

Золото-кварцевые месторождения в турбидитах северо-восточной части Арктической зоны России

А. В. Волков¹, доктор геолого-минералогических наук,

А. А. Сидоров², член-корреспондент РАН,

В. В. Аристов³, кандидат геолого-минералогических наук,

К. Ю. Мурашов⁴

ФГБУН Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН

В статье рассмотрена поисковая модель золото-кварцевых жильных месторождений в турбидитовых толщах (ЗКМТ). В геологической части модели подчеркиваются классификационные признаки ЗКМТ по отношению к другим типам гидротермальных магматических систем. На первый план геолого-генетической модели выдвинуты наиболее важные, по мнению авторов, индикаторные факторы формирования ЗКМТ. Сделан вывод, что месторождение Совиное в Куульском районе Северной Чукотки – потенциально крупный и уникальный объект. Показано, что арктические районы Яно-Колымского и Чукотского складчатых поясов северо-востока России наиболее перспективны для поисков ЗКМТ.

Ключевые слова: Арктическая зона, северо-восток России, турбидиты, золото, кварц, седловидные жилы, прогноз.

Введение

Золото — главный промышленный компонент золото-кварцевых месторождений в турбидитовых толщах (ЗКМТ). Кроме того, из них попутно добывается серебро как примесь в золоте, на некоторых объектах установлены значимые содержания вольфрама и сурьмы в рудах [17]. ЗКМТ представлены золото-кварцевыми жилами, жильными зонами и штокверками, которые размещаются в зонах трещиноватости, смятия и дробления, в разломах, в складках, в замках антиклиналей и синклиналей, вдоль напластования в турбидитовых толщах. Хорошо известные примеры ЗКМТ — месторождения Бендиго и Балларат (Австралия), Мегума (Канада), в нашей стране — Дуэт-Бриндакитский рудно-россыпной

район (Якутия), Совиное и др. (Чукотка). Некоторые исследователи относят к этому типу месторождений узбекский гигант Мурунтау [20]. В пермских турбидитовых толщах залегает крупнейшее месторождение северо-востока России Наталкинское. Добыча золота из первичных руд эталонного месторождения этого типа Бендиго составила 540 т, Балларата — 65 т, Мегумы — 40 т, Дуэта — 20 т [10; 20; 21]. В близких по строению и условиям формирования золото-кварцевых месторождениях Куульского рудного района Чукотки, по нашему мнению, также сосредоточены основные запасы коренного золота территории. Указанием на это, в частности, может служить то обстоятельство, что из россыпных месторождений Пильхинкууль-Рывеевского рудно-россыпного узла к настоящему времени добыто более 300 т золота. Турбидитовые толщи широко развиты в Куульском, Алярмаутском, Куларском рудных районах северо-восточной части Арктической зоны России (рис. 1). Классификационные признаки ЗКМТ сведены в табл. 1.

¹ e-mail: tma2105@mail.ru.

² e-mail: koluma@igem.ru

³ e-mail: rstvvv@yandex.ru

⁴ e-mail: kostik.mur@mail.ru.

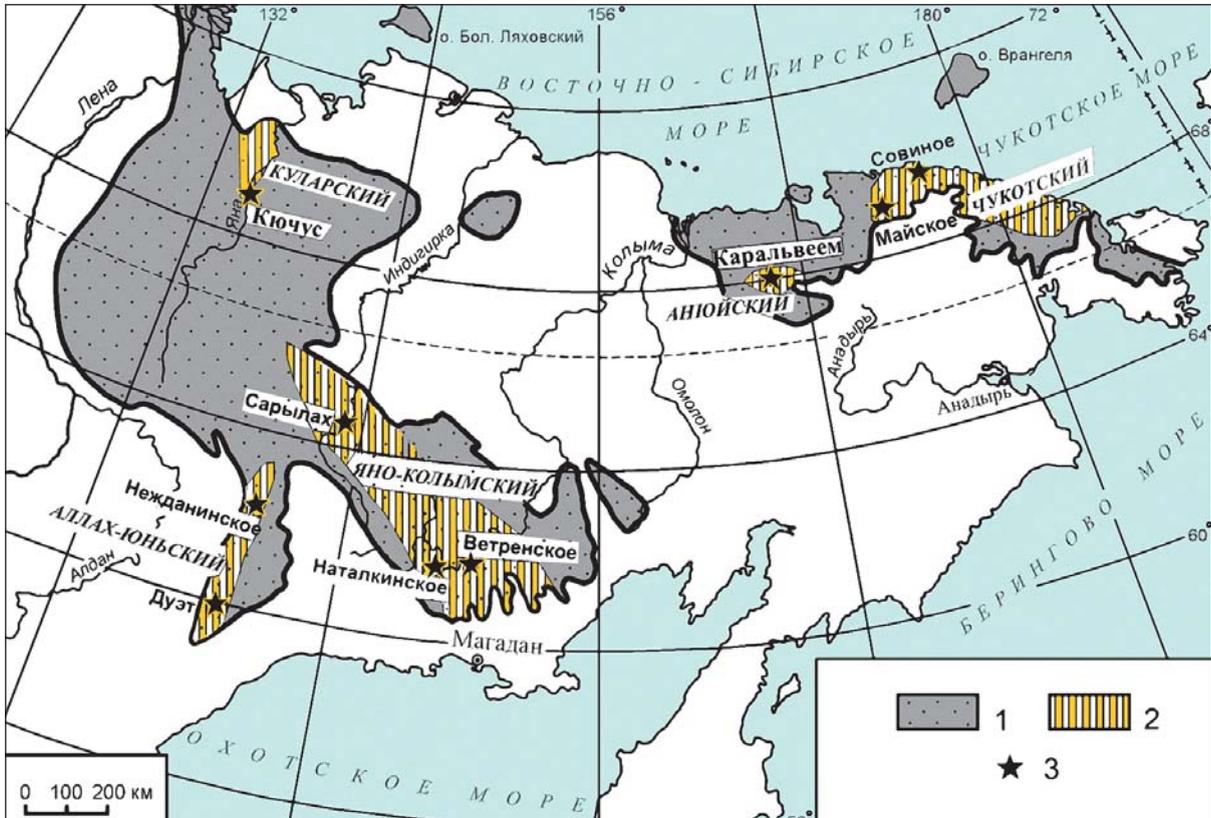


Рис. 1. Распространение черносланцевых турбидитовых толщ на северо-востоке России (1) и положение в них золото-россыпных районов (2) и основных месторождений (3)

Таблица 1. Классификационные признаки золото-кварцевые месторождений в турбидитах

№ п/п	Классификационные признаки
1	Тектоническая обстановка: террейны пассивных континентальных окраин, где турбидиты отлагались на шельфе в подводных впадинах, перидуговых бассейнах или во внутриконтинентальных бассейнах с реликтами океанических впадин
2	Турбидиты, сложены граувакковыми песчаниками и алевролитами, сланцами и углистыми сланцами. В разрезе встречаются пластообразные кремни, железистые образования, мелкозернистые загрязненные известняки и доломиты, туфогенные пласты и диамиктиты, незначительное количество полимиктовых конгломератов. Присутствует относительно небольшое количество магматических пород (дайки пестрого состава)
3	Седловидные золото-кварцевые жилы в замках антиклиналей или синклиналей. Месторождения состоят из нескольких кварцевых жил мощностью от одного до нескольких метров, обычно стратформные, параллельные, реже дискордантные, параллельные генеральному простираению осей складок
4	Руды сильно обогащены Si, Fe, S, B, Au и Ag, умеренно — Cu, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb, Sb, W и Mn и низко — Hg, V, Li, Bi, Se, Te, Mo, F, Co и Ni
5	В жилах широко развит книжный кварц
6	Низкое содержание сульфидов (< 2,5%). В рудах обычно представлены самородное золото, пирит, арсенипирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, висмут, антимонит, бурнонит и другие сульфосоли
7	5% CO ₂ , < 5% NaCl гидротермальные флюиды
8	Сопровождаются крупными и богатыми россыпями золота

В верхнепалеозойских турбидитовых толщах Куульского района (Северная Чукотка) в конце 1980-х годов выявлено несколько месторождений с золото-кварцевым оруденением стратиформного типа — Совиное, Дор, Кусьвеемское и др. [3]. Следует отметить, что открытие месторождения Совиное позволило ответить на вопрос о коренных источниках уникальных близко расположенных друг к другу Рывеемской и Пильхинкуульской россыпей, из которых суммарно добыто более 300 т золота [5]. Открытие Совиного послужило мощным толчком для возобновления поисков коренных источников россыпей в Яно-Колымской провинции северо-востока России. В Сусуманском районе в 1990-х годах было разведано, а затем отработано месторождение Светлое. В начале XXI в. в Тарынском россыпном районе (Якутия) было выявлено и в настоящее время подготавливается к освоению потенциально крупное месторождение Дрожное [8].

