

# **Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов, $3\text{He}/4\text{He}$ флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования**

Гибшер Н. А., Томиленко А. А., Сазонов А. М., Бульбак Т. А., Рябуха М. А., Сильянов С. А., Некрасова Н. А., Хоменко М. О., Шапаренко Е. О.

## **Аннотация**

УДК 548.4:553.21

Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов,  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов,  $3\text{He}/4\text{He}$  флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования

Н.А. Гибшер<sup>1</sup>, А.А. Томиленко<sup>1</sup>, А.М. Сазонов<sup>2</sup>, Т.А. Бульбак<sup>1</sup>, М.А. Рябуха<sup>1</sup>, С.А. Сильянов<sup>2</sup>, Н.А. Некрасова<sup>2</sup>, М.О. Хоменко<sup>1</sup>, Е.О. Шапаренко<sup>1</sup>

## **Аннотация**

Приведены новые термобарогеохимические и изотопно-геохимические данные, свидетельствующие о сложной и длительной истории формирования уникального на Енисейском кряже Олимпиадинского золоторудного месторождения с потенциальными запасами золота более 1000 т. В формировании месторождения принимали участие одновременно или последовательно металлоносные окисленные водно-углекислотные и восстановленные углекислотно-углеводородные флюиды в интервале температур от 220°C до 470°C и давлений от 0.6 до 2.5 кбар. Флюиды золотоносных минеральных ассоциаций в своем составе содержат CO<sub>2</sub>, углеводороды, S-, N- и галогенсодержащие соединения, которые способны транспортировать рудные элементы, в том числе и золото. Углекисло-углеводородные флюиды, обладая высокой подвижностью, явились причиной появления на Олимпиадинском месторождении рассеянной золоторудной минерализации в больших объемах кварц-карбонат-слюдистых сланцев, играющих роль геохимических барьеров. Месторождение формировалось в период от 817 до 660 млн. лет и вписывается во временной интервал от кристаллизации до остывания (868-721 млн. лет) ближайшего многофазного Чиримбинского гранитоидного массива. Гидротермальная деятельность флюидов, сформировавших Олимпиадинское месторождение, продолжалось не менее 150 млн. лет.

## **Ключевые слова:**

Флюидные включения, кварц, золото, углеводороды, Ar-Ar возраст

**Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов,  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов,  $^3\text{He}/^4\text{He}$  флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования**

**Н.А. Гибшер<sup>1</sup>, А.А. Томиленко<sup>1</sup>, А.М. Сазонов<sup>2</sup>, Т.А. Бульбак<sup>1</sup>, М.А. Рябуха<sup>1</sup>, С.А. Сильянов<sup>2</sup>, Н.А. Некрасова<sup>2</sup>, М.О. Хоменко<sup>1</sup>, Е.О. Шапаренко<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Институт геологии и минералогии им.В.С.Соболева СО РАН*

*630090, г.Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

*<sup>2</sup>Институт горного дела, геологии и геотехнологий Сибирского федерального университета*

*660041, Красноярск, просп.Свободы,79, Россия*

### **Введение**

В настоящее время золотодобывающая промышленность России сконцентрирована преимущественно на золоторудных месторождениях с вкрапленными и прожилково-вкрапленными рудами в углеродисто-карбонатно-терригенных породах. Эти объекты при умеренных или низких содержаниях золота со значительными объемами рудной массы позволяют вести отработку карьерами высокой производительности [Ли, 2003; Новожилов и др., 2014]. Специфика месторождений такого типа состоит в том, что основная масса золота представлена дисперсными частицами и рассредоточена в большом объеме метасоматических пород. Представителем этого типа является Олимпиадинское месторождение на Енисейском кряже, сопоставимое по запасам с такими золоторудными гигантами, как Сухой Лог, Наталка, Мурунтау, Кумтор, Калгурли, Бендиго и др. [Ли, 2003; Новожилов и др., 2014; Сердюк и др., 2010; Сазонов и др., 2016; Groves et al., 2016].

Генетические причины локализации золотого оруденения на отдельных уровнях разреза рудовмещающих пород дискуссионны. В одних генетических моделях допускается первичное обогащение осадков кластогенным золотом в терригенных отложениях, или хемогенным, в связи с субмаринной гидротермальной деятельностью вблизи узлов сочленения разломов фундамента, которые неоднократно подновлялись и контролировали размещение гидротермальной минерализации [Петров, 1974; Буряк, 1982]. Другие исследователи [Новожилов, Гаврилов, 1999; Ли, 2003; Кряжев, Гриненко, 2007; Новожилов и др., 2014; Кряжев, 2010; 2017; Сазонов и др., 2010] полагают, что месторождения Сухоложско-Олимпиадинского типа гидротермальные, а флюидные системы связаны с магматогенными, либо с метаморфогенными процессами. В этом случае, формирование золотоносных метасоматитов, распределение и концентрирование рудного вещества,

включая привнос золота, осуществлялся гидротермальными растворами из более глубоких сечений земной коры, что в конечном итоге привело к возникновению мощных и протяженных рудных тел. В гидротермальных моделях рудообразующие флюиды енисейских месторождений играют главную роль в золоторудогенезе [Прокофьев и др., 1994; Афанасьева и др., 1995; Баранова и др., 1997; Генкин и др., 2002].

