

НОВЫЙ ТИП ЗОЛОТОРУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ НА ЕНИСЕЙСКОМ КРЯЖЕ

Р. Х. Мансуров

Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт цветных и благородных металлов, Москва, Россия

На восточном склоне Енисейского кряжа открыто новое рудопроявление коренного золота Южное. Оно приурочено к зоне оперяющих разрывов Ишимбинской системы глубинных разломов и локализовано в углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложениях свит аладынской и карточки среднего рифея. Золотоносная минерализованная зона рудопроявления представляет собой крупнообъемную согласно залегающую залежь с рассеянной вкрапленной сульфидной минерализацией. Проведено сравнение рудопроявления Южное с эталонными золоторудными объектами Енисейского кряжа. Показано, что ближайший их аналог – бедные руды Олимпиадинского месторождения.

Ключевые слова: Енисейский кряж, золоторудные месторождения, рудопроявление Южное.

NEW TYPE OF GOLD ORE MINERALIZATION WITHIN THE YENISEY RIDGE

R. Kh. Mansurov

Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, Moscow, Russia

On the eastern slope of the Yenisey Ridge the new ore occurrence of the vein gold Yuzhnoe was discovered. It is confined to the zone of feathering failures of the Ishimba system of deep faults and localized in coal-bearing terrigenous-carbonate deposits of the Middle Riphean Alad'ino and Kartochki Formations. The gold-containing mineralized zone of ore occurrence is a large-volume conformable deposit with disseminated impregnated sulphide mineralization. The comparison of the Yuzhnoe ore occurrence with the prototype gold ore objects of the Yenisey Ridge is carried out. It is shown that their closest analogue is poor ores of the Olimpiadinskoe deposit.

Keywords: Yenisey Ridge, gold-ore deposits, Yuzhnoe ore occurrence.

DOI 10.20403/2078-0575-2018-1-99-109

Среди известных золоторудных месторождений Енисейского кряжа выделяются три главных геолого-промышленных типа: 1) золотосульфидные (Олимпиадинское, Ведугинское, Удережское); 2) золотокварцевые (Советское и др.); 3) золотосульфидно-кварцевые (Благодатное, Эльдорадо, Аяхтинское) [2, 3, 5, 11, 13, 14]. Последние два часто относят к золотокварцевому типу, однако в настоящее время межжильное относительно слабозолотоносное пространство этих месторождений, содержащее прожилково-вкрапленную минерализацию, включается в контур промышленных руд [13].

Цель работы – сопоставление указанных эталонных месторождений Енисейского с недавно выявленным при поисковых работах ЦНИГРИ рудопроявлением Южное [12], а также обоснование возможности отнесения подобных объектов к специфической группе крупнообъемных месторождений золота.

Для «крупнотоннажных» или «крупнообъемных» месторождений золота выделяются следующие основные характерные параметры: а) большие объемы и запасы руды, б) невысокие средние содержания золота (как правило, около 0,3–1,5 г/т, редко более). Возможность их рентабельной карьерной отработки зависит от геолого-экономической ситуации и ряда других факторов (административно-географическое положение, наличие развитой инфраструктуры, транспортное сообщение и др.). Кроме того, к основным параметрам

крупнообъемного золотого оруденения относится морфология рудных тел (линейно-изометричные штокверковые или штокверкоподобные минерализованные зоны и залежи) и глубина их залегания (не более 300 м) [7].

Характеристика рудопроявления Южное

Рудопроявление Южное расположено в пределах Нижнечиримбинского золоторудно-россыпного узла Северо-Енисейского рудного района и контролируется зоной Ишимбинского регионального разлома (рис. 1). Главная отличительная особенность рудопроявления – его локализация в верхней части разреза углеродсодержащих терригенно-карбонатных отложений сухопитской серии среднего рифея (свиты аладынская и карточка (R_{2al+kr})). В структурном плане рудопроявление приурочено к рудоконтролирующей зоне расланцевания, представляющей собой вытянутую в субмеридиональном (северо-северо-западном) направлении зону протяженностью более 4 км и шириной около 1,5 км (рис. 2). Зона характеризуется интенсивной тектонической проработкой, смятием, интенсивным расланцеванием, кливажем, а также мелкой складчатостью высоких порядков и флексурными перегибами. Структурная позиция зоны определяется ее локализацией в области динамического влияния Ишимбинской системы глубинных рудоконтролирующих разломов (в 6 км восточнее системы) в узле пересечения разрывных нарушений двух основных направлений:

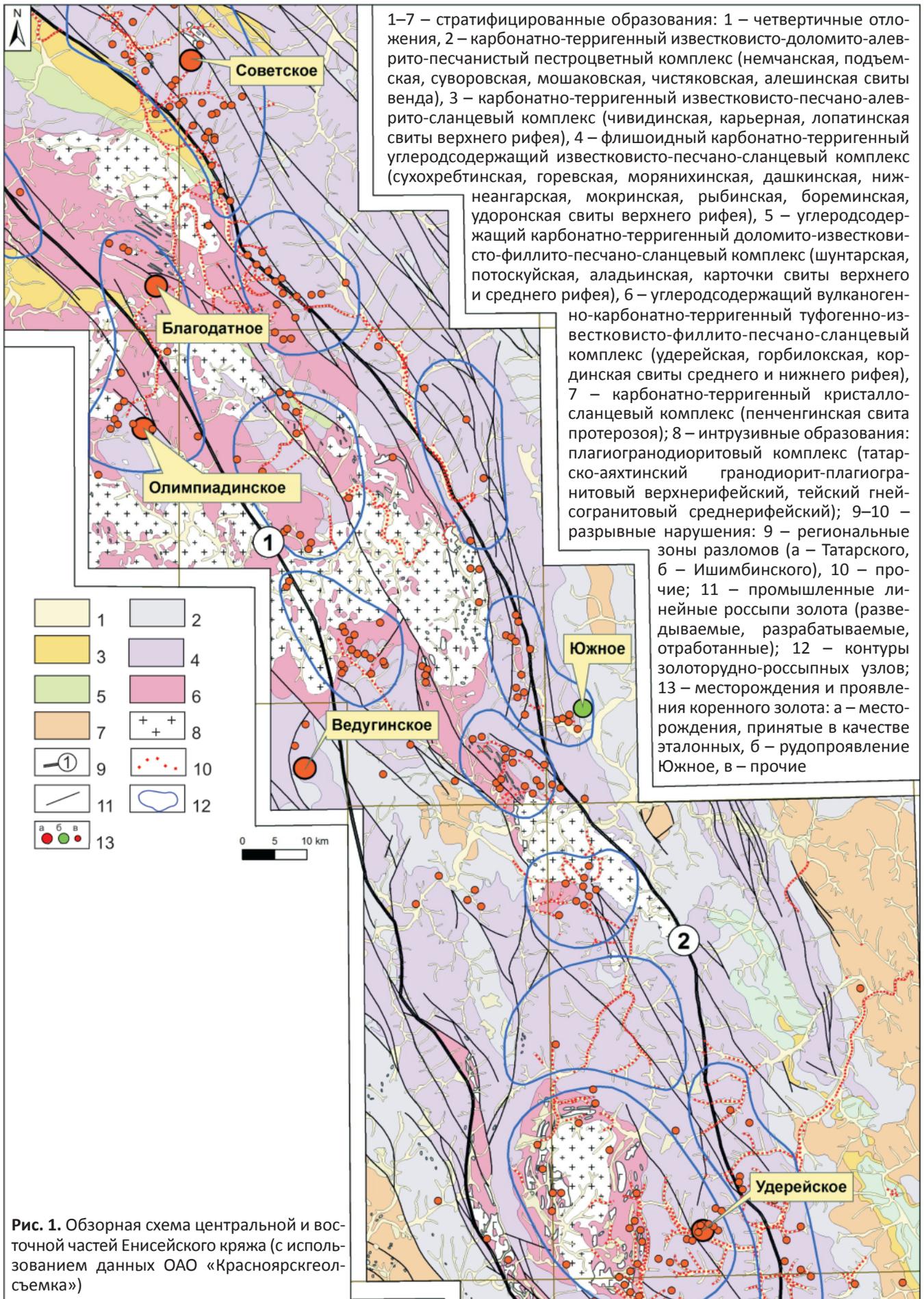


Рис. 1. Обзорная схема центральной и восточной частей Енисейского кряжа (с использованием данных ОАО «Красноярскгеолсъемка»)

1) северо-северо-западного – разрывы, сонаправленные с Ишимбинской системой разломов; 2) диагонального северо-восточного – вероятно, пострудные осложняющие нарушения. Узел пересечения разрывов приурочен к пологопадающему (30–40°) восточному крылу антиклинальной складки первого порядка – Певунской горст-антиклинали.

Вмещающими золотоносную минерализованную зону рудопроявления являются углеродсодержащие терригенно-карбонатные отложения свит аладынской и карточки объединенных, представленные известняками, мраморизованными известняками, известковистыми доломитами с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев кварц-кальцит-серицитового состава. Содержание углеродистого вещества незначительно (не более 0,5 %).

Рудопроявление расположено в зоне развития хлорит-серицитовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. На рассматриваемой территории интрузивные образования отсутствуют.

Гидротермально-метасоматические изменения выражены главным образом в широко проявленной в пределах всей зоны складчато-разрывных деформаций железомagneзиальной карбонатизации, максимальная интенсивность которой наблюдается в пределах рудопроявления.

По данным опробования горных выработок минерализованная зона в первичных ореолах определяется по концентрациям золота более 0,3 г/т, средняя ее мощность около 200 м. Зона представляет собой согласную залежь рассеянной сульфидной вкрапленности. Содержание сульфидов, на 99 % представленных мышьяковистым пиритом с тонкодисперсным золотом, составляет около 3–5 %. Минерализованная зона четко выражена в слабо-контрастной аномалии золота во вторичных ореолах рассеяния (рис. 3). Примечательно, что с ней сопряжено аномальное поле марганца, вероятно, связанное с широко проявленной железомagneзиальной карбонатизацией.

В пределах минерализованной зоны выявлены эпицентры повышенных концентраций золота (более 1,0 г/т) мощностью первые десятки метров, отвечающие потенциально рудным зонам. Последние характеризуются увеличением количества сульфидов до 8–10 %, а также присутствием кварцевых секущих жильно-прожилковых образований, распространенных весьма неравномерно. Содержания золота в потенциально рудных зонах по данным пробирного анализа в отдельных бороздовых пробах достигают 6,5 г/т.

Особенность золотоносной сульфидной минерализации рудопроявления Южное – аномальное обогащение пирита тяжелым изотопом серы ($\delta^{34}\text{S} = +14,0...+17,0 \text{ ‰}$ – в золотоносной минерализованной зоне и $\delta^{34}\text{S} = +17,0...+19,0 \text{ ‰}$ – в околорудном ореоле). Карбонаты рудо вмещающей толщи от-

носительно обогащены тяжелыми изотопами углерода ($\delta^{13}\text{C}$ от –2,5 до 0 ‰) и кислорода ($\delta^{18}\text{O}$ от 16,5 до 20 ‰), что в целом характерно для карбонатов осадочного и гидротермально-осадочного происхождения [12].

Характерные особенности эталонных месторождений

Месторождения золото кварцевого типа (в качестве их эталонного объекта автор рассматривает Советское) характеризуются наличием секущих золотоносных жильных и жильно-прожилковых систем. Золото, как правило, находится в свободной форме, а его количество не зависит от степени проявления сульфидной минерализации.

Советское золото кварцевое месторождение приурочено к ядерной части антиклинали северо-западного простирания. Важную роль в его строении играют продольные нарушения, выраженные зонами рассланцевания [7]. Рудовмещающими являются отложения нижней подсвиты удерейской свиты среднего рифея, представленные углеродистыми филлитами и филлитовидными глинистыми и алевроито-глинистыми сланцами.

Характерная особенность месторождения – наличие серии сближенных, сливающихся и ветвящихся жил, прожилков и сложных линз. Рудные тела состоят из кварцевых жил и прожилков, образующих залежи сложной морфологии с разделяющими их вмещающими породами. Количество кварца в рудных телах составляет в среднем 40 %, а количество сульфидов, как правило, не превышает 1 %. Пирит составляет около 80 % сульфидных минералов, в подчиненном количестве содержатся пирротин и арсенопирит. Среди жильных зон обособляется мощная центральная часть с существенно арсенопиритовой минерализацией; к флангам «тяготеет» рассеянная вкрапленность мелкокубического пирита [7]. Основное количество сульфидов приурочено непосредственно к кварцевым жилам и прожилкам; сульфидизация, как правило, проявлена в приконтактных частях жильно-прожилковых образований или вблизи реликтов вмещающих пород в кварце.

Золотое оруденение Советского месторождения сформировано в несколько этапов. Ранний этап (890–850 млн лет) отвечает времени проявления метаморфизма и, вероятно, связан со становлением тейского гранитоидного комплекса. Второй (820 млн лет) и третий (775 млн лет) этапы отвечают времени формирования золото кварцевого оруденения: второй соответствует формированию надвиговых структур и проявлению повторного метаморфизма, а третий близок к времени формирования гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса [14]. Приведенные данные указывают на большой временной интервал рудообразования. Температуры формирования золото кварцевых руд заключены в интервале 330–220 °C [8].