Поисковая модель основана главным образом на результатах изучения ЗКМТ в Куульском (Северная Чукотка) и Дуэт-Бриндакитском районах, а также на данных зарубежных исследователей, изучавших аналогичные месторождения провинции Виктория (Западная Австралия) и района Мегума в Новой Шотландии (Канада). В геологической части модели подчеркиваются классификационные признаки ЗКМТ по отношению к другим типам гидротермальных магматических систем. На первый план геолого-генетической модели выдвинуты наиболее важные, по нашему мнению, индикаторные факторы формирования ЗКМТ.

Положение ЗКМТ в тектонических структурах

Турбидитовые толщи формируются в континентальных окраинах. Они отлагались в подводных впадинах, задуговых бассейнах или во внутриконтинентальных бассейнах с реликтами океанических впадин. Как правило, эти толщи испытали один или два деформационных этапа и связанный с ними метаморфизм. В разрезе турбидитов преобладают мощные терригенно-карбонатные слои, которые были деформированы и метаморфизованы. Здесь иногда присутствует относительно небольшое количество магматических пород.

В мире известны ЗКМТ с возрастом от архея до эоцена [17]. Классические рудные районы Бендиго (Австралия) и Мегума (Канада) сложены раннепалеозойскими толщами, а районы Арктической зоны России (Куульский и др.), как и Дуэт-Бриндакитсий, — позднепалеозойскими толщами. Формирование золото-кварцевых жил связано с наиболее поздними деформационными событиями в этих районах.

Рудный район Бендиго состоит из двух складчатых зон: Ставел и Бендиго-Балларат. Зона Бендиго-Балларат представляет собой субмеридиональное складчатое сооружение протяженностью 120 км и шириной 40—60 км, вероятно, фиксирующее зону

скрытого разлома глубокого заложения, поперечного к общему простиранию Лэчланского складчатого пояса. Рудный район сложен ордовикскими терригенными толщами, общая мощность которых составляет около 3000 м, вмещающими большое количество кварцевых жил. Ордовикские толщи прорваны многочисленными гранитными массивами девонского возраста. Внедрение гранитоидов происходило после завершения складчатости; они часто срезают сформировавшиеся складки. В восточных районах штата Виктория гранитоидные интрузивы представлены весьма широко. Создается впечатление, что на глубине они, возможно, сливаются в единый гигантский батолит.

В среднем девоне осадочные толщи были смяты в изоклинальные складки и разбиты многочисленными поперечными и параллельными общему направлению складчатости разрывными нарушениями с субвертикальным падением. Складчатая структура зоны полого погружается в северном и южном направлениях. Строение складчатой зоны можно представить как гармоневидный шеврон с углами падения крыльев отдельных складок 40—50° и расстоянием между их осями 150—300 м. В ходе региональных деформаций вмещающие породы были слабо метаморфизованы (пренит-пумпелиитовая — зеленосланцевая ступень).

Рудное поле Бендиго представляет собой субмеридиональную антиклинальную структуру общей площадью 125 км². Вмещающая нижнеордовикская толща сложена ритмично переслаивающимися песчаниками, турбидитами, карбонатными и углистыми сланцами (группа Сандхорст, рис. 2). В пределах рудного поля прослежены оси более чем 20 антиклиналей, но основные запасы золота приурочены к 6 из них (рис. 3).

Выходы гранитоидных массивов на площади рудного поля отсутствуют. Из магматических образований известны лишь редко встречающиеся лампрофировые дайки, приуроченные к крупным осевым разломам основных антиклиналей. Дайки обогащены оливином и имеют возраст 150 млн лет (юрский), определенный K-Ar методом. На площади рудного поля дайки рассекают и метаморфизируют кварцевожильные рудные тела. В зонах контактов с дайками отчетливо выявляется обогащение рудных тел золотом [22].

Региональную структуру Куульского рудного района определяет одноименное антиклинальное поднятие (рис. 4), в строении которого участвуют три породных комплекса — карбонатно-терригенный среднепалеозойский (турбидитовый), сланцевый нижнетриасовый и эффузивный меловой (рис. 5а). В центральной части поднятия магматические образования представлены раннетриасовыми силлами габбро-диабазов, раннемеловыми коллизионными гранитоидными интрузивами (120—100 млн лет) и многочисленными дайками пестрого состава ранне-позднемелового возраста. В пределах

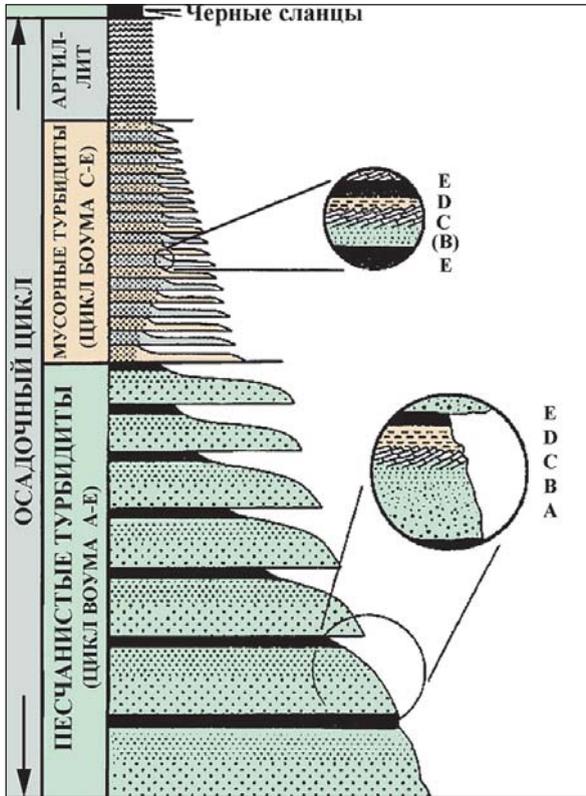


Рис. 2. Циклы турбидитов в осадочном разрезе группы Сандхорст, месторождение Бендиго [22], с изменениями

Куульского района сосредоточены многочисленные ЗКМТ и сопровождающие их россыпи (рис. 5а).

Геолого-геофизическое моделирование глубинного строения [7] показало, что месторождение Совиное сформировалось в зоне крупного разлома, фиксирующегося на глубине в виде боковой поверхности колонны относительно разуплотненного вещества (см. рис. 5б). Следы разуплотнения прослеживаются до глубины 90 км. По этому разлому перемещение вмещающих толщ могло достигать 10—11 км. Наличие нескрытого тела гранитоидов предполагается на глубинах более 5 км. В то же время дайковые тела — апофизы интрузивного массива в породах северного блока отсутствуют, не вскрыты они и глубокой структурной скважиной, пробуренной более 500 м от поверхности, что свидетельствует о более значительной глубине залегания предполагаемого по геофизическим данным интрузива.

Турбидиты обычно сложены граувакками, кремнистыми отложениями, сланцами и углистыми сланцами (см. рис. 2 и 4). В разрезе встречаются пластообразные кремни, железистые образования, мелкозернистые загрязненные карбонатные породы, незначительное количество полимиктовых конгломератов (в Куульском районе — гравеллитов). Туфогенные пласты и диамиктиты также могут быть частью разреза. Во многих районах присутствуют молодые гранитные интрузии. В Куульском районе