В последние годы, в связи с усовершенствованием традиционных и привлечением новых методов и приборов последнего поколения стало возможным уточнить полученные ранее физико-химические параметры флюидов и использовать их в практических целях при проводимых геолого-разведочных работах на глубоких горизонтах месторождения Олимпиада, поисках и оценке в других золоторудных районах.

В исследовании использована коллекция рудных образцов разведочных работ 2009-2014 гг. на Олимпиадинском месторождении и опыт изучения флюидных включений на других золоторудных объектах Енисейского края [Томиленко, Гибшер, 2001; Гибшер и др., 2011; 2017; Рябуха и др., 2015; Tomilenko et al., 2010], концентрируя основное внимание на характеристике факторов золотоносности флюидов, сформировавших уникальное Олимпиадинское месторождение. Нами проведен комплекс термобарогеохимических исследований флюидных включений в кварце, сульфидах и карбонатах, получены характеристики изотопного состава серы сульфидов, изотопов гелия во флюидных включениях, определены состав и концентрации элементов платиновой группы, определен Ar-Ar возраст и продолжительность формирования Олимпиадинского месторождения.

### **Краткая геолого-минералогическая характеристика Олимпиадинского золоторудного месторождения**

Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд является крупнейшим из находящихся в эксплуатации золоторудных объектов Енисейского края. Раздел статьи написан на основании опубликованных материалов одного из первооткрывателей Олимпиады Л.В. Ли [Ли и др., 1984; Ли, 2003], а также более поздних работ [Сазонов и др., 1994; 2016; Генкин и др., 1994; 2002; Сердюк и др., 2010; Новожилов и др., 2014]. Месторождение расположено в южной части Северо-Енисейского рудного района, на участке тектонического блока, характеризующегося погружением кровли гранитоидного батолита. На дневную поверхность гранитоиды вскрываются в виде крупного Чиримбинского массива и ряда более мелких интрузий, полукольцом окружающих месторождение (Рис. 1-А). Месторождение находится в ареале динамического влияния Татарского глубинного разлома. Рудовмещающая толща по современной стратиграфической схеме, принятой для региона, отнесена к кординской

свите сухопитской серии рифея (Рис.1-Б). Рудовмещающие породы подвержены метасоматическим изменениям (окварцеванию, карбонатизации, серицитизации и хлоритизации), которые предшествовали и сопутствовали формированию ранней кварц-золото-арсенопирит-пирротиновой ( $\pm$ шеелит) и более поздней кварц-золото-сурьмяной ( $\pm$ шеелит) минеральным ассоциациям.

Особенности геологического развития, характеризовавшиеся повышенной тектоно-магматической активностью, определили металлогеническую специфику Олимпиадинского месторождения. Специфика заключается в распространении в пределах рудного поля месторождения золото-пирротин-арсенопиритового, золото-вольфрамитового, золото-шеелитового, золото-антимонитового и золото-антимонит-шеелитового и золото-висмутового оруденения, отличающегося от типоморфного для Енисейского кряжа золото-кварцевого.

Гидротермальный процесс в рудном поле месторождения начинался с формирования в предрудный этап разнообразных по составу метасоматитов, продолжался в рудный этап отложением золоторудной минерализации и заканчивался кристаллизацией в пострудный этап кварцевых $\pm$ кальцит $\pm$ флюорит $\pm$ полевои шпат прожилков. Главным полезным компонентом во всех типах гидротермальной минерализации является золото, но наряду с ним в повышенных количествах содержится вольфрам, серебро и сурьма. Размещение прожилково-вкрапленных рудных тел месторождения контролируется системами разрывных межпластовых тектонических нарушений, осложняющих периклинальное замыкание Медвежинской антиклинали. Вещественную основу руд составляют кварц, карбонаты, слюды (мусковит, серицит, биотит). В виде примеси руды содержат хлорит, рутил и диспергированное углеродистое вещество (от тысячных долей до 1-2 %, иногда достигающее 4.15%). Месторождение состоит из двух взаимосвязанных участков – Западного (или Олимпиадинского) и Восточного (или Правобережного), различающихся особенностями структурной позиции и масштабу оруденения (Рис.1-В). На Западном участке выделены три рудных тела (№ 1, 2, 3), а на Восточном участке одно – Главное рудное тело (№ 4), где сосредоточено более 90 % золота. Рудные тела месторождения приурочены к карбонатсодержащим стратифицированным пачкам и оконтуриваются опробованием. Они представляют собой метасоматиты преимущественно слюдяно-карбонат-кварцевого и цоизит-полевошпат-кварц-слюдяного состава, содержащие вкрапленность, прожилки рудных минералов и микроскопические выделения золота [Ли, 2003; Новожилов и др., 2014]. Внутреннее строение рудных тел неоднородное. В них богатые золотом рудные прослои, ленты, линзы перемежаются с бедными рудами и безрудными участками. Обогащенные золотом участки приурочены к зонам разрывных