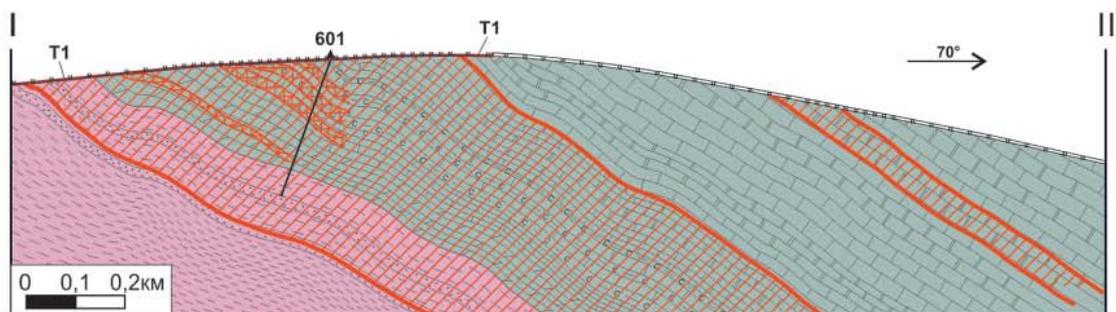
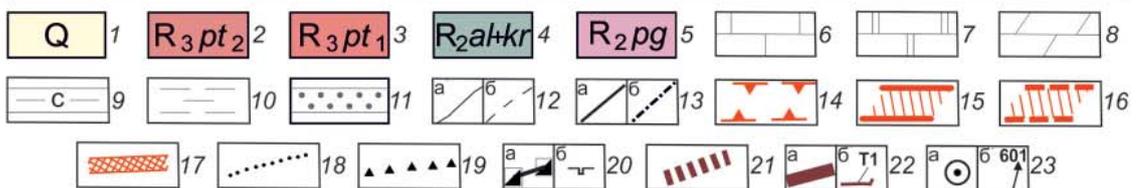
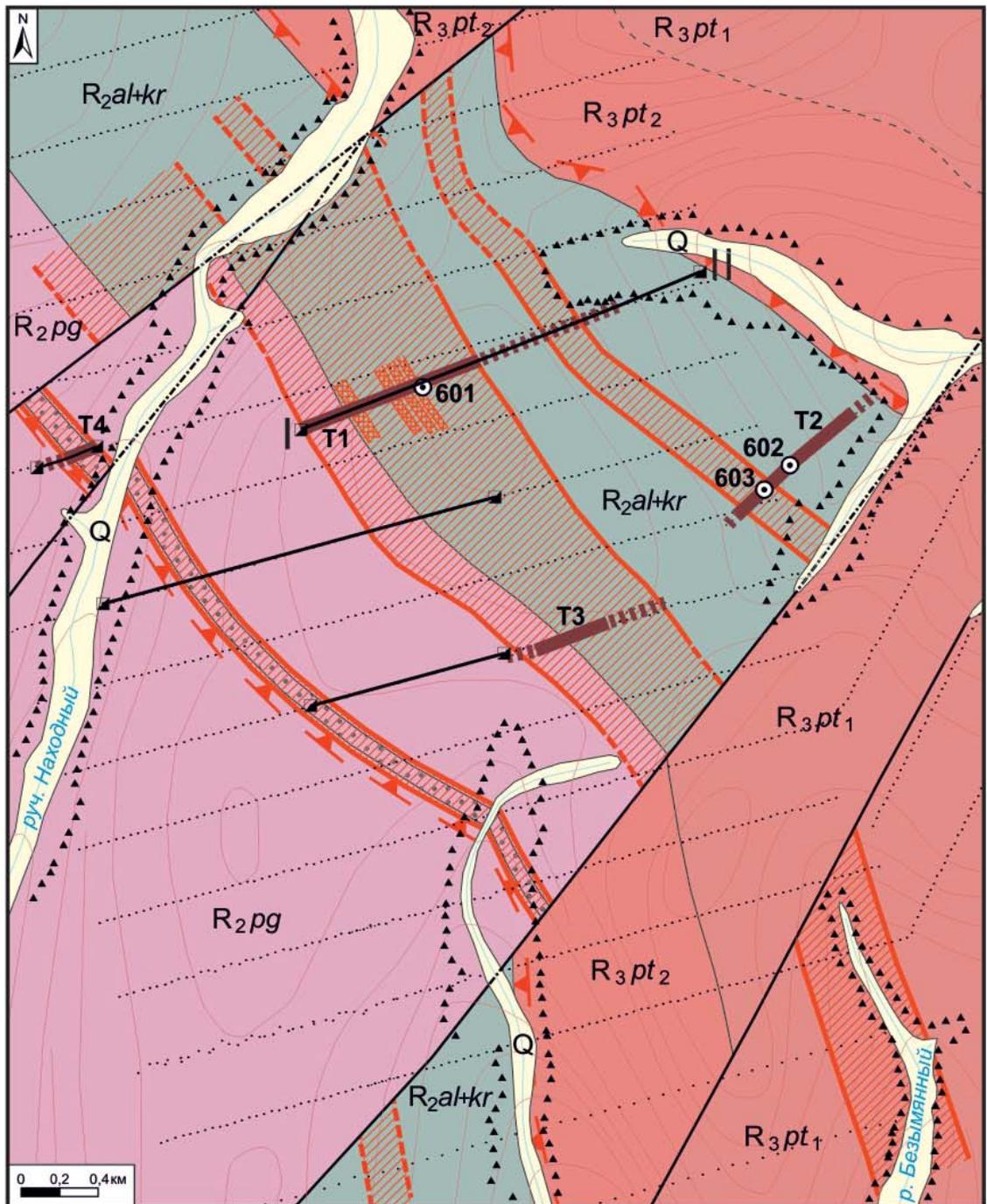




Рис. 2. Геологическая схема рудопоявления Южное и геологический разрез

1 – четвертичные рыхлые отложения; 2–5 – углеродистые карбонатно-терригенные отложения рифея: 2–3 – тунгусская серия, потоскуйская свита: 2 – верхняя подсвита (глинистые сланцы с прослоями известняков), 3 – нижняя подсвита (алевроито-глинистые сланцы с прослоями известняков и доломитов); 4–5 – сухопитская серия: 4 – свиты аладьинская и карточки объединенные (известняки участками мраморизованные, известковистые доломиты с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев), 5 – погорюйская свита (алевроито-глинистые сланцы); 6–11 – литологические обозначения (на разрезе): 6 – известняки, 7 – мраморизованные известняки, 8 – известковистые доломиты, 9 – углеродсодержащие известковисто-глинистые сланцы, 10 – алеврито-глинистые сланцы, 11 – кварцитовидные песчаники с прослоями кварцитов; 12 – геологические границы: а – установленные, б – предполагаемые; 13 – разломы: а – установленные, б – предполагаемые; 14 – рудоконтролирующая зона расланцевания (на плане); 15–16 – золотоносные минерализованные зоны: 15 – установленные, 16 – предполагаемые; 17 – потенциально рудные зоны; 18 – точки литохимического опробования по ВОР; 19–23 – горные выработки: 19 – копуши глубиной 0,8–1,0 м, 20 – шурфы: а – на плане, б – на разрезе, 21 – бульдозерные расчистки глубиной 1 м, 22 – бульдозерные траншеи, пройденные до коренных пород: а – на плане, б – на разрезе, 23 – скважины: а – на плане, б – на разрезе

Месторождения золото-сульфидно-кварцевого типа (в качестве эталонного объекта автор выделяет Благодатное) характеризуются совмещением жильно-прожилкового и прожилково-вкрапленного оруденения с образованием крупнообъемных штокверковых рудных тел с относительно равномерным содержанием золота в их пределах.