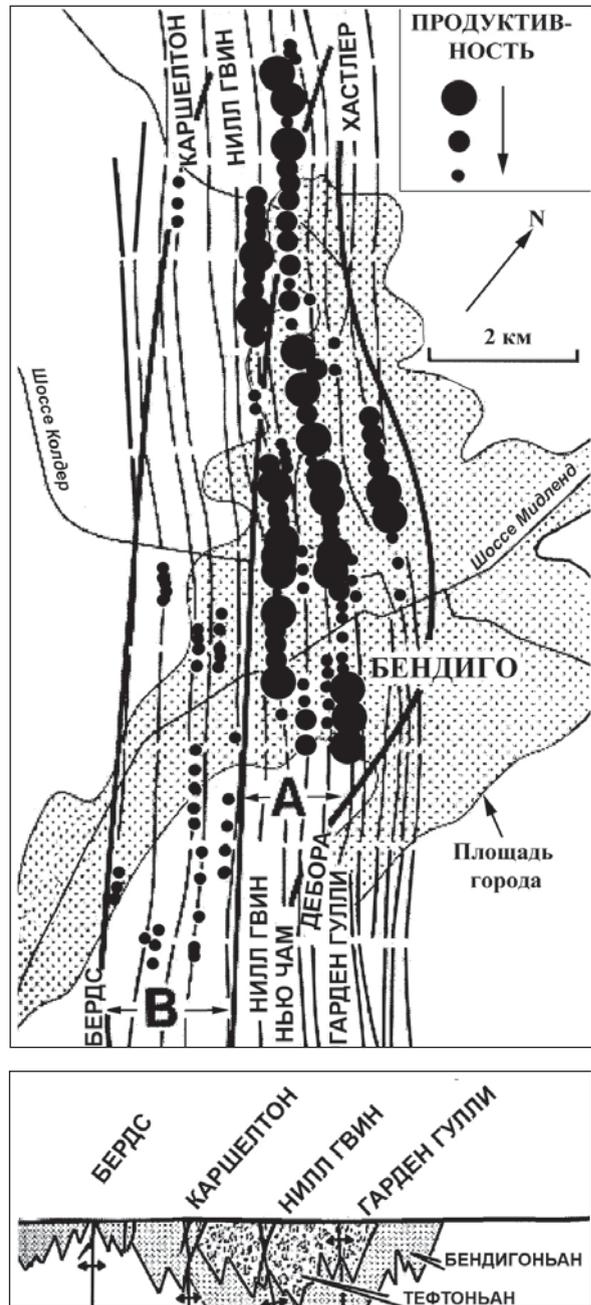


Рис. 3. Проекция на поверхность осей основных рудовмещающих антиклиналей месторождения Бендиго и современные границы города [22], с изменениями

они раннемелового возраста. Метаморфизм турбидитовых толщ, как правило, зеленосланцевый, но может достигать амфиболитового уровня. В Куульском районе метаморфические изменения отвечают серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации.

В стратиграфическом разрезе Куульского района выделяются карбонатно-терригенная (D_2), флишоидная (C_1 — C_2) и карбонатная (C_2) формации турбидитового комплекса (см. рис. 4, рис. 5а). Месторождение

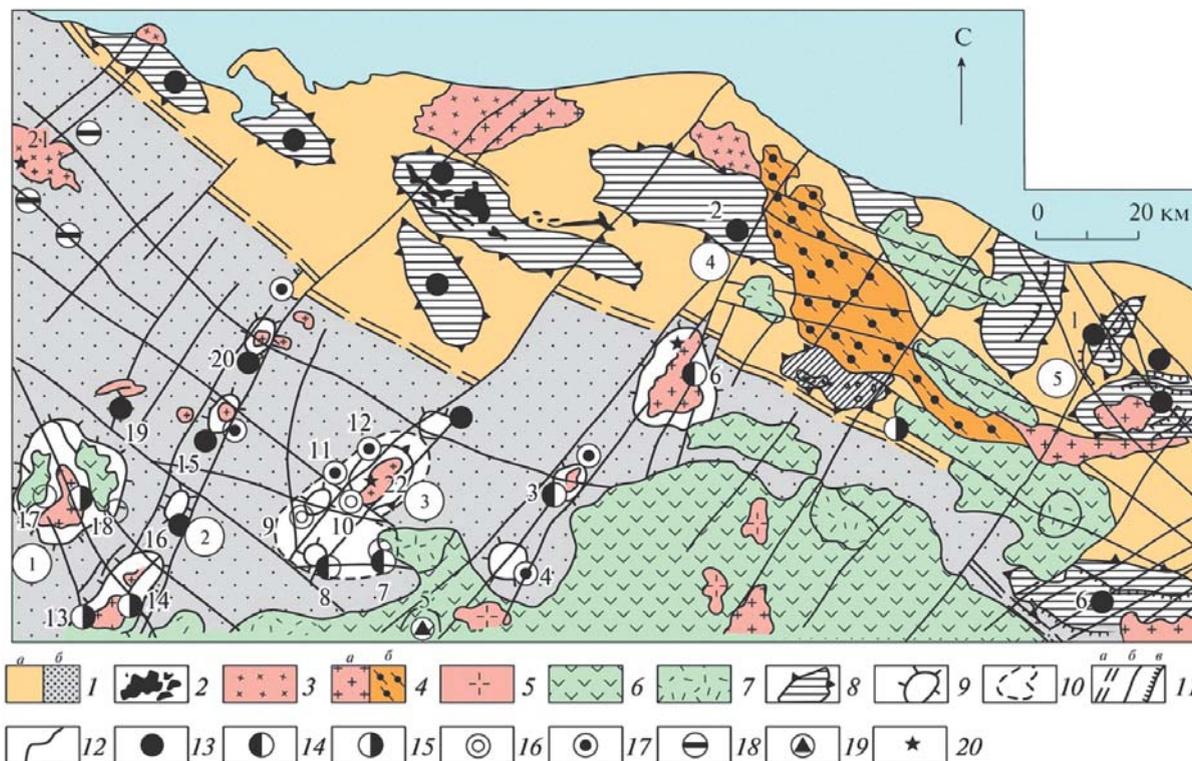


Рис. 4. Тектоническая схематическая карта с элементами металлогении Центральной Чукотки.

Цифры под картой: 1 – терригенные и терригенно-карбонатные миогеосинклинальные отложения палеозой (а) и мезозой (б), 2 – дайки и силлы раннетриасовых габбро-диабазов (Т), 3 – гранодиориты, 4 – граниты (а) и гранито-гнейсы (б), 5 – сиениты, риолит-порфиры, 6 – андезитовая формация, 7 – игнебритовая формация, 8 – ядра палеозойских антиклиналей, 9 – интрузивно-купольные структуры (ИКС) и отдельные купола, 10 – Кукенейская ИКС, 11 – разрывные нарушения (а – Куветская зона разломов, б – сбросо-сдвиги, в – надвиги), 12 – геологические и географические границы, 13–20 – месторождения и рудопроявления различных формаций (13 – золото-кварцевой, 14 – золото-редкометалльной, 15 – золото-серебряной эпитермальной, 16 – золото-сульфидной вкрапленной, 17 – касситерит-сульфидной, 18 – касситерит-кварцевой, 19 – медно-порфировой, 20 – ртутной). Цифры на карте – месторождения: 1 – Совиное, 2 – Кусьвеем, 3 – Матенвунай, 4 – Лунное, 5 – Шурыкан, 6 – Пырканай, 7 – Сопка Рудная, 8 – Промежуточное, 9 – Майское, 10 – Сильное, 11 – Кевеем, 12 – Кукенейское, 13 – Карпунг, 14 – Янро-Карпунг, 15 – Солнечное, 16 – Сыпучая, 17 – Западно-Палянское, 18 – Палянгай, 19 – Ичувеем, 20 – Тампинское. Цифры в кружках – зоны тектоно-магматической активизации: 1 – Палянская, 2 – Карпунгская, 3 – Кукенейская, 4 – Матенвунай-Пырканаянская, 5 – Рывеем-Пильхинкуульская

Совиное сложено нижнекарбовыми терригенными породами. В строении флишевых ритмов последних участвуют известковистые песчаники (50%), алевролиты (30%), глинистые сланцы (20%), в основании ритмов часто наблюдаются гравелиты. Отмеченные ритмы обладают большим сходством с циклами Боума, характерными для рудовмещающих турбидитов месторождения Бендиго (см. рис. 2). Мощность ритмов изменяется от 0,4 до 6,0 м. Ритм обычно начинается (снизу вверх) с крупнообломочного материала (гравелита), постепенно переходящего в более тонкозернистые разности (песчаники), а заканчивается алевролитом небольшой (2–30 см) мощности. Содержание сингенетичного пирита в породах колеблется в пределах от 1% до 5%. Для этих пород характерно повышенное содержание углистого вещества (в среднем 0,2%), при этом максимальные концентрации (7%) свойственны филлитовым сланцам. Углистое вещество присутствует в рассеянном виде, образует гнезда, линзы, прожилки. Подобные

отложения именуется турбидитами [12]. Последним отводится важная роль в генетической модели ЗКМТ в западной Австралии [14; 21].