нарушений, с интенсивно развитой минерализацией арсенопирита, пирротина и антимонита-бертьерита. Максимальный вертикальный размах оруденения оценивается более 1400 м.

Золото является основным полезным компонентом руд месторождения и в основной своей массе представлено дисперсными частицами. Основным концентратом золота является арсенопирит игольчатого габитуса, в короткопризматической и более крупнозернистой псевдодипирамидальной разновидности арсенопирита золота содержится на 1-2 порядка меньше, чем в игольчатой [Ли, 2003; Новожилов и др., 2014]. Реже отмечается золото в пирротине, пирите, Sb-содержащих минералах, а также в микрогранобластовом кварце и слюдах основной ткани рудовмещающих пород. Пирротин, тесно ассоциирующий с золотом, развит в виде мелкой вкрапленности в метасоматитах по кварц-карбонат-слюдяным сланцам и в виде гнезд и прожилков, нередко крупных размеров в кварц-золото-сульфидных жилах.

Золото-сурьмяная, с сопутствующими теллуридами, минерализация, состоящая из преобладающих в ней антимонита и бертьерита, имеет локализованное распространение и пространственное обособление в зоне Медвежинского рудоконтролирующего разлома. Эта минерализация отнесена к поздним продуктивным образованиям, накладывающихся на раннюю, кварц-золото-арсенопирит-пирротиную минерализацию. Шеелитовая минерализация имеет также локальное распространение и связана со скарноидами, углеродисто-слудяно-кварц-карбонатными метасоматитами [Афанасьева и др., 1995].

Кварц является основным минералом, постоянно встречающимся в составе предрудных метасоматитов, золото-сульфидных минеральных ассоциаций и пострудных кварц-карбонатных±полевошпатовых±флюоритовых образований. На месторождении выделено несколько генераций кварца.

Кварц-I развит в предрудных метасоматитах. Он слагает тонкие прожилки, гнезда, линзообразные обособления, заполненные мелкозернистым кварцем белого цвета. Зерна этого кварца часто трещиноваты, несут следы пластических деформаций в виде блочного, линейного, волнистого угасания. Из новообразованных минералов с ним ассоциируют чешуйки мусковита, биотита, серицита, вкрапленные проявления сульфидов. Содержание золота в исследованных предрудных метасоматитах не превышает 0.3-0.4 г/т.

В рудном этапе выделены две генерации кварца (кварц-II и -III). Кварц-II проявлен в золото-арсенопирит-пирротиновой минеральной ассоциации, а кварц-III – в золото-сурьмяной. Кварц III генерации, как правило, выполняет одиночные жилы, а также гнезда в зонах дробления и смятия.

Кварц IV генерации слагает системы маломощных кварцевых, кварц-карбонатных±полевошпатовых±флюоритовых прожилков, секущих предрудные метасоматиты и кварц-золото-сульфидные руды месторождения.

### **Фактический материал и методы исследования**

Основу фактического материала составила коллекция образцов 70 штук. Исследованные образцы отобраны по разведочным линиям 18.0 и 25.5 (рис. 1-Б) из 10 скважин в интервале глубин от 4.5 м (скв. 503) до 817 м (скв. 510) рудного тела №4 на Восточном участке месторождения и Западного карьера (рис. 1-В). Из одной половины образца изготавливались петрографические шлифы и полированные с двух сторон пластинки для исследования индивидуальных флюидных включений, вторую половину этого же образца дробили и рассеивали на ситах. Описание процедуры подготовки проб для анализов приведено в работе [Гибшер и др., 2011]. Температура общей гомогенизации, эвтектики и плавления льда водных растворов, температура частичной гомогенизации и плавления  $\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2$  газов во флюидных включениях замерялись в микротермокамере THMSG-600 фирмы Linkam с диапазоном измерений в интервале температур от  $-196$  до  $+600^\circ\text{C}$ . Стандартная аппаратная ошибка измерений составляет  $\pm 0.1^\circ\text{C}$  в отрицательной и  $\pm 5^\circ\text{C}$  в положительной области температур.