Месторождение Благодатное приурочено к юго-западному крылу Панимбинского антиклинория и представляет собой линейно-изометричную северо-западного простирания и северо-восточного падения субпластовую (падение 50–80° в северо-восточных румбах) линзовидную крупнообъемную минерализованную зону, образованную сочетанием жильно-прожилковой и прожилково-вкрапленной минерализации [2, 17]. Вмещающие породы представлены гидротермально измененными кварц-слюдистыми сланцами кординской свиты нижнего рифея.

Руды месторождения малосульфидные монометалльные, прожилково-вкрапленные. Содержание сульфидов в рудах не превышает 3,0 %, преобладают арсенопирит, пирротин, пирит, реже встречаются халькопирит, галенит, сфалерит, марказит, леллингит и др. [2].

В образовании месторождения Благодатное выделяется несколько этапов. Ранний этап связан с формированием сульфидной минерализации. Температурный режим разными авторами оценивается интервалом 650–320 °С [7, 17]. Затем формируются кварцево-жильно-прожилковые образования – 400–240 °С. Возраст этих двух этапов оценивается в 750–698 млн лет. Третий этап заключается в образовании кварц-карбонатных прожилков с золото-сульфидно-полиметаллической минерализацией при температурах 390–210 °С. Возраст этого этапа оценивается в 368–364 млн лет [7, 17].

Месторождения золотосульфидного типа представлены такими крупными объектами, как Олимпиадинское, Ведугинское, Удерейское. Они обладают рядом специфических особенностей: золотосульфидный (прожилково)-вкрапленный характер руд, большие объемы и запасы руд и металла, отсутствие четко выраженной околорудной гидротермально-метасоматической зональности. При этом

названные золотосульфидные месторождения, объединяемые в одну группу, имеют ряд собственных отличительных признаков.

Хорошо изученное [11, 13–15] Олимпиадинское месторождение большинством исследователей отнесено к золото-мышьяковисто-сульфидному типу, поскольку главным рудным минералом первичных руд является арсенопирит, включающий тонкодисперсное золото. Рудовмещающая толща характеризуется существенно карбонатным составом и представлена отложениями кординской свиты (R_1kd), залегающей в основании сухопитской серии нижнего рифея. Породы метаморфизованы в условиях биотитовой ступени зеленосланцевой фации регионального метаморфизма, возрастающего до эпидот-амфиболитовой фации вблизи

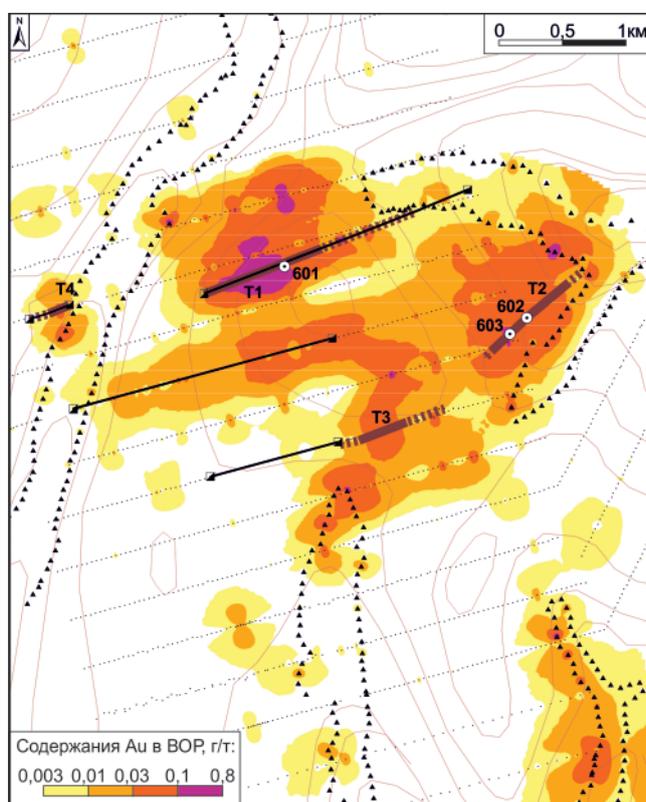


Рис. 3. Карта результатов литохимического опробования по вторичным ореолам рассеяния

Усл. обозн. см. на рис. 2

интрузивного массива [15]. Толща сложена кварц-карбонат-слюдистыми сланцами с прослоями углеродсодержащих сланцев и карбонатных пород. Крупнообъемная золотоносная минерализованная зона в восточной части месторождения, в которой сконцентрировано около 90 % запасов золотых руд, локализована в замковой части антиклинали и приурочена к провису кровли Тырадинского гранитоидного массива.

На Олимпиадинском месторождении широко проявлены высокотемпературные контактово-метасоматические изменения (скарнирование, пропилитизация и др.). С золоторудной минерализацией связываются преобразования березитоидного типа: замещение первичных биотита, железомagneзиального хлорита мусковитом и серицитом, возрастание содержания кварца и карбоната [15]. В рудах выделяются несколько продуктивных минеральных комплексов: 1) прожилково-вкрапленный дорудный пирит-пирротинный, проявленный в пределах всего рудного поля; 2) основной продуктивный вкрапленный золотоарсенопиритовый (с тонкодисперсным золотом); 3) непостоянно продуктивный поздний вкрапленно-прожилковый золотосурьмяный (бертьерит-антимонитовый) с относительно крупным самородным золотом [2, 11, 13, 15]. Первые два типа формируют первичные бедные промышленные вкрапленные золотосульфидные руды, а третий – богатые наложенные золотосурьмяные руды.

Для золотосульфидных руд установлен нижний предел изотопного возраста (Rb-Sr) в 794 ± 15 млн лет, верхний предел для золотосурьмяных руд – по разным оценкам от 676 до 609 млн лет [14–16]. Многостадийность золоторудного процесса проявлена в снижении температур от 450–300 °C для контактовых изменений до 230–210 °C для продуктивных золотосульфидных руд и до 180–150 °C для золотосурьмяной минерализации [14, 15].

Ведугинское месторождение приурочено к западному крылу Ведугинской антиклинали, сложенной филлитовидными и углеродсодержащими кварц-серицит-хлоритовыми сланцами удерейской свиты среднего рифея, метаморфизованными в условиях серицит-хлоритовой субфации зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Вмещающие породы смяты в систему линейных субвертикальных складок, определяющих общий структурный план месторождения и в значительной степени формирующих закономерности локализации его золоторудных тел.

Крупнообъемное золотое оруденение месторождения образует минерализованную зону S-образной формы протяженностью около 2,7 км и шириной до 250 м, представленную зоной межпластовых срывов, которая ограничена сближенными субпараллельными тектоническими нарушениями. Рудные тела представляют собой метасоматиты серицитового, кварц-серицитового состава, к которым приурочены кварцевые и кварц-карбонатные

прожилки, линзы и вкрапленная, реже прожилковая сульфидная минерализация. Метасоматиты слагают крутопадающие (80–90°) пластовые, линзовидно-пластовые тела протяженностью до 1000 м и мощностью до 50–80 м. Тела метасоматитов залегают эшелонированно, кулисообразно. Основные рудные минералы – пирит (в том числе мышьяковистый), пирротин, арсенопирит. Их содержание, как правило, не превышает 5–7 %. Степень золотоносности руд зависит от количества сульфидов [1].