Геологическое строение ЗКМТ

Обычно ЗКМТ состоят из нескольких кварцевых жил мощностью от одного до несколько метров, обычно стратиформных (или дискордантных), параллельных генеральному простиранью осей складок. Рудные тела деформированы и встречаются в виде одной жилы или жильной зоны, эшелона, свиты или штокверка. Пластообразные параллельные жилы в замках антиклиналей и синклиналей обычно называют седловидными телами. Типичные примеры – Бендиго, Мегума. Аналогичные жилы обнаружены на месторождениях Совиное, Дор и в Дуэт-Бриндакитском районе [5; 10]. Золото-кварцевые жилы характеризуются четкими контактами с вмещающими породами. Жилы вмещают различные геологические структуры (рис. 6). Наиболее часто

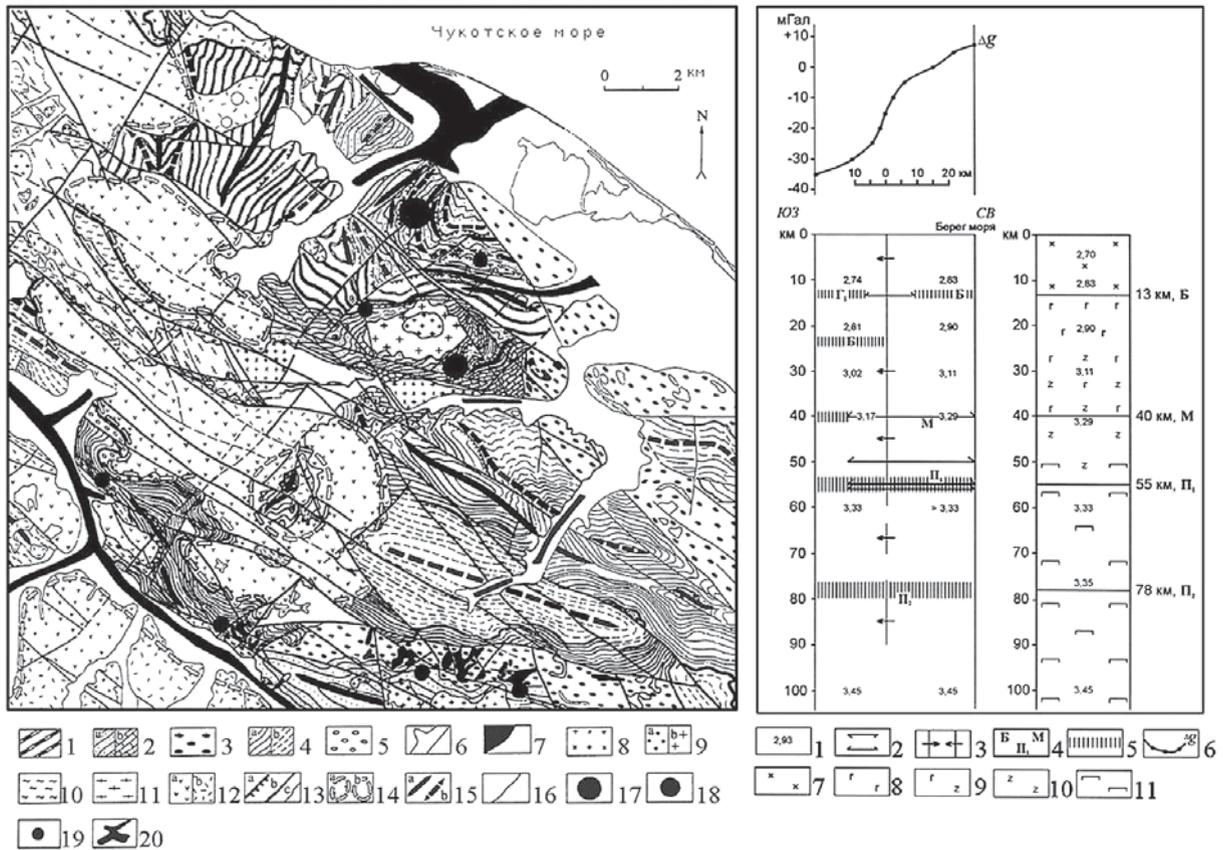


Рис. 5. Структурная схема (а) и глубинное строение (б) Рывеевского рудного узла [5] с изменениями: Структурная схема (а): 1–2 – турбидитовый комплекс: 1 – девонская терригенная толща, 2 – нижнекарбоновые терригенно-карбонатные отложения (а) и верхнекарбоновые известковистые песчаники (б), 3 – нижнетриасовые зеленосланцевые толщи, 4 – среднетриасовые терригенные толщи (а) и верхнетриасовые флишевые толщи (б), 5 – базальные конгломераты, 6 – четвертичные осадки прибрежных бассейнов и речных долин, 7 – нижнетриасовые силлы и штоки габбро-диабазов, 8 – раннемеловые гранодиориты, 9 – раннемеловые тонкозернистые и порфиоровые граниты, 10 – зоны мигматизации терригенных толщ, 11 – раннемеловые гнейсы, 12 – раннемеловые андезиты и позднемеловые игнимбриты, 13 – тектонические нарушения (а – надвиги, б – основные сбросо-сдвиги, в – второстепенные сбросо-сдвиги, предполагаемые разломы показаны пунктиром), 14 – вулканоструктуры (а – купола, б – депрессии), 15 – оси складок, 16 – геологические границы, 17 – месторождение Совиное, 18 – месторождение Дор, 19 – рудопроявления, 20 – россыпные месторождения золота. Глубинное строение по гравиметрическим данным (б): 1 – плотность пород ($г/см^3$), 2 – верхние и нижние ограничения плотностных неоднородностей, 3 – вертикальные ограничения плотностных неоднородностей, 4 – индексы поверхностей расслоения литосферы: Б – кровля базитового слоя, Б₁ – поверхность внутри базитового слоя, М₁ – кровля базит-гипербазитового слоя, М – поверхность Мохо, П₁, П₂ – подкоровые поверхности, 5 – квазигоризонтальные поверхности раздела, 6 – кривая силы тяжести, 7–11 – предполагаемый разрез литосферы (7 – граниты, 8 – базиты, 9 – базиты-гипербазиты, 10 – гипербазиты, 11 – эклогиты)

складкообразные жилы и седловидные залежи связаны с замками антиклинальных складок. Жильные зоны, эшелоны сигмоидальных жил, лестничные жилы, зоны прожилков или штокверки в пределах ЗКМТ локализованы в зонах растяжения в замках, а также в сдвиговых ридель-структурах и надвигосдвиговых дуплексах.

Среди рудных тел месторождения Бендиго преобладают седловидные жилы, приуроченные преимущественно к замкам антиклиналей (см. рис. 6). Из седловидных жил добыто 80% золота месторождения [22]. Реже встречаются «обратные» седловидные жилы, приуроченные к замкам синклиналей. Однако наряду с ними достаточно часто встречаются секущие жилы, положение которых контролируется

многочисленными разрывными нарушениями. Однако не все седловидные кварцевые жилы содержат промышленное оруденение. Из 24 седловидных жил, встреченных до глубины 630 м в антиклинали Хастлер, только 6 содержали промышленное золотое оруденение [22]. Вертикальный размах оруденения на месторождении Бендиго в целом превышает 1,5 км. Морфология седловидных жил весьма разнообразна. Зачастую наблюдаются сочетания седловидных и секущих жил, а также их многочисленных апофиз в пределах одного и того же рудного тела.