Давление флюида в гидротермальной системе рассчитывалось по сингенетичным включениям ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}+\text{Г}}$ ,  $\text{Ж}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}$ ,  $\text{Г}_{\text{CO}_2\pm\text{CH}_4\pm\text{N}_2}$ ). По газовой-жидким включениям замерялась общая температура гомогенизации, а по углекислотно-метан-азотным включениям определялась температура частичной гомогенизации и вид гомогенизации (в жидкую или газовую фазу). Полученные параметры позволили оценить давление флюида по методам, приведенным в работах [Brown, Lamb, 1989; Thiery et al., 1994; Duan et al., 1996; Bakker, 2001]. Состав водной фазы индивидуальных флюидных включений определялся на основании температур эвтектики, которые характеризуют водно-солевую систему [Борисенко, 1977]. Соленость растворов оценивалась по температуре плавления льда и температуре растворения кристаллика соли, используя двухкомпонентную водно-солевую систему  $\text{NaCl-H}_2\text{O}$  [Киргинцев и др., 1972]. Состав и концентрация элементов платиновой группы и рения во флюидных включениях кварца и сульфидов определены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ID-ICP-MS). Методика подготовки вещества из флюидных включений в сульфидах и кварце приведена в работах [Козьменко и др., 2011; Гибшер и др., 2018].

Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений исследован на одноканальном КР-спектрометре Ramanog U-100 фирмы «Jobin Yvon» с использованием

аргонового лазера диаметром 1.5 мкм и мощностью 3 Вт по методике, изложенной в работе [Dubessy et al., 1989]. Валовый состав газовой составляющей флюидов определен методом газовой хромато-масс-спектрометрии (GC-MS). Минерал помещался в специальное устройство, включенное в газовую схему хроматографа перед аналитической колонкой. Экстракция газовой смеси из флюидных включений произведена без пиролиза при однократном ударном разрушении образца в потоке инертного гелия. Детальное описание метода GC-MS приведено в работах [Tomilenko et al., 2015; Sokol et al., 2017, a, b]. На всех этапах подготовки проб к анализу не использовались органические вещества.

Изотопы серы ( $\delta^{34}\text{S}$ ) сульфидов измерялись в газе  $\text{SO}_2$ , полученном при взаимодействии сульфидов с  $\text{CuO}$  при  $1000^\circ\text{C}$  и нормированы относительно изотопного состава троилита из метеорита Каньон Дьябло. Воспроизводимость значений  $\delta^{34}\text{S}$ , включая подготовку образца, составляет 0.1 % [Пальянова и др., 2016].

Изотопный состав гелия во флюидных включениях кварца определен в лаборатории геохронологии и геохимии изотопов Геологического института Кольского научного центра (г. Апатиты, РАН). Методические приемы изложены в работах [Толстихин, Прасолов, 1971; Ветрин и др., 2003; Икорский и др., 2006; 2014].

Изотопно-геохронологические данные (16 образцов) получены на основе  $\text{Ar-Ar}$  метода определения возраста калийсодержащих минералов из мусковита околожильных метасоматических пород с незначительными содержаниями  $\text{Au}$ ,  $\text{As}$  и  $\text{Sb}$ ; из мусковита и серицита кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых ассоциаций с содержанием золота от 0.6 до 16.2 г/т,  $\text{As}$  – от 0.02 до 1.86 % и  $\text{Sb}$  – от 0.0 до 0.01 %; из серицита кварц-золото-сурьмяных ассоциаций с содержанием золота от 0.3 до 21.6 г/т,  $\text{As}$  – 0.02 до 11.5 % и  $\text{Sb}$  – от 0.01 до 4.42 %. Мономинеральные фракции серицита и мусковита отбирались вручную под бинокулярной лупой. Чистота фракций контролировалась микроскопически в смонтированных шлифах и на сканирующем микроскопе. Описание аналитических процедур приведено в работе [Травин, 2016].

## **Результаты исследования**

### ***Характеристика флюидных включений***

Индивидуальные флюидные включения исследовались в кварце прерудных метасоматитов, ранних золото-арсенопирит±пирит±пирротиновых и более поздних золото-сурьмяных парагенезисов, объединенных в рудный этап и кварц-карбонатных прожилках пострудного этапа.

В кварце Олимпиадинского месторождения при комнатной температуре выделено четыре типа флюидных включений (рис. 2):

а – газовой-жидкий ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) с меняющимися соотношениями объемов жидкости и газа во включениях в интервале от 70:30 до 20:80, соответственно (рис. 2-а);

б – водно-углекислотный ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{Ж}_{\text{CO}_2}+\Gamma$ ), ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma_{\text{CO}_2}$ ). В этих включениях соотношение углекислотной (газовой или плотной жидкой  $\text{CO}_2$ ) и водной фазы варьирует от 90:10 до 20:80, соответственно (рис. 2-б);

в – водно-солевой тип ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma+\text{КР}$ ) (рис. 2-г), в них присутствует дочерний кристаллик соли кубического габитуса.