На Ведугинском месторождении выделяются два главных этапа рудообразования: 1) слабозолотоносная кварц-пирит-арсенопиритовая ассоциация, связанная с разобщенными агрегатами зернистых выделений пирита и арсенопирита, температура образования 500–350 °C; 2) золото-пирит-арсенопиритовая ассоциация с температурой образования 424–375 °C, золото ассоциирует с арсенопиритом, встречается во включениях и в сростании с ним [1]. Возраст золото-пирит-арсенопиритового оруденения составляет $805,0 \pm 6,3$ млн лет [14].

Удерейское месторождение приурочено к центральной части Урало-Васильевской брахисинклинали, осложняющей восточное крыло Татарского куполовидного поднятия. Рудовмещающей является карбонатно-терригенная толща удерейской свиты, метаморфизованная в условиях филлитовой ступени зеленосланцевой фации и представленная углеродистыми кварц-серицитовыми и карбонат-кварц-серицитовыми филлитовидными сланцами [13, 15].

Золотое оруденение Удерейского месторождения представлено двумя главными морфоструктурными типами: 1) залежами вкрапленных, вкрапленно-прожилковых, существенно золотосульфидных руд; 2) жилами и жильно-прожилковыми зонами кварц-антимонитовых сурьмяных руд. Золотосульфидная вкрапленная минерализация приурочена к субпослойным залежам, представленным метасоматитами сульфидно-карбонат-серицитового состава. Золотосурьмяное оруденение представлено крутопадающими жилами и жильно-прожилковыми зонами [15]. Соответственно, выделяются два минеральных типа руд – золотосульфидный и золотосульфидно-сурьмяный. Основная часть золота в рудах связана с сульфидами, главным образом с арсенопиритом и в меньшей степени с пиритом. Для золотосульфидного типа характерно широкое развитие слабозолотоносного тонко- и мелкокристаллического пирита, вероятно осадочно-диагенетического генезиса, который, предположительно, подвержен интенсивной перекристаллизации и замещению золотоносным арсенопиритом [15]. Для раннего этапа формирования золотосульфидных руд установлен возраст $711,6 \pm 3,4$ млн лет, для золотосурьмяных – 676–643 млн лет [14]; температуры рудообразования 350–180 и 180–120 °C соответственно.

Таким образом, месторождения золотосульфидного типа, как правило, характеризуются наличием многостадийного рудного процесса, совме-

нием нескольких типов золоторудной минерализации и комплексным составом руд. От известных золотокварцевых и золото-сульфидно-кварцевых месторождений Енисейского кряжа золотосульфидные объекты отличает наличие (прожилково)-вкрапленных руд с низкими средними содержаниями золота (1–3 г/т), которые определяют крупнообъемный характер золотой минерализации и большие запасы руд и металла.

Типизация рудопроявления Южное

Рудопроявление Южное в сравнении с известными золоторудными месторождениями занимает наиболее высокое положение в стратиграфическом разрезе сухопитской серии нижнего – среднего рифея и приурочено к углеродсодержащим терригенно-карбонатным отложениям свит аладынской и карточки (рис. 4, см. таблицу). Следует отметить, что золотоносность этих отложений нами установлена впервые: ранее свиты аладынская и карточки не рассматривались в качестве благоприятного вмещающего стратоуровня.

Состав вмещающих пород рудопроявления Южное существенно карбонатный – кварц-серицит-карбонатные сланцы, известняки, доломиты, с прослоями углеродсодержащих известковисто-глинистых сланцев. Среди рассматриваемых эталонных объектов существенно карбонатным составом вмещающих толщ характеризуется Олимпиадинское месторождение.

Все рассматриваемые объекты, включая рудопроявление Южное, приурочены к областям развития низких ступеней зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Лишь на Олимпиадинском месторождении широко распространены высокотемпературные контактовые образования, связанные с внедрением крупного гранитоидного массива. В Олимпиадинском рудном поле вмещающие породы кординской свиты также претерпели низкотемпературный метаморфизм.

Роль интрузивного магматизма в формировании месторождений неоднозначна [14]. Так, на Олимпиадинском месторождении оруденение приурочено к вмещающим породам в области провиса кровли гранитоидного массива. Месторождение Удерейское приурочено к крупной магматогенной интрузивно-купольной структуре [15]. Данные о непосредственной связи Советского, Благодатного и Ведугинского месторождений с интрузивным магматизмом отсутствуют. На площади рудопроявления Южное интрузивных образований также нет; ближайший выход гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса находится в 20 км западнее. Однако по данным ОАО «НПП ВИРГ-Рудгеофизика» отрицательная аномалия поля силы тяжести, фиксируемая в пределах рудопроявления, может интерпретироваться как скрытый на глубине более 2 км крупный интрузивный массив.

Гидротермально-метасоматические изменения представлены объемными ореолами серицитиза-

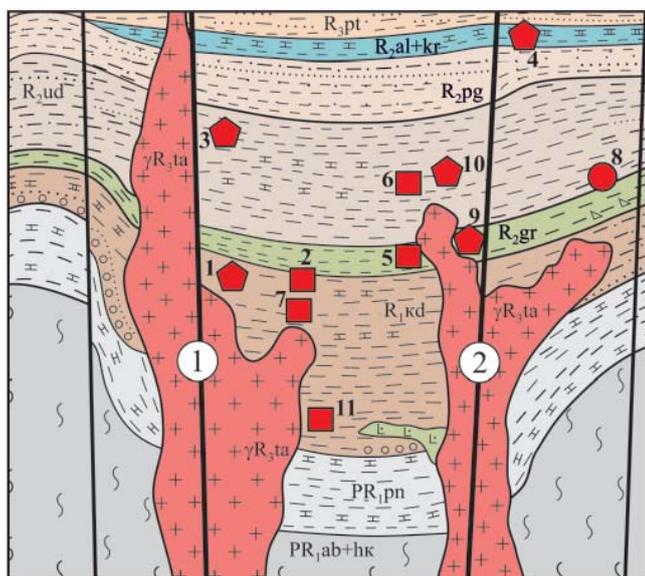


Рис. 4. Схематический палеогеологический разрез Енисейской золоторудной провинции с размещением золоторудных месторождений и проявлений (по В. Д. Конкину, с изменениями и добавлениями)