Размещение рудных столбов на месторождении Бендиго обычно контролируется структурными ловушками, которые обуславливают локальные условия растяжения. К типичным структурным ловушкам

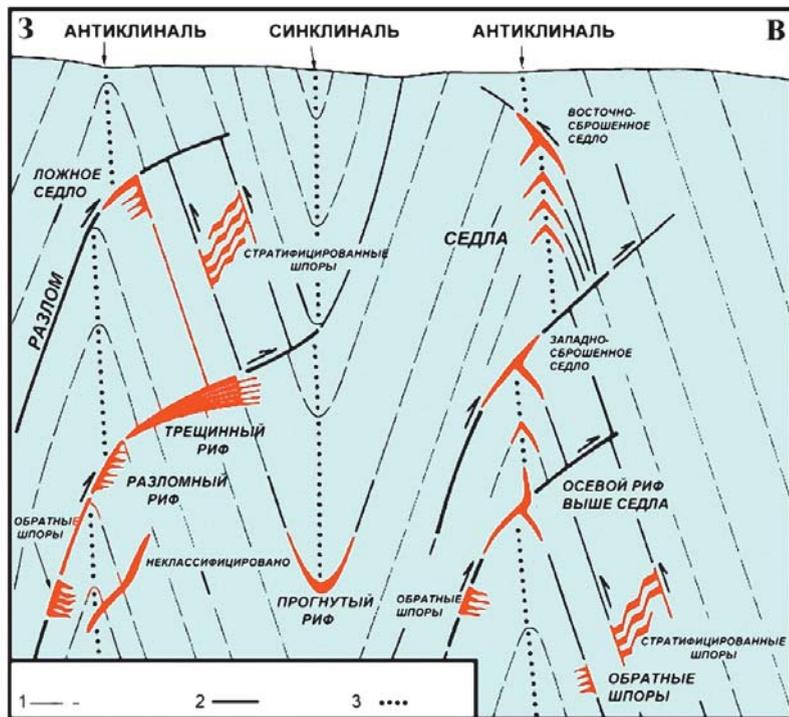


Рис. 6. Морфология рудных тел месторождения Бендиго [22], с изменениями: 1 — слои пород, 2 — разломы, 3 — оси складок

относятся изгибы плоскости рудовмещающего разлома, замки антиклиналей, участки положительных ундуляций шарниров антиклиналей. Минералогическим индикатором рудных столбов служит появление в жилах сфалерита и галенита. Рудные столбы сосредоточены вдоль осей антиклиналей и обычно приурочены к одному из крыльев (см. рис. 6). Протяженность рудных столбов вдоль крыльев антиклиналей не превышает несколько сотен метров, тогда как седловидные жилы в замках протягиваются на несколько километров (см. рис. 3). В рудном поле Бендиго выявлено по крайней мере четыре этажа оруденения [22].

Рудные тела месторождения Совиное (также как на Бендиго) вытянуты своеобразными лентами вдоль оси антиклинальной складки асимметричной формы. В северной и центральной частях антиклиналь имеет пологое западное и крутое восточное падения крыльев. На северном фланге замковая часть складки опрокинута на восток. К югу антиклиналь приобретает симметричный облик: пологие углы падения ее западного крыла изменяются на относительно крутые — 40—55°. Складчатая структура месторождения полого погружается на север под углами 10—20° на северном фланге и довольно резко ныряет в юго-западном направлении под углом до 30° на южном фланге. Вслед за складчатостью погружаются и рудные тела месторождения.

Промышленные рудные тела месторождения Совиное сконцентрированы в западном крыле и в замке главной антиклинали (рис. 7). Выделяются рудные тела двух типов — жильные и прожилково-вкрапленные. В восточном крыле, осложненном субгоризонтальными разрывами, установлено недостаточно изученное в настоящее время штокверковое оруденение. Основные рудные тела месторождения залегают согласно со складчатыми структурами. Они локализируются в замках опрокинутых складок (см. рис. 7а), осложняющих западное крыло антиклинали, и залегают в породах алевролитовой пачки (мощностью 300 м). Основную промышленную ценность в настоящее время имеют слепые, не выходящие на поверхность эшелонированные седловидные рудные

тела — метаморфогенные кварцевые жилы, выполняющие полости отслоения и отрыва. Для них характерно резко асимметричное строение (см. рис. 7, врезка). Мощность кварцевых жил изменяется от десятков сантиметров на крыльях до 10 м и более в замках. Аналогичная морфология характерна и для субпластовых тел с прожилково-вкрапленными рудами. Рудные тела располагаются по падению вдоль осевой плоскости главной антиклинали в несколько эшелонов, расстояния между которыми по вертикали составляют от 20 до 80 м. К северу от центрального профиля +56 известные рудные тела обособлены и разрознены по вертикали, а к югу от него собраны в один пакет из 5—6 жил общей мощностью 30—50 м. Вертикальный размах рудной колонны на месторождении не установлен. По данным бурения наиболее глубокой структурной скважины золото-кварцевые жилы распространены в интервале более 500 м от поверхности [5].

Прожилково-вкрапленное оруденение представляет собой сочетание секущих и согласных со слоистостью прожилков, приуроченных к определенным пластам трещиноватых, раскливажированных песчаников и алевролитов. Нередко интенсивность прожилкования и уровень содержания золота обусловлены близостью литологических контактов. В секущих напластование прожилках содержание золота в 7,7 раза выше по сравнению с согласными. Мощность кварцевых прожилков изменяется от долей миллиметра до первых десятков сантиметров. Часто в них отмечаются гнезда и стяжения карбонатов. В пределах месторождения Совиное к настоящему времени установлено 11 промышленных рудных тел, 5 жильных и 5 прожилково-вкрапленных [5].

Текстурно-структурные особенности руд

Межпластовые жилы отличаются массивной или лентовидной текстурами и шестоватой (иногда

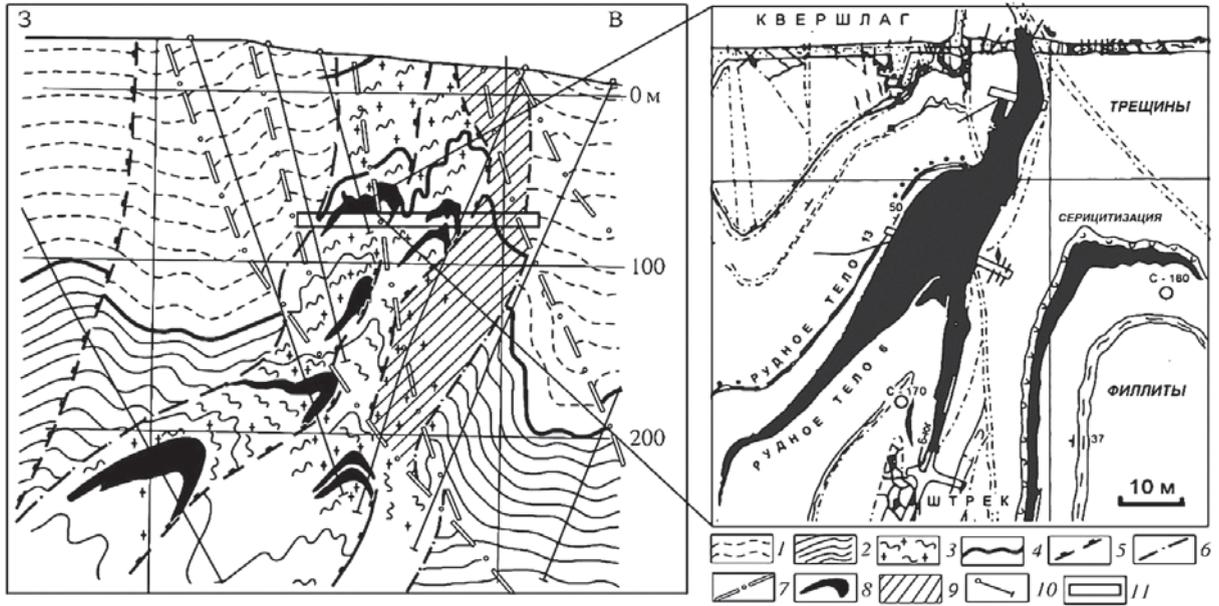


Рис. 7. Схематический геологический разрез в крест простирания рудных тел месторождения Совиное. На врезке проекция рудных тел 6 и 13 на план горизонта: 1 – известковистые песчаники, 2 – сланцы, 3 – рудовмещающая зона динамометаморфизма, 4 – литологическая граница, 5 – сбросо-сдвиги, 6 – надвига, 7 – сбросы, 8 – седловидные рудные тела, 9 – предполагаемый штокверк, 10 – скважины, 11 – квершлаг