г – однофазные жидкие или газовые метан-углекислотные, азот-метан-углекислотные, метановые, азотные включения ( $\text{Ж}_{\text{CO}_2}$ ;  $\text{Ж}_{\text{CH}_4+\text{N}_2+\text{CO}_2}$ ;  $\text{Ж}_{\text{CH}_4}$ ;  $\Gamma_{\text{CH}_4}$ ;  $\Gamma_{\text{N}_2}$ ;  $\Gamma_{\text{CH}_4+\text{N}_2+\text{CO}_2}$ ) (рис. 2-в).

Внутри кварцевых зерен золотосодержащих ассоциаций иногда встречаются бесформенные частицы черного цвета в окружении метан-азот-углекислых газовых включений (рис. 2-д). Там же встречены округлой формы глобулы черного цвета, которые по данным рамановской спектроскопии сложены тонкодисперсным углеродом (рис. 2-е).

В зернах кварца (I генерация) из незолотоносных предрудных метасоматитов законсервированы мелкие (5-10 мкм) флюидные включения типа ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) и ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{Ж}_{\text{CO}_2}+\Gamma$ ). Флюидные включения либо равномерно рассеяны по всему зерну кварца, либо образуют группы из 5-10 включений, не приуроченные к залеченным трещинам. Эти включения отнесены нами к первичным, либо первично-вторичным (мнимо вторичным) образованиям. Помимо первичных флюидных включений в кварце I присутствуют вторичные включения двух типов. Первый тип - газовой-жидкие, где жидкая фаза ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}$ ) всегда преобладает. Эти включения приурочены к многочисленным залеченным трещинам, которые секут границы кварцевых зерен. Многочисленные трещины, декорированные субмикронными (1-5 мкм) вторичными включениями, часто группируются в изогнутые полосы и нередко пересекаются между собой. Кварц в этих местах имеет волнистое, блочное угасание.

Второй тип вторичных включений (рис.2-г) заполнен существенно газовыми (или плотными жидкими) углекислотно-метан-азотными флюидами, которые приурочены к залеченным трещинам, пересекающих границы кварцевых зерен. Этот тип включений имеет самую разнообразную, но чаще удлиненную форму вакуолей, а их размеры (20-40 мкм) значительно превосходят размеры первичных и первично-вторичных включений. При просмотре под микроскопом в проходящем свете эти включения выглядят темными (черными). При понижении температуры на границе вакуоли и минерала-хозяина появляется тонкая каемка жидкой воды, которая замерзает при температуре  $-40^\circ\text{C}$ .



В кварце II генерации из кварц-золото-сульфидных ассоциаций законсервированы газопо-жидкие включения с переменным соотношением фаз. В кварце II в одной группе с газопо-жидкими включениями находятся и включения с углекислотой, метаном и азотом, которые не приурочены к залеченным трещинам. Такие группы включений отнесены нами к сингенетичным образованиям. В кварце II генерации обнаружены многочисленные пересекающиеся между собой трещины, при залечивании которых захватывались крупные (20-40 мкм) существенно газопо-вые включения. Залеченные трещины с газопо-выми включениями секут границы кварцевых зерен. На этом основании мы отнесли их к вторичным образованиям. Изредка в кварце второй генерации встречаются мелкие (<5-10 мкм) включения с кристалликом соли (рис.2-в), которые также тяготеют к залеченным трещинам, пересекаясь с трещинами, заполненными газопо-выми включениями. Включения с дочерними кристалликами отнесены нами к вторичным образованиям. В кварце II рудного этапа (скв. 1823, на глубинах от 523.8 до 601.8 м) присутствуют частицы углеродистого вещества в окружении газообразных метан-азот-углекислотных включений (рис. 2-д).

В кварце III генерации из золото-сурьмяной минеральной ассоциации законсервированы в основном газопо-жидкие ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) включения, где объем фазы жидкой воды всегда больше объема газовой. Реже вместе с ними встречены включения с углекислотой. По их размещению в зернах кварца и не приуроченности к залеченным трещинам такие включения отнесены нами к первичным образованиям. В кварце III присутствуют и вторичные флюидные включения, заполненные смесью метана, азота и углекислоты в различных соотношениях.

В пострудном кварце (IV генерация) и кальците из маломощных кварц-карбонатных прожилков присутствуют только газопо-жидкие ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}\gg\Gamma$ ) первичные включения, размер которых редко превышает 5-10 мкм.

