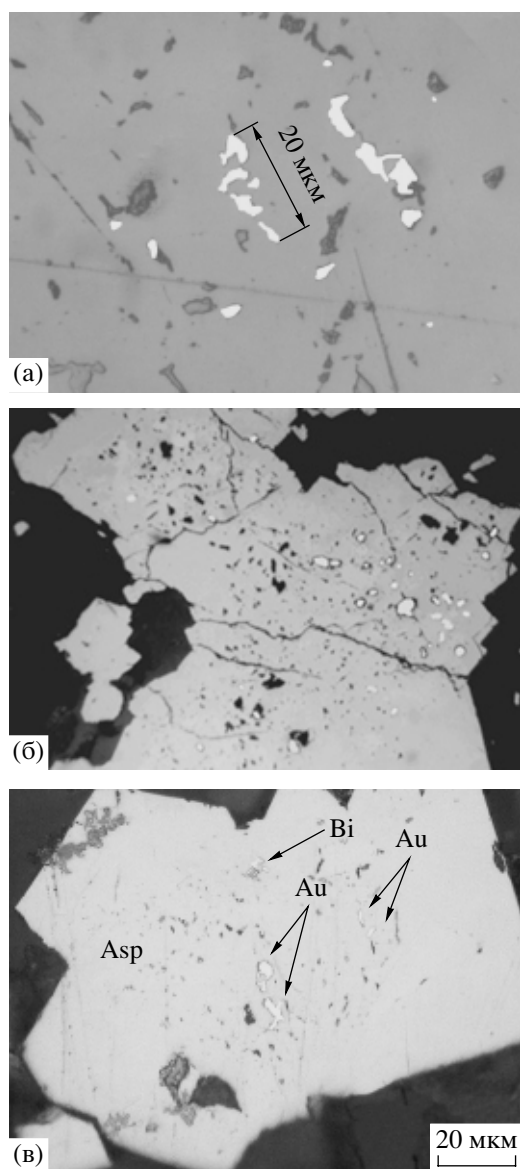


Рис. 2. Тонкодисперсное золото и теллуриды в арсенопирите золото-редкометалльных месторождений. а – фрагмент крупного зерна арсенопирита с многочисленными включениями самородного золота; месторождение Басуганьинское, фото А.В. Альшевского; размер зерна арсенопирита 1–2 мм, включений золота до 10–20 мкм, 300×; б – фрагмент крупного зерна тонкопористого арсенопирита с многочисленными включениями золотоносных висмута-теллуридных сростаний, месторождение Тэутэджак, фото А.В. Альшевского, размер зерна арсенопирита 1–2 мм, висмута-теллуридных включений до 25–30 мкм, 150×; в – тонкодисперсное самородное золото и висмут в тонкозернистом арсенопирите, сульфидных жил месторождения Чепак, 400×.

84.4 г/т. Содержание серебра соответственно 3.0, 10.0 и 10.7 г/т.

В результате наших исследований в рудах месторождения Чепак было выявлено тонкодисперсное золото и самородный висмут (рис. 2в),

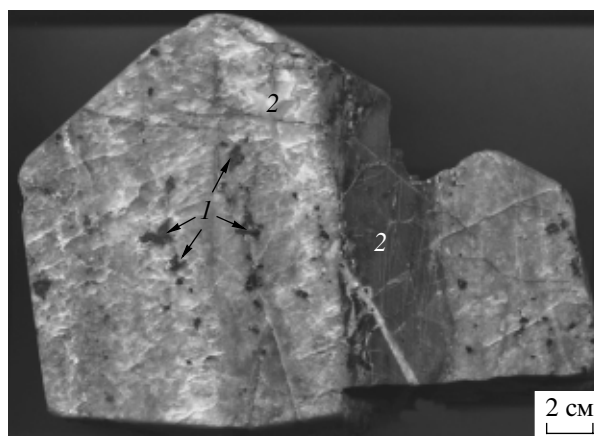


Рис. 3. Кварц-сланцевый грейзен (месторождение Чепак). 1 – крупнокристаллический арсенопирит и его агрегаты; 2 – серицит и мусковит, развитые по трещиноватости в кварце и реликте (темная полоса) тонкозернистых песчаников. Сканированный срез полированного штуфа.