Геолого-промышленные типы месторождений: 1 – золотокварцевый, 2 – золото-сульфидно-кварцевый, 3 – золотосульфидный; свиты: 4 – потоскуйская (R_{3pt}) карбонатно-терригенная глинисто-алеврито-кварцевая, 5 – аладынская и карточка объединенные (R_{2al+kr}) терригенно-карбонатные сланцево-доломит-известковистые, 6 – погоройская (R_{2pg}) флишоидная песчано-сланцевая с фацией углеродистых сланцев, 7 – удерейская (R_{2ud}) – переслаивание серо-зеленых кварц-хлорит-гидрослюдистых углеродсодержащих глинистых, алеврито-глинистых и карбонатно-глинистых сланцев, 8 – горбилоская (R_{2gr}) – алеврито-глинистые, карбонатно-глинистые кварц-хлорит-серицитовые, кварц-серицитовые сланцы, 9 – кординская (R_{1kd}) – углеродистые филлиты с невыдержанными прослоями кварцитовидных песчаников, линзы туффитов, сланцы биотит-кварц-хлорит-серицитовые с гранатом, 10 – пенченгинская (PR_{1pn}) – зеленовато-темно-серые кварц-хлорит-серицитовые, кварц-серицитовые сланцы углеродистые, рассланцованные эффузивы, 11 – хр. Карпинского и абалаковская толща (PR_{2ab+hk}) кристаллосланцевая, кристаллосланцево-гнейсовая с фациями амфиболитов, кварцитов и мраморов; интрузивные формации: 12 – гранодиорит-гранитная (Татарско-Аяхтинский комплекс γR_{3ta}) – среднезернистые порфировидные граниты, гранодиориты, 13 – габбро-амфиболитовая (Исаковский комплекс νR_{2is}) – ортоамфиболиты, габбро-амфиболиты, амфиболитизированные диабазы, аподиабазовые амфиболиты, амфиболовые сланцы; 14 – региональные глубинные разломы (1 – Татарский, 2 – Ишимбинский); 15 – разрывные нарушения; золоторудные объекты: 1 – Олимпиадинское, 2 – Благодатное, 3 – Ведугинское, 4 – Южное, 5 – Аяхтинское, 6 – Васильевское, 7 – Титимухтинское, 8 – Советское, 9 – Боголюбовское, 10 – Удерейское, 11 – Раздолинское



Сравнительная характеристика золоторудных объектов Енисейского кряжа [1, 4, 16, 17]

Объект (тип)	Вещающие отложения (свиты)	Околорудные метасоматические изменения	Рудные минералы		Нерудные минералы		Содержание сульфидов в рудах, %	Морфология золоторудных зон и рудных тел	Запасы, млн т	Запасы Au, т	Среднее содержание Au в рудах, г/т
			Главные	Второстепенные	Главные	Второстепенные					
Южное (Au-S)	Алдинская (r _{2a} +kr)	Сульфидизация, железо-магнетитовая карбонатизация, окварцевание, серицитизация	Пирит (мышьяковистый)	Пирротин, халькопирит, сфалерит, галенит, самородное золото	Кварц, серицит, анкерит	Кальцит, сидерит, доломит, мусковит	3–8	Субсогласная залежь вкрапленных золотосульфидных руд	20,0*	22,0*	1,1
Ведугинское (Au-S)		Карбонатизация, окварцевание, серицитизация, сульфидизация	Пирит, арсенопирит, пирротин	Антимонит, самородное золото, серебро, бертьерит, халькопирит, сфалерит, галенит, пентландит, висмутин, тетраэдрит, кубанит, кобальтин	Кварц, серицит, кальцит	Хлорит, сидерит, доломит, анкерит, цоизит, актинолит, барит, гранат	5–7	S-образная субсогласная минерализованная зона прожилково-вкрапленных руд	31,8	79,4 (71,2)	2,5
Удерецкое (Au-S)	Удерецкая (r _{2nd})	Карбонатизация, сульфидизация, окварцевание, серицитизация, хлоритизация	Пирит, арсенопирит, антимонит, бертьерит	Пирротин, самородное золото, халькопирит, самородная сурьма, халькопирит, сфалерит, тетраэдрит, буланжерит, кобальтин	Кварц, серицит	Кальцит, сидерит, флюорит	5–6	Субсогласные залежи прожилково-вкрапленных золотосульфидных руд; жильно-прожилковые зоны сурьмяных руд	27,8	75,1 (14,7)	2,7
Советское (Au-Q)		Окварцевание, серицитизация, сульфидизация	Пирит, арсенопирит	Пирротин, сфалерит, галенит, халькопирит, самородное золото, самородное серебро, фрейбергит, висмутин	Кварц	Анкерит, кальцит, сидерит, серицит, мусковит, альбит	<1	Секущие жильные и жильно-прожилковые зоны золотокварцевых руд	26,5	87,4 (4,0)	3,3
Благодатное (Au-S-Q)		То же	Пирит, арсенопирит, пирротин	Халькопирит, галенит, сфалерит, самородное золото, висмутин, марказит, леллингит	«	Серицит, мусковит, биотит	1–3	Субсогласная минерализованная зона секущих жильно-прожилковых и прожилково-вкрапленных руд	204,7	389,0 (228,6)	1,9
Олимпиадинское (Au-S)		Окварцевание, карбонатизация, серицитизация	Арсенопирит, пирротин, пирит	Антимонит, самородное золото, самородная сурьма, шеелит, бертьерит, халькопирит, сфалерит, галенит, пентландит, висмутин, тетраэдрит, гудмундит, аурустибит	Кварц, серицит, кальцит	Хлорит, сидерит, доломит, анкерит, цоизит, актинолит, барит, гранат	2–5	Зона-залежь прожилково-вкрапленных золотосульфидных руд	283,3	850,0 (227,7)	3,0

Примечание. В скобках – остаточные запасы; * – авторские прогнозные ресурсы; типы золоторудных объектов: Au-S – золотосульфидный, Au-S-Q – золото-сульфидно-кварцевый, Au-Q – золото-кварцевый.

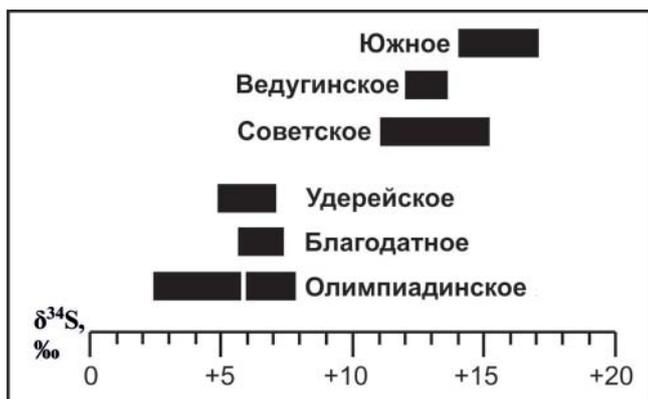


Рис. 5. Вариации изотопного состава серы сульфидов в рудах золоторудных месторождений и проявлений Енисейского кряжа (по [11, 12, 14, 16])

ции, вкрапленной сульфидизации и прожилково-вкрапленной карбонатизации, в том числе железомagneзиальной. Последняя, как правило, благоприятный косвенный признак золоторудного процесса [6]. На рудопроявлении Южное аномальным литохимическим ореолам золота отвечают аномальные поля марганца, что, вероятно, связано с широким распространением железомagneзиальной карбонатизации [12]. Околорудные изменения главным образом представлены жильно-прожилковыми зонами карбонат-кварц-серицитовых метасоматитов березитоидного типа.