#### ***Температура гомогенизации флюидных включений, состав, соленость и давление флюидов***

Результаты термометрических и криометрических исследований флюидных включений в кварце Олимпиадинского месторождения представлены в сводной таблице (см. табл. 1). Температуры гомогенизации первичных и первично-вторичных включений в кварце (генерация I) предрудных метасоматитов из незолотоносных кварц-слюдисто-сульфидных ассоциаций колеблется в интервале от 220 до 325°C при гомогенизации в жидкую фазу. В некоторых включениях, содержащих  $\text{CO}_2$ , перед полной гомогенизацией происходила разгерметизация вакуоли, что связано, вероятно, с нарастанием внутреннего флюидного давления. В первичных и первично-вторичных включениях захвачен флюид с

соленостью 10-16 мас.% (NaCl-экв.), состав водной фазы включений определяют хлориды Na. Во вторичных включениях температуры гомогенизации не превышают 190°C, в водной фазе преобладают хлориды K и Na, а соленость в среднем составляет 3 мас.% (см. табл. 1).

В кварце рудного этапа из кварц-золото-арсенопирит-пирит-пирротиновых ассоциаций температуры гомогенизации первичных и первично-вторичных включений достигают 470°C, при колебании в интервале от 260 до 470°C. Они гомогенизируются в жидкость, газ и с критическими явлениями. В этих включениях захвачен флюид с соленостью от 9.5 до 20 мас.% (NaCl-экв.), состав флюида определяют хлориды Mg и Na. Во вторичных включениях с дочерними кристалликами соли ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma+\text{Kp}$ ) законсервирован флюид с соленостью выше 30 мас.%, солевой фон флюида определяют хлориды Na и Ca. Температура гомогенизации колебалась в интервале 160-240°C, при гомогенизации в жидкость, в этом же интервале растворялись и дочерние кристаллики (см. табл.1), которые при понижении температуры вновь появлялись. Вторичные газожидкие ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\Gamma$ ) включения гомогенизировались в интервале 150-210°C при гомогенизации в жидкую фазу, соленость этого флюида колебалась от 0.5 до 3 мас. %, состав определяли хлориды K и Na.

Более низкие температуры гомогенизации первичных и первично-вторичных включений (240-300°C) определены в кварце III генерации из кварц-золото-сурьмяных ассоциаций. Соленость этих флюидов колебалась в интервале от 5.5 до 8 мас. %, солевой фон определяли хлориды Na и Mg. Вторичные включения гомогенизировались в жидкую фазу в интервале температур от 120 до 190 °C, солевой фон представлен хлоридами K и Na. Давление флюида при минералообразовании на Олимпиадинском месторождении изменялось в интервале от 0.6 до 2.5 кбар (см. табл. 1).

В кварце IV генерации из маломощных кварц-кальцитовых прожилков определены самые низкие температуры гомогенизации в интервале 110-180°C при гомогенизации в жидкую фазу, соленость менялась от 0.5 до 3 мас. % (NaCl-экв), солевой фон определяли хлориды K и Na (см. табл. 1).

Во флюидных включениях кварца и сульфидов Олимпиадинского месторождения определено содержание элементов платиновой группы (ЭПГ – Ir, Ru, Rh, Pt, Pd), которые составляют в среднем 83 и 90 ppb, соответственно. При этом доля платины и палладия во флюидах кварца и сульфидов, также близка и составляет 87 и 76 %, соответственно. Содержание рения (Re), который определен во флюидах кварца и сульфидов, существенно различается. В среднем содержание Re в кварце составляет 47 ppb при колебании в интервале от 0.4 до 442.9 ppb, а в сульфидах значительно меньше 8 ppb, меняясь в интервале от 0.1 до 65 ppb.

### *Состав газовой фазы флюидных включений в кварце и сульфидах*

Состав газовой составляющей флюидов Олимпиадинского месторождения определен методами рамановской спектроскопии и газовой хромато-масс-спектроскопии.

Методом рамановской спектроскопии определен состав газовой фазы 88 индивидуальных флюидных включений в кварце (табл. 2). Выявлено наличие трех основных компонентов:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$ , содержание которых колеблется в широких интервалах. В незолотоносных флюидах преобладают  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , при меняющихся соотношениях  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  в интервале от 0.1 до 20.4 (в среднем составляя 2.5,  $n=24$ ); в кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых ассоциациях отношение  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  колеблется в интервале от 0.05 до 8.3 (в среднем составляя 1.4,  $n=34$ ) и в кварц-золото-сурьмяных парагенезисах отношение  $\text{CO}_2/\text{CH}_4$  меняется от 0.01 до 46.5 (в среднем составляя 4.4,  $n=23$ ).

Методом газовой хромато-масс-спектрометрии во флюидных включениях из 18 образцов кварца и сульфидов (табл. 3) определены вода, уголекислота, широкий спектр углеводородных соединений и их производных: алифатических (алканы, алкены), циклических (циклоалканы, циклоалкены, арены, полициклические ароматические углеводороды – ПАУ), кислородсодержащих (спирты, эфиры, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, диоксаны, фураны), а также азот- и серосодержащие соединения. В таблице 3 (табл. 3) приведены наиболее представительные результаты, а для рисунка (3-а, б) использованы анализы 18 образцов. Общее количество обнаруженных соединений во флюидах ранних незолотоносных минеральных ассоциаций достигает - 138, в кварц-золото-сульфидных – 179, а в кварц-золото-сурьмяных – 199, то есть от ранних флюидов к более поздним увеличивается количество обнаруженных соединений (см. табл. 3).