мельчайшие включения которого наблюдаются в сульфидных минералах, в жильном и прожилково-вкрапленном типах руд. Главными минералами-носителями этого золота является крупно- и среднекристаллический арсенопирит, пирротин, реже пирит и леллингит. Частицы золота своими размерами (1–20 мкм, рис. 2в) существенно отличаются от размеров наночастиц “невидимого” золота, по-видимому также развитого в этих сульфидных минералах, и могут извлекаться цианированием.

Изучение условий рудообразования по флюидным включениям в минералах [8] показали: а) широкий общий температурный диапазон формирования месторождений выделенных типов от 650°C и выше, до 100°C, и ниже; б) отложение ранних ассоциаций осуществлялось из высокотемпературных сильно концентрированных пневматолито-гидротермальных растворов; в) продуктивные ассоциации характеризуются высокими начальными температурами слабо концентрированных пневматолито-гидротермальных растворов; отложение минералов-носителей золота происходит в конечные моменты кристаллизации продуктивного кварца в интервале температур 350–210°C; г) отложением постпродуктивной кварц-карбонатной ассоциации при 200–90°C обычно заканчивается формирование месторождений.

Изучение газово-жидких включений в кварцах выделенных типов месторождений показало некоторые отличительные черты для каждого типа. В кварцах месторождений кобальтового типа включения представлены высококонцентрированными многокомпонентными флюидами с небольшим содержанием водного раствора, частично гетерогенные в интервале температур 680–700°C. В кварце продуктивных ассоциаций месторожде-

ний висмутового типа включения представлены пневматолитовыми и пневматолито-гидротермальными умеренно и слабо концентрированными растворами. 5% от общего числа включений гомогенизируются в газовую фазу. Для кварца продуктивных ассоциаций месторождений оловянного типа характерным является наличие во включениях высокотемпературных гидротермальных растворов.

Общий для всех типов диапазон отложения продуктивной ассоциации 500–210°C, а продуктивного парагенезиса 350–210°C.

Таким образом, различия в палеотемпературных условиях формирования отдельных месторождений или групп месторождений, по-видимому, объясняются их положением по отношению к материнской интрузии.

Итак, формирование плутоногенных месторождений тонкодисперсного золота отличается большой выдержанностью и эволюционной направленностью рудного процесса. Для месторождений этого типа характерна пневматолитовая (газовая) фаза минералообразования, роль которой в переносе и отложении рудного вещества вполне вероятна. Отмеченные факторы весьма благоприятны для образования крупных рудных концентраций в большеобъемных месторождениях.

Тонкодисперсное золото (1–30 мкм) в ассоциации с теллуридами золота, висмута и самородным висмутом во вкрапленных сульфидах играет роль так называемой минералогической подпериоды, указывающие на тип оруденения.

Полученные данные показывают необходимость и важность дополнительных минералогических исследований (минералого-технологического картирования) для определения формы нахождения и количества тонкодисперсного золота в рудах месторождений золота, связанных с гранитоидами (плутоногенных), что позволит существенно уточнить технологию обогащения.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 04–05–64359) и проекта Программы ОНЗ № 2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоров А.А., Волков А.В. // ДАН. 2000. Т. 375. № 6. С. 807–811.
2. Гамянин Г.Н., Горячев Н.А., Бахарев А.Г. и др. Условия зарождения и эволюции гранитоидных золоторудно-магматических систем в мезозоидах Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2003. 196 с.
3. Lang J.R., Baker T., Hart C.J.R., Mortensen J.K. // Newsletter, 2000. № 40. P. 1–15.
4. Шило Н.А., Желнин С.Г., Сидоров А.А. В кн.: Актуальные проблемы геологии золота на Северо-Востоке СССР. М.: СВКНИИ, 1972. В. 44. С. 23–34.
5. Осипов А.П., Сидоров А.А. В кн.: Новые данные по геологии Северо-Востока СССР. Магадан: СВКНИИ, 1973. В. 55. С. 40–52.
6. Волков А.В., Сидоров А.А., Сидоров В.А. // ДАН. 2003. Т. 392. № 2. С. 217–220.
7. Genkin A.D., Bortnicov N.S., Cabry L. et al. // Econ. Geol. 1998. V. 93. № 24. P. 463–487.
8. Шаповалов В.С., Савва Н.Е. // Колыма. 1979. № 8. С. 33–35.