По строению и морфологии минерализованных зон и рудных тел рассмотренные объекты можно разделить на несколько групп: 1) объемные залежи согласных вкрапленно-рассеянных относительно бедных золотосульфидных руд (Олимпиадинское, Удере́йское, Ведугинское, Южное); 2) штокверки золото-сульфидно-кварцевых прожилково-вкрапленных руд (Благодатное); 3) жилы и жильно-прожилковые зоны богатых золото-кварцевых руд (Советское); 4) жильно-прожилковые зоны золотосурьмяных руд (Олимпиадинское, Удере́йское).

Состав руд, как правило, полисульфидный. Главные рудные минералы – пирит, арсенопирит, реже пирротин. Руды практически всех месторождений обладают повышенной мышьяковистостью, в том числе и золотая минерализация рудопроявления Южное.

Все рассмотренные месторождения отличаются длительным полистадийным характером рудообразования, что фиксируется минералогическими наблюдениями, данными изотопной геохронологии и широким диапазоном температур гомогенизации флюидных включений.

При сопоставлении изотопно-геохимических данных обнаруживается, что золотоносные сульфиды всех рассмотренных объектов обогащены тяжелым изотопом серы ($\delta^{34}\text{S}$ от +3 до +20 ‰), что может указывать на существенную роль гидротермально-осадочных процессов при формировании первичных рудных концентраций [9, 10]. Это предположение подтверждается также и закономерным

повышением доли тяжелого изотопа серы в рудах снизу вверх по разрезу вмещающих отложений сухопитской серии (рис. 5). При этом в ряду золоторудных объектов Енисейского кряжа рудопроявление Южное занимает наиболее высокое стратиграфическое положение и характеризуется максимальными значениями $\delta^{34}\text{S}$.

Выводы

Сравнительный анализ позволяет среди рассмотренных выше месторождений выделить для рудопроявления Южное эталонный объект-аналог. По совокупности особенностей геологического строения, составу вмещающих пород, типу золотой минерализации, характеру и составу руд наиболее близким аналогом является месторождение Олимпиадинское, а точнее, его первичные ранние крупнообъемные вкрапленно-рассеянные бедные золотосульфидные руды.

В первую очередь следует отметить существенно карбонатный состав вмещающих отложений на сопоставляемых объектах и отсутствие четко выраженной метасоматической зональности. Вмещающими для вкрапленных руд Олимпиадинского месторождения являются измененные терригенно-карбонатные породы, сложенные карбонатами (преимущественно железистым кальцитом), кварцем и слюдами с примесью хлорита и углеродистого вещества [11, 15]. Минерализованную зону рассеянной сульфидной вкрапленности рудопроявления Южное вмещают существенно карбонатные измененные (серицитизация, железомagneзиальная карбонатизация) породы – карбонат-серицитовые сланцы, известняки, доломиты с прослоями углеродсодержащих известковистоглинистых сланцев [12].

Первичные вкрапленные руды Олимпиадинского месторождения и золотую минерализацию рудопроявления Южное объединяет также тесная ассоциация золота с сульфидами (арсенопиритом и/или мышьяковистым пиритом), в которых оно находится в тонкодисперсной и субмикроскопической форме.

В то же время рудопроявление Южное характеризуется рядом специфических особенностей. Это прежде всего положение в верхней части разреза сухопитской серии, а также отсутствие близко расположенных интрузивных массивов, локализация восточнее зоны Ишимбинского разлома, широкое развитие железомagneзиальной карбонатизации в пределах минерализованной зоны.

Среди рассмотренных золоторудных объектов Енисейского кряжа к группе крупнообъемных месторождений в первую очередь могут быть отнесены объекты золотосульфидного типа, заключающие в себе большие запасы руд и металла. Однако по результатам геолого-разведочных работ на месторождении Благодатное установлена возможность оконтуривания рудных тел по концентраци-



ям золота в пределах единой крупнообъемной рудовмещающей минерализованной зоны с низкими (от 0,5 г/т) средними содержаниями золота [2]. На Советском месторождении при включении в контур оруденения слабозолотоносных вмещающих пород в межжильном пространстве оконтуривается единая крупнообъемная минерализованная зона мощностью около 300 м со средними содержаниями золота 1,0–1,5 г/т, пригодная для открытой отработки [7]. С учетом достаточно развитой инфраструктуры в районе месторождения такие параметры могут подтвердить рентабельность месторождения.

Таким образом, к крупнообъемным месторождениям, помимо уникальных и крупных объектов золотосульфидного типа (Олимпиадинское, Ведугинское, Удерейское), с учетом современных технологий переработки и обогащения руд, а также высокой цены на золото могут быть отнесены месторождения комплексного золото-сульфидно-кварцевого (Благодатное) и даже золотокварцевого (Советское) типов.

Рассматривая конкретные площади для постановки прогнозно-поисковых работ на крупнообъемное оруденение, в первую очередь следует выделить участки, расположенные в пределах зоны Ишимбинского регионального разлома в восточной части Енисейского кряжа. К таковым относятся Тужимский, Нижнечиримбинский, Вангашский рудно-россыпные узлы. Открытие рудопроявления Южное также расширяет перспективы переоценки ареалов развития отложений верхов разреза сухопитской серии, считавшихся ранее непродуктивными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ведугинское** золотосульфидное месторождение (Енисейский кряж) / А. М. Сазонов, А. Э. Романовский, Г. И. Шведов и др. // Руды и металлы. – 1994. – № 2. – С. 86–97.

2. **Геологическое** строение золоторудных месторождений и опыт геологического обслуживания сырьевой базы компании «Полюс» в Красноярском крае / В. К. Совмен, Ю. М. Страгис, А. А. Плеханов и др. – Красноярск: Полюс, 2009. – 208 с.

3. **Геолого-структурная** позиция и типизация золоторудных полей восточной части Енисейского кряжа / А. М. Сазонов, Е. А. Звягина, Т. В. Полева и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири: матер. юбилейной науч.-практ. конф. – Красноярск: ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010. – С. 94–101.

4. **Государственный доклад** «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2015 году». – М.: Центр «Минерал», 2016. – 342 с.

5. **Забияка А. И., Курганьков П. П., Гусаров Ю. В.** Тектоника и металлогения Нижнего Приангарья. – Красноярск: КНИИГИМС, 2003. – 325 с.

6. **Иванов А. И.** Золото Байкало-Патома (геология, оруденение, перспективы). – М.: ЦНИГРИ, 2014. – 215 с.

7. **Константинов М. М.** Золоторудные месторождения России. – М.: Акварель, 2010. – 349 с.

8. **Кряжев С. Г.** Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах: автореф. дис. ... д. г.-м. н. – М., 2017. – 52 с.