В этом же направлении (от ранних к поздним парагенезисам) меняется и соотношение летучих компонентов. Во флюидах незолотоносных ассоциаций преобладают  $\text{CO}_2$  и в меньших количествах углеводороды и S-, N- содержащие соединения, при пониженном содержании воды (рис. 3-а). Флюиды золотоносных арсенопирит-пирротиновых парагенезисов обогащены углеводородами, S- и N-содержащими соединениями,  $\text{CO}_2$ , а во флюидах кварц-золото-сурьмяных ассоциаций преобладают  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{CO}_2$  при пониженных содержаниях углеводородов и S-, N-содержащих соединений. Особо следует отметить, что в составе флюидов из кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых ассоциаций определены галогенсодержащие углеводороды, такие как 1-фторбутан ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{F}$ ), 1-хлорбутан ( $\text{C}_4\text{H}_9\text{Cl}$ ), 1,1-дихлор-1-фторэтан ( $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}_2\text{F}$ ) и др., содержание которых почти на порядок выше, чем во флюидах ранних и поздних парагенезисов. В группе серосодержащих соединений преобладает  $\text{SO}_2$ , а в

азотсодержащих – N<sub>2</sub>, доля которых может достигать 98 и 99%, соответственно. В группе карбоновых кислот во всех флюидах присутствует уксусная кислота, доля которой колеблется в незолотоносных ассоциациях от 5.0 до 36.5%, в кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых – от 10.4 до 75.5% и в кварц-золото-сурьмяных – от 3.6 до 27.7%.

#### ***Изотопный состав серы сульфидов***

Результаты изотопного анализа серы сульфидов из кварцевых жил (55 образцов) сведены в таблице 4 и изображены на рисунке 4. Изотопный состав серы в пирротине варьирует в интервале от 2.7 до 13.0‰. В таком же широком интервале меняется и изотопный состав серы в арсенопирите – от 1.5 до 12.9‰. Более узкие интервалы значений  $\delta^{34}\text{S}$  отмечены в пирите и антимоните – от 5.8 до 8.8 и от 4.5 до 10.4‰, соответственно. В эти же интервалы попадает и значение  $\delta^{34}\text{S}$  сфалерита - 8.8‰. Следует отметить, что изотопно-легкие значения  $\delta^{34}\text{S}$  определены в корневой части самого богатого золотом рудного тела №4 Олимпиадинского месторождения. Арсенопирит с глубины 817 м (скв. 510-817, табл. 4) показал значение  $\delta^{34}\text{S}=1.5\text{‰}$ , с глубины 514 м – 2.4‰ (скв.1823-514, табл. 4), а в пирротине с глубины 618 м (скв.182-618а, табл. 4) определено значение  $\delta^{34}\text{S}=2.7\text{‰}$ . Наибольшее количество (~87%) значений  $\delta^{34}\text{S}$  находится в интервале от 5.4 до 11.0 ‰, не превышая вариации 6 ‰.

#### ***Изотопы гелия***

Во флюидных включениях кварца III генерации из кварц-золото-сурьмяной минеральной ассоциации (образец 503-202.9) с содержанием Au=10.8 г/т и Sb=4.42 % определено содержание изотопов гелия (<sup>4</sup>He и <sup>3</sup>He), которое составляет  $56 \times 10^{-6}$  и  $2.8 \times 10^{-12}$  см<sup>3</sup>/г, соответственно, отношение <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He равно  $0.05 \times 10^{-6}$ .

#### ***Возраст формирования месторождения***

Для определения возраста формирования Олимпиадинского месторождения отобраны калийсодержащие минералы (серицит и мусковит) из незолотоносных кварц-слюдисто-сульфидных, кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых и кварц-золото-сурьмяных ассоциаций. <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar исследования проведены на 16 образцах, отобранных из 9 скважин в интервале глубин от 39 до 718.5 м рудного тела №4. Ar-Ar возраст формирования незолотоносных ассоциаций составляет интервал  $808.4 \pm 7.7$  –  $817.1 \pm 6.3$  млн. лет; кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых парагенезисов  $758.0 \pm 6.0$  –  $803.0 \pm 6.1$  млн. лет и кварц-золото-сурьмяных ассоциаций  $-660.0 \pm 19.0$  –  $795.2 \pm 5.8$  млн. лет (см. табл. 5, рис. 5).