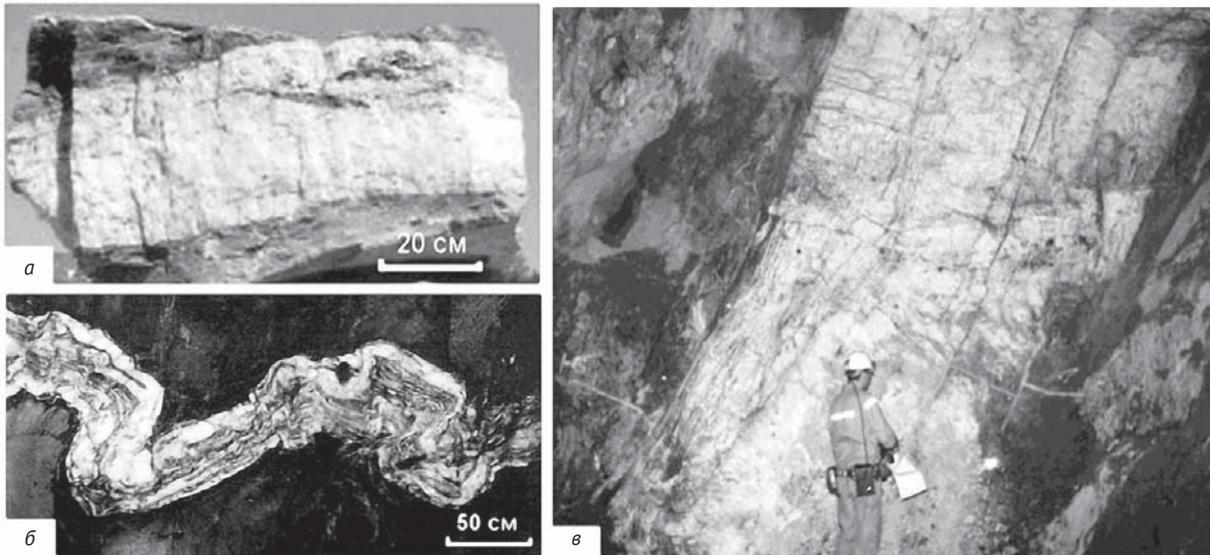


Рис. 8. Морфология и текстуры кварцевых жил ЗКМТ: а – стратиформная жила (Бендиго), сложенная массивным кварцем, б – седловидная жила (Бендиго), сложенная полосчатым (книжным) кварцем, в – жила Центральная, месторождение Магдала (зона Ставел)

стилолитовой) структурой, в то время как дискордантные жилы, как правило, массивного характера. Текстуры жил месторождения Бендиго — массивные, местами полосчатые и брекчиевые (рис. 8). Текстурные особенности руд месторождения Совиное, как и Бендиго, в значительной мере определяются широким проявлением следов катаклаза, раздавливания, прессования минеральных агрегатов.

Типичной для жил является текстура «книжный кварц» (см. рис. 8б). Эти текстурные особенности руд показывают, что кварцевые жилы месторождения, сформировавшиеся первоначально в достаточно спокойных тектонических условиях, затем испытали неоднократные и мощные деформации, связанные с тектоно-магматической активизацией территории.

Вещественный состав руд

Рудные тела ЗКМТ представлены исключительно кварцевыми жилами. В рудах кроме белого крупнозернистого кварца отмечены анкерит, кальцит и доломит, хлорит и фенгитовая слюда, альбит, апатит, рутил. Рудные минералы (основные и подчиненные): самородное золото, пирит, арсенопирит, пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, молибденит, висмут, антимонит, бурнонит и другие сульфосоли. Руды характеризуются низким содержанием сульфидов (менее 2,5%). Отложение золота произошло после сульфидов. В жилах преобладает крупное свободное золото с размером зерен от 0,1 до 2 мм в виде рассеянных изолированных образований или нитевидных включений в кварце. Небольшое количество (до 5%) тонкого (0,001—0,015 мм) золота заключено также в сульфидах. В рудах часто встречаются сростания крупных золотин с галенитом. Отмечалась также ассоциация золота с графитом. Содержание золота в рудах — 10—30 г/т. В рудных столбах содержание золота увеличивается на порядок и более по сравнению с межстолбовыми участками. Проба золота — 850—900 и более единиц. Анализ пирита и арсенопирита из вмещающих пород и жильных тел на золото и серебро свидетельствует об их постоянной и иногда достаточно высокой обогащенности главными полезными компонентами — золотом и серебром [5; 15].

Минералогия месторождения Совиное типична для ЗКМТ. Среди жильных минералов преобладает кварц, занимая не менее 80—85% объема жильной массы. Другие жильные минералы — кальцит, анкерит, серицит, углистое вещество — имеют явно подчиненное значение (табл. 2). Рудные минералы представлены главным образом простыми сульфидами. Второстепенное значение имеют сульфосоли меди, железа и свинца. Золото чаще всего встречается в ассоциации с галенитом, халькопиритом

и сульфосолями. Часто встречаются выделения углистого вещества овальной формы (рис. 9б). В рудах месторождения Совиное обнаружены редкие выделения сурьмяно-висмутовых сульфосолей в ассоциации с золотом (рис. 9а), типичные для месторождений золото-редкометалльной формации [5].

Околорудные метасоматиты. Преобладают карбонат-пирит-мусковитовые изменения, в околорудных ореолах широко представлены анкерит и кальцит, реже сидерит. Для ЗКМТ рудного района Бендигго-Балларат характерны пятнистая серицитизация и карбонатизация, сопровождающаяся порфириобластами пирита и арсенопирита [14]. Аналогичные околорудные изменения характерны и для месторождения Совиное [5].

Зона окисления. В неледниковых областях глубокое выветривание и аллювиальное обогащение приводят к формированию богатых россыпей, такие россыпи практически полностью отработаны во всех изучавшихся районах, в том числе Кульском и Дуэт-Бриндакитском.

Рудоконтролирующие факторы

Установлен отчетливый структурный контроль золото-кварцевых жил замками складок (седловидные и корытообразные тела) и разломной тектоники. В некоторых районах формирование жил ограничивается конкретным стратиграфическим интервалом и часто связано с изменением литологии. В районе Мегума локальный стратиграфический контроль связан с верхними (пелитовыми) частями отдельных циклов Боума, а региональный — с верхней частью разреза турбидитов [21]. В районе Бендигго существует взаимосвязь между рудой и обилием графита в околорудных вмещающих породах [22]. На месторождении Совиное рудные тела приурочены к средней флишевой пачке в толще турбидитов [5].

Таблица 2. Вещественный состав руд месторождения Совиное

Этап	Группы минералов	Главные	Второстепенные	Редкие
Метаморфогенный	Жильные	Кварц-1	Углистое вещество, мусковит, кальцит -1	Турмалин, циркон, рутил, ильменит, графит (?)
	Рудные	Пирит-1	Арсенопирит-1	
Магматогенный гидротермальный	Жильные	Кварц-2	Кварц-3, кварц-4, кальцит-2, кальцит-3, углистое вещество, анкерит-1, анкерит-2	Полевой шпат, серицит
	Рудные	Пирит-2, арсенопирит-2	Халькопирит, галенит, сфалерит, тетраэдрит, бурнонит, изоклейкит, Ви-менегенит, марказит	Пирротин, анатит, золото-1, золото-2
Гипергенный	Рудные	Гидроокислы железа	Гематит	

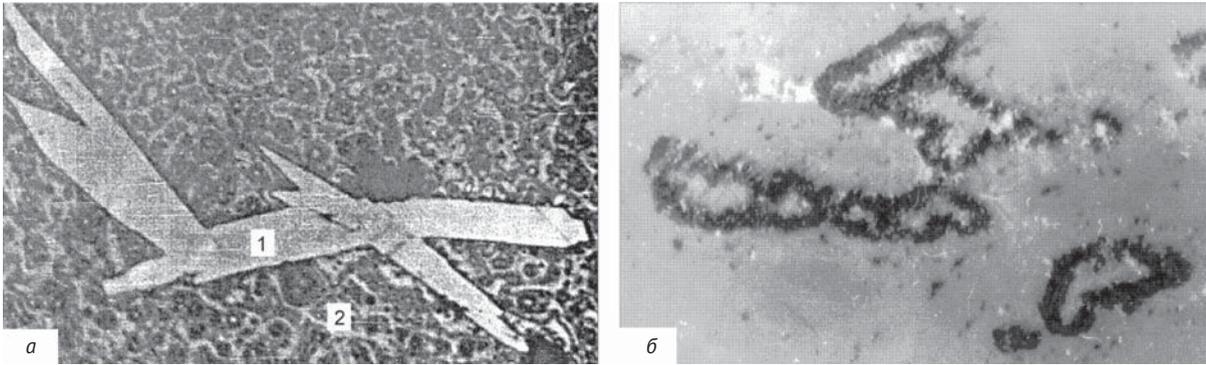


Рис. 9. Минералогические особенности руд месторождения Совиное: а – выделение Sb-Bi-сульфоселей – изоклейкита и Bi-содержащего менегенита (1) в галените (2), протравленном HCl, аншлиф, увеличение 600, без анализатора; б – агрегаты зерен пирита (мелкие светлые выделения) в матрице кварца, замещенные углистым веществом и гематитом, образующие оволообразные структуры, аншлиф, увеличение 210, без анализатора

Генетические особенности

Изучение стабильных изотопов на месторождении Бендиго показало, что $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах варьирует от 0 до $+2\pm 5\%$, значение изотопов C в карбонатах находится в отрицательной области от -3% до -10% , а изотопы свинца имеют коровые характеристики [20]. Значение $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах вмещающих пород месторождения Ньюкембрий варьирует от $-16,9\%$ до $-18,5\%$ в 60 м от жил до $-3,5\text{—}2,3\%$ в жилах, что показывает различные источники серы в рудах и вмещающих породах. По изотопным данным флюидов ($\delta^{18}\text{O}$: $5\text{—}10\%$; δD : от -65% до -50%) руды имеют метаморфическую или, возможно, магматическую природу [16]. Для флюидов характерна низкая соленость менее 5 мас. % NaCl экв., температура гомогенизации в среднем 250°C ($\pm 50^\circ$) и давление 1,5 кбар.