9. **Кряжев С. Г.** Изотопно-геохимические и генетические модели золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных толщах // Отечественная геология. – 2017. – № 1. – С. 1–11.

10. **Кряжев С. Г., Гриненко В. А.** Изотопный состав и источники серы золотосульфидных месторождений Енисейского кряжа // XVIII Симпозиум по геохимии изотопов им. акад. А. П. Виноградова: тез. докл. – М.: ГЕОХИ РАН, 2007. – С. 141–142.

11. **Ли Л. В.** Олимпиадинское месторождение вкрапленных золотосульфидных руд. – Красноярск: КНИИГИМС, 2003. – 119 с.

12. **Мансуров Р. Х., Кряжев С. Г., Зеликсон Б. С.** Минералого-геохимические особенности рудопроявления Южное, Енисейский кряж // Руды и металлы. – 2017. – № 1. – С. 55–66.

13. **Модели** месторождений золота Енисейской Сибири / С. С. Сердюк, Ю. Е. Коморовский, А. И. Зверев и др. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2010. – 584 с.

14. **Неволько П. А., Борисенко А. С.** Этапы формирования золотого и сурьмяного оруденения Енисейского кряжа и их корреляция с периодами проявления магматизма // Металлогения древних и современных океанов. – 2009. – Т. 15. – С. 37–42.

15. **Новожилов Ю. И., Гаврилов А. М.** Золотосульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. – М.: ЦНИГРИ, 1999. – 175 с.

16. **Ножкин А. Д., Борисенко А. С., Неволько П. А.** Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского кряжа // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 1. – С. 158–181.

17. **Полева Т. В., Сазонов А. М.** Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже. – М.: Экономическая газета, 2012. – 290 с.

REFERENCES

1. Sazonov A.M., Romanovskiy A.E., Shvedov G.I., et al. [Veduginskoe gold-sulphide deposit (Yenisey Ridge)]. *Rudy i metall – Ores and Metals*, 1994, no. 2, pp. 86–97. (In Russ.).

2. Sovmen V. K., Stragis Yu. M., Plekhanov A. A., et al. *Geologicheskoe stroenie zolotorudnykh mestorozhdeniy i opyt geologicheskogo obsluzhivaniya syr'evoy bazy kompanii "Polius" v Krasnoyarskom krae* [Geological structure of gold deposits and experience of geological servicing of the Polyus Company raw materials base in the Krasnoyarsk region]. Krasnoyarsk, Polyus Publ., 2009. 208 p. (In Russ.).



3. Sazonov A.M., Zvyagina E.A., Poleva T.V., et al. [Geological-structural position and typification of gold ore fields within the eastern Yenisey Ridge]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Central'noj Sibiri: mater. yubilejnoj nauch.-prakt. konf.* [Geology and mineral resources of Central Siberia. Proc. of the anniversary scientific-research conference]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskgeols'yemka Publ., 2010, pp. 94–101. (In Russ.).
4. Gosudarstvennyy doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu" [Governmental Report "On the state and use of mineral resources of the Russian Federation in 2015"]. Moscow, TSentr "Mineral" Publ., 2016. 342 p. (In Russ.).
5. Zabiya A.I., Kurgankov P.P., Gusarov Yu.V. *Tektonika i metallogeniya Nizhnego Priangar'ya* [Tectonics and Metallogeny of the Lower Angara Region]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2003. 325 p. (In Russ.).
6. Ivanov A.I. *Zoloto Baykalo-Patoma (geologiya, orudnenie, perspektivy)* [The gold of the Baykal Pathom (geology, ore mineralization, prospects)]. Moscow, TSNIIGRI Publ., 2014. 215 p. (In Russ.).
7. Konstantinov M.M. *Zolotorudnye mestorozhdeniya Rossii* [Gold ore deposits of Russia]. Moscow, Akvarel Publ., 2010. 349 p. (In Russ.).
8. Kryazhev S.G. *Geneticheskie modeli i kriterii prognoza zolotorudnykh mestorozhdeniy v ughlerodisto-terrigennykh kompleksakh. Avtoref. Dokt. diss.* [Genetic models and prediction criteria of gold ore deposits in carbonaceous-terrigenuous complexes. Author's abstract of DSc thesis]. Moscow, 2017. 52 p. (In Russ.).
9. Kryazhev S.G. [Isotope geochemical and genetic models of gold ore deposits in carbonaceous-terrigenuous strata]. *Otechestvennaya geologiya – National Geology*, 2017, no. 1, pp. 1–11. (In Russ.).
10. Kryazhev S.G., Grinenko V.A. [The isotopic composition and sources of sulfur in gold-sulfide deposits of the Yenisey Ridge.], *XVIII simpozium po geokhimii izotopov im. Akademika Vinogradova. Tezisy dokladov.* [Academician Vinogradov's XIX symposium of isotopes geochemistry. Abstracts]. Moscow, GEOKHI RAN Publ., 2007, pp. 141–142. (In Russ.).
11. Li L.V. *Olimpiadinskoe mestorozhdenie vkraplennykh zoloto-sul'fidnykh rud* [Olimpiadinskoe deposit of disseminated gold-sulfide ores]. Krasnoyarsk, KNIIGiMS Publ., 2003. 119 p. (In Russ.).
12. Mansurov R.Kh., Kryazhev S.G., Zelikson B.S. [Mineralogical and geochemical characteristics of the Yuzhnoe gold ore occurrence, the Yenisei Ridge]. *Rudy i metally – Ores and metals*, 2017, no. 1, pp. 55–66. (In Russ.).
13. Serdyuk S.S., Komorovskiy Yu.E., Zverev A.I., et al. *Modeli mestorozhdeniy zolota Eniseiskoy Sibiri* [Gold deposits' models of Yeniseian Siberia]. Krasnoyarsk, 2010. 584 p. (In Russ.).
14. Nevol'ko P.A., Borisenko A.S. [Formation stages of gold and stibium mineralization of the Yenisey Ridge and their correlation with periods of magmatism occurrences]. *Metallogeniya drevnykh i sovremennykh okeanov – Metallogeny of ancient and modern oceans*, 2009, vol. 15, pp. 37–42. (In Russ.).
15. Novozhilov Yu.I., Gavrilov A.M. *Zoloto-sulfidnye mestorozhdeniya v ughlerodisto-terrigennykh tolshchakh* [The gold-sulphide deposits in carbonaceous-terrigenuous strata]. Moscow, TSNIIGRI Publ., 1999. 175 p. (In Russ.).
16. Nozhkin A.D., Borisenko A.S., Nevol'ko P.A. [Stages of Late Proterozoic magmatism and periods of Au mineralization in the Yenisey Ridge]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 2011, vol. 52, no. 1, pp. 124–143.
17. Poleva T.V., Sazonov A.M. *Geologiya zolotorudnogo mestorozhdeniya Blagodatnoye v Eniseyskom kryazhe* [Geology of the Blagodatnoe gold ore deposit in the Yenisey Ridge]. Moscow, Ekonomicheskaya gazeta Publ. House, 2012. 290 p. (In Russ.).

© P. X. Мансуров, 2018