Величина $\delta^{34}\text{S}$ в диагенетическом пирите вмещающих пород месторождения Совиное варьирует от $-23,36\%$ до $-33,0\%$, а в метакристаллах пирита и арсенопирита — от $-19,45\%$ до $-24,17\%$. Изотопный состав серы сульфидов из золотоносных кварцевых жил располагается в области от $+3,94\%$ до $-5,64\%$. Следовательно, источниками серы могли служить глубинный магматический очаг и сульфиды вмещающих пород [19]. Состав изотопов углерода в карбонатах жил находится в пределах от $-10,11\%$ до $-16,33\%$, средняя величина составляет $-12,36\%$. Свинцово-изотопные данные указывают на нижне-верхнекоровые источники рудного вещества [5].

По данным изучения флюидных включений [5; 9] кварцевые жилы и штокверки месторождения Совиное формировались в условиях средних температур (в интервале $368\text{—}150^\circ\text{C}$) в несколько стадий (этапов) из слабоконцентрированных гидротерм (от 11,9 до 0,35, среднее — 4,04 мас. % NaCl экв.), насыщенных ионами Na, Cl, Mg, Fe. Давление в системе на гидротермальном этапе в ранние его фазы достигало 350 бар. Ко времени отложения золота давление

снижалось до 120—80 бар. Во всех пробах в смеси газов преобладают $\text{CH}_4 + \text{CO}_2$ и H_2O .

Изотопные и термобарогеохимические данные подтверждают разработанную метаморфогенно-магматогенную модель формирования месторождения [6].

Генетическая модель

Существуют три теоретические генетические модели ЗКМТ. В первой образование золото-кварцевых жил связывается с гидротермальными магматическими, а во второй — с метаморфогенными флюидами, третья модель объединяет первые две. Большинство современных исследователей развивают метаморфогенно-деформационную модель и интерпретируют пластинчатые текстуры кварцевых жил как штамповые события. Пластинчатость считается первичной, унаследованной от рассланцованных вмещающих пород. Структурные взаимоотношения в районах Мегума и Бендиго показывают, что жилы формировались до начала основных деформаций или одновременно с ним и были динамометаморфизованы во время становления молодых гранитных батолитов. Поздние деформационные прожилки, как правило, не золотоносны. Недавно метаморфогенная модель получила развитие в работе Булла и Ларжа [15], которые показали, что обогащение золотом диагенетического пирита в черносланцевых фациях ордовикских турбидитов в районе Бендиго — первый этап в двухэтапном процессе формирования месторождения мирового класса. Второй, поздний этап связан с такими процессами обогащения, как зеленосланцевые деформации или внедрение интрузий гранитов, освободивших золото из сланцев и концентрировавших его в благоприятных структурных ловушках.

В результате изучения месторождения Совиное выдвинута метаморфогенно-магматогенная модель рудообразования [6], которая выглядит следующим образом. Золотоносность осадочных толщ района

обусловлена зонами тонкорассеянной сульфидной минерализации. Подобные зоны широко развиты в Чукотских и Яно-Колымских террейнах северо-востока России [4]. Установлена неравномерная локальная обогащенность тонкорассеянных сульфидов зон Au, Ag, Pb, Sn, Zn, Sb и другими элементами [4]. Такой рудный материал представляет собой потенциально эффективный промежуточный источник вещества для ЗКМТ. Золотое оруденение месторождения Совиное явилось следствием регенерации золота из зон сульфидизации в результате метаморфогенных процессов и тектономагматической активизации. Выдвинутую концепцию подтверждает тот факт, что суммарные запасы золота (как россыпного, так и рудного) в Куульском районе контролируются толщей нижнего карбона, обогащенной углистым веществом, известковистым материалом и пиритом (до 5%).

Таким образом, минералообразование на месторождении Совиное протекало в два этапа — метаморфогенный и магматогенный. С первым связано возникновение прожилково-вкрапленной принципиально золотоносной кварц-пиритовой с арсенопиритом ассоциации, со вторым — формирование постмагматических гидротермальных минеральных ассоциаций, локализованных в жилах секущего типа и в зонах дробления: допродуктивной кварц-пирит-арсенопиритовой, продуктивной кварц-галенит-сфалерит-сульфосольной с золотом и послепродуктивной кварц-карбонат-марказитовой с переотложенным золотом второй генерации.

Поисковые критерии

Геохимические. В целом ЗКМТ сильно обогащены Si, Fe, S, B, Au и Ag, умеренно — Cu, Mg, Ca, Zn, Cd, Pb, Sb, W и Mn и низко — Hg, V, Li, Bi, Se, Te, Mo, F, Co и Ni. Для месторождения Совиное характерен бедный спектр элементов-индикаторов: Au, Ag, As, W, Pb и слабые аномалии Sn, Mo, Ba, Cu, Zn, Mn. Заметной вертикальной и латеральной зональности в распространении элементов индикаторов не установлено. Золоторудные тела характеризуются дифференцированными аномалиями Au и As и менее контрастными Ag и W, что является типоморфным для метаморфогенных золото-кварцевых месторождений [1]. Максимальные содержания элементов халькофильной группы (Pb, As, Cu, Ag, Zn) наблюдаются на северном и центральном участках месторождения, W — на южном фланге, Sn — на северном фланге. Фланги месторождения характеризуются заметным снижением содержания всех элементов.

Геофизические методы неэффективны как прямые поисковые инструменты в связи с низким содержанием сульфидов в большинстве кварцевых жил. Тем не менее аэро- и наземная электромагнитная и магнитная съемка и индуцированная поляризация могут быть полезны для выявления месторождений, ассоциирующих железистыми образованиями, массивными сульфидами или графитом.

Геологические поисковые методы, позволяющие проследить минерализацию непосредственно в коренных породах, в делювиальных или в ледниковых осыпях, остаются наиболее эффективными. Области, где ранее добывалось золото из россыпей, наиболее перспективны для проведения поисков ЗКМТ. Результаты структурного анализа рудного поля позволяют наметить основные генетические типы рудовмещающих структур и их положение в пространстве: межпластовые кварцевые (с карбонатом) залежи в полостях отслоения в замках складок, аналогичные по составу жилы в продольных и поперечных по отношению к направлению основной складчатости разрывных нарушениях и прожилково-штокверковые зоны с вкрапленной рудной минерализацией.

Сателлитные месторождения представлены крупными россыпями (в районе Бендигго-Балларат), золотоносными джаспероидами. Сравнительно недавно в районе Бендигго выявлены рудные зоны с золото-сульфидным вкрапленным оруденением — месторождение Форстевил и ряд рудопроявлений, приуроченных к зонам крупных разломов [17]. Подобные месторождения вполне вероятны в пределах Куульского района. В Куульском и Куларском районах было добыто более 350 и 150 т россыпного золота соответственно [11; 13]. Отличительные признаки ЗКМТ сведены в табл. 3.

Перспективные районы на открытие ЗКМТ

В северо-восточной части Арктической зоны России турбидитные толщи развиты достаточно широко в пределах Яно-Колымского и Чукотского складчатых поясов (см. рис. 1). Турбидитами сложена и значительная территория острова Врангеля. Кроме северо-востока России турбидиты широко развиты на севере полуострова Таймыр и на архипелаге Северная Земля. В Куульском и Куларском рудных районах установлены прямые признаки ЗКМТ — крупные россыпи золота. Наличие россыпей золота установлено на севере Таймыра, островах архипелага Северная Земля и предполагается на острове Врангеля [2; 11]. В Куульском районе открыто несколько перспективных месторождений и рудопроявлений (Совиное, Дор, Кусьвеевское, Ураганное, Сквозное и др.). Главными препятствиями для проведения геолого-разведочных работ (ГРП) в перечисленных районах служат крайне суровый климат, удаленность регионов и практически полное отсутствие инфраструктуры. Большая часть рудных районов слабо обнажена, поэтому практически не изучена в геологическом плане. Только открытие достаточно крупных (более 50 т) и уникально богатых (более 20 г/т) месторождений ЗКМТ послужит толчком к развитию этих районов Арктической зоны России. Убедительным примером возможности такого сценария служит развитие ГРП на золото в Гренландии, Северной Канаде и Западной Чукотке [2].

Таблица 3. Отличительные признаки ЗКМТ

Критерий	Отличительные признаки ЗКМТ
Вмещающие породы	Карбонатно-терригенная грауванковая толща
Магматические породы	Редкие или отсутствуют
Возраст магматических пород	Архей-эоцен
Степень метаморфизма	Зеленосланцевый-амфиболитовый
Околорудные изменения	Кварц, серицит, карбонат ± турмалин
Площадные изменения	Анкерит-сидеритовые ореолы
Роль углистого вещества	Присутствует, значение не установлено
Текстуры/структуры руд	Брекчиевая, массивная, «книжный» кварц
Размер и пробность золота в россыпях	От самородков до тонкого золота, в среднем 820—850 Au, встречается электрум
Пробность рудного золота	Обычно > 900 Au
Золото-серебряное отношение	Обычно > 5:1
Содержание сульфидов	В среднем 2,5%
Основные сульфиды	Pu >> aspu >> po >> cpy
Второстепенные сульфиды	Gal-spl-mo-bis-stib-sulphosalts
Мышьяковая минерализация	Распространена
Медная минерализация	Спорадическая
Ртутная минерализация	Редкая или отсутствует
Флюиды	5% CO ₂ , низкосолёные
Изотопы серы	Варьируют в широком диапазоне
Температура и давление	220—600°C, 0,5—4,5 кб
Возраст оруденения	Архей-эоцен
Геодинамическая обстановка	Континентальная окраина/задуговой бассейн
Морфология рудных тел	Параллельные жилы, минерализованные зоны смятия, седловидные тела
Тектонический контроль	Региональные и второстепенные разломы
Структурный контроль	Замки складок, сложные складчатые деформации
Проницаемость пород	Переменная
Крутопадающие разломы	Обычно взбросы
Пологопадающие разломы	Обычно второстепенные
Надвиги	Значимы на некоторых месторождениях
Глубина формирования	1,5—13,5 км
Геофизические методы (магнитная и электромагнитная съёмка)	Не диагностируются
Геофизические методы — радиометрия	Не диагностируются
Геофизические методы — гравиметрия	Не диагностируются
Золотодобыча	> 1500 т
Запасы и ресурсы	От 3 до > 5440 т
Среднее содержание	От 3 до > 30 г/т

Заключение

Сравнительный анализ показывает не только заметное сходство, но и ряд различий в строении ЗКМТ, что может быть связано с недостаточной изученностью ряда объектов, а также с тем, что геологическое изучение многих из них проводилось достаточно односторонне, главным образом в процессе эксплуатации, пик которой пришелся на XIX в., и многие важные факторы могли остаться незамеченными. По ряду особенностей месторождение Совиное обращает на себя внимание как потенциально крупный и уникальный объект. Совиное резко выделяется среди известных золото-кварцевых месторождений северо-востока России значительным размахом оруденения по простиранию и на глубину и соответствующими запасами золота не только в рудах, но и в обрамляющих его россыпях. Уникальные металлогенические провинции, такие как Яно-Колымский и Чукотский складчатые пояса в северо-восточной части Арктической зоны России, наиболее перспективны для поисков ЗКМТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации».

Литература

1. Буряк В. А. *Метаморфизм и рудообразование*. — М.: Недра, 1982. — 255 с.
2. Бортников Н. С., Лобанов К. В., Волков А. В. и др. Арктические ресурсы золота в глобальной перспективе // *Арктика: экология и экономика*. — 2014. — № 4 (16). — С. 28—37.
3. Волков А. В., Воронин И. А. Золото-кварцевое оруденение Куульской антиклинальной зоны Северной Чукотки // *Колыма*. — 1993. — № 1. — С. 9—15.
4. Волков А. В., Сидоров А. А., Савва Н. Е. и др. Зоны тонкорассеянной сульфидной минерализации Северо-Востока России — эффективные источники вещества рудных месторождений // *Тихоокеанский Рудный Пояс: материалы новых исследований: К 100-летию Е. А. Радкевич / Гл. ред. А. И. Ханчук*. — Владивосток: Дальнаука, 2008. — С. 36—51.
5. Гончаров В. И., Волков А. В. Геология и генезис золоторудного месторождения Совиное (Северная Чукотка). — Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2000. — 220 с.
6. Гончаров В. И., Волков А. В. О метаморфогенно-магматогенном рудообразовании на золото-кварцевом месторождении Совиное (Северная Чукотка) // *Докл. Академии наук*. — 2005. — № 3 (404). — С. 374—379.
7. Гончаров В. И., Ващилов Ю. Я., Сидоров А. А. и др. Глубинное строение крупных благороднометалльных месторождений Северо-Востока Азии // *Крупные и суперкрупные месторождения: закономерности размещения и условия образования*. — М.: ИГЕМ РАН, 2005. — С. 69—95.
8. Золоторудные месторождения России / Отв. ред. М. М. Константинов. — М.: Акварель, 2010. — 371 с.
9. Колова Е. Е., Волков А. В., Прокофьев В. Ю. и др. Особенности рудообразования на золото-кварцевом месторождении Совиное (Северная Чукотка) // *Докл. Академии наук*. — 2014. — № 5 (454). — С. 585—588.
10. Константинов М. М. Золото в осадочных формациях. — М.: Мэйлер, 2009. — 210 с.
11. Лаломов А. В., Бочнева А. А., Чефранов Р. М. и др. Россыпные месторождения Арктической зоны России: современное состояние и пути развития минерально-сырьевой базы // *Арктика: экология и экономика*. — 2015. — № 2 (18). — С. 66—77.
12. Маркевич П. В. «Турбидиты» и «флиш» без пояснений — опасные термины // *Вестн. ДВО РАН*. — 2004. — № 4. — С. 95—105.
13. Сидоров А. А., Волков А. В. Освоение ресурсных регионов (на примере Аляски и Чукотского АО) // *Вестн. РАН*. — 2008. — № 10 (78). — С. 867—874.
14. Bierlein F. P., Arne D. C., McKnight S. et al. Wall-rock petrology and geochemistry in alteration haloes associated with mesothermal gold mineralization, central Victoria, Australia // *Economic Geology*. — 2000. — Vol. 95. — P. 283—312.
15. Bull S. W., Large R. R. Setting the stage for the genesis of the giant Bendigo ore system // *Geological Society, London, Special Publications*. — 2015. — № 1 (393). — P. 161—187.
16. Gao Z. L., Kwak T. A. P. Turbidite-Hosted Gold Deposits in the Bendigo-Ballararat and Melbourne Zones, Australia. — I: Geology, Mineralization, Stable Isotopes, and Implications for Exploration // *Intern. Geology Rev.* — 1995. — № 10. — P. 910—944.
17. McInnes B. Australasia. Exploration Reviews // *SEG Newsletter*. — 2004. — № 59. — P. 33—34.
18. McMillan R. H. Turbidite-hosted Au Veins // *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles*. — Vol. 2: Metallic Deposits / D. V. Lefebure and T. Höy (ed.); British Columbia Ministry of Employment and Investment. — [S. l.], 1996. — P. 59—62. — (Open File 1996-13).
19. Nielsen J. Sulfur isotopes // *Lecture in Isotope Geology*. — Berlin: Springer Verl., 1979. — P. 283—312.
20. Phillips G. N., Hughes M. J. Victorian gold deposits // *AGSO J. of Australian Geology & Geophysics*. — 1998. — № 4 (17). — P. 213—216.
21. Sangster A. L., Smith P. K. Metallogenetic summary of the Meguma gold deposits, Nova Scotia // *Mineral Deposits of Canada: a synthesis of major deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and exploration methods / W. D. Goodfellow (ed.); Geological Association of Canada. Mineral Deposits Division*. — [S. l.], 2007. — P. 723—732. — (Special Publication № 5).
22. Sharpe E. N., Mac'Geehan P. J. Bendigo Gold-field // *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea*. — Vol. 2 / Ed. F. E. Hughes. — [S. l.], 1990. — P. 1287—1296.