### **Обсуждение результатов**

Обобщение полученных данных при исследовании флюидных включений в минералах уникального на Енисейском кряже Олимпиадинского золоторудного

месторождения позволяет сделать вывод, что два типа флюида одновременно или последовательно принимали участие в его формировании: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный. Под термином «флюид» вслед за Ф.А. Летниковым [Летников, 2001, 2006] понимается существенно газовая, водно-газовая, водная фаза в соединении с петрогенными и рудными элементами.

Гидротермальная деятельность на Олимпиадинском месторождении начиналась с формирования предрудных метасоматитов, представленных незолотоносными или слабозолотоносными кварц-сланцисто-сульфидными ассоциациями. Температура формирования этих парагенезисов составляла интервал от 220°C до 325°C, а давление флюида колебалось от 0.6 до 2.2 кбар, соленость флюида в первичных и первично-вторичных включениях также изменялась от 10 до 16 мас.%, NaCl-экв. (см. табл. 1). По данным газовой хромато-масс-спектрометрии (см. табл. 3) в составе флюида постоянно присутствуют вода и углекислота, т.е. этот флюид можно отнести к водно-углекислотному типу. Кварцевые зерна предрудных метасоматитов месторождения испытали неоднократные деформации уже после своего формирования, сопровождающиеся захватом новых групп включений при залечивании трещин. Это выразилось в появлении двух генераций вторичных включений: газовых и газовой-жидких со своими ТРХ-характеристиками (см. табл. 1, 3). По данным Ar-Ar датирования предрудные метасоматиты формировались в период  $808.4 \pm 7.7 - 817.1 \pm 6.3$  млн. лет.

Кварц-золото-арсенопирит-пирротиновые ассоциации рудного этапа гидротермальной деятельности на месторождении формировались при более высоких температурах, которые уже достигали 470°C при гомогенизации и в жидкость, и в газ, и с критическими явлениями, т.е. во включения захватывался гетерофазный флюид. Изменение давления в интервале 1.1 -2.5 кбар (см. табл. 1) привело к кипению исходного поликомпонентного водно-углекисло-углеводородного флюида и разделению его на существенно водную часть (включения типа  $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{Г}$ ,  $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} \pm \text{Ж}_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2} + \text{Г}$ ) и газовую или жидко-газовую (тип включений:  $\text{Г}_{\text{H}_2\text{O}} \pm \text{Г}_{\text{CH}_4 \pm \text{N}_2 \pm \text{CO}_2}$ ,  $\text{Ж}_{\text{CH}_4 \pm \text{N}_2 \pm \text{CO}_2} + \text{Г}$ ). При кипении в состав газовой фазы переходят преимущественно  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$ , поскольку коэффициенты их растворимости в воде на 1-2 порядка ниже, чем у  $\text{CO}_2$  [Naden, Shephard, 1989; Кряжев, 2010]. Кипение флюида является эффективной причиной кристаллизации рудных минералов, в том числе и золота [Ермаков, Долгов, 1979; Рёддер, 1987; Mishra, Pal, 2008]. Соленость флюида в первичных и первично-вторичных включениях меняется в интервале от 9.5 до 20 мас. %, NaCl-экв. Кварцевые жилы с золото-арсенопирит-пирротиновой минерализацией неоднократно подвергались воздействию более поздних существенно газовых (или жидко-газовых), высокосолёных и низкосолёных флюидов, о чем

свидетельствуют генерации вторичных включений (см. табл. 1, В - б, в, г). В газовых включениях по данным рамановской спектроскопии определены  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2$  в различных соотношениях (см. табл. 3). Вторичные высокосолёные ( $\text{H}_2\text{O}+\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$ ) включения с дочерними кристалликами ( $\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}}+\text{Г}+\text{КР}$ , рис. 2-В) обнаружены в золотоносном кварце корневой части рудного тела №4 Олимпиадинского месторождения на глубинах ниже 500 м (скв. 182, гл. 618 м., скв. 1823, гл. 514, 523.8 и 601.8 м). Присутствие достаточно концентрированных (>30 мас. %)  $\text{NaCl}-\text{CaCl}_2$ -содержащих флюидов на золоторудных месторождениях мира является характерной особенностью протерозойских гидротермальных систем, тяготеющих к гранитоидным массивам [Ху, 2000; Shelton et al., 2004; Бхаттачарайа, Паниграйн, 2011]. Полагаем, что источником высокосолёного флюида могли быть постмагматические гидротермальные растворы близлежащих гранитоидов, которые почти полукольцом окружают рудное поле месторождения. Такой же высокосолёный тип флюида обнаружен на золоторудном месторождении Панимба, также находящегося в зоне влияния Чиримбинского гранитоидного массива [Гибшер и др., 2017].

Формирование ранней кварц-золото-арсенопирит-пирротиновой ассоциации рудного этапа происходило во временном интервале от  $803.0\pm 6.1$  до  $758.0\pm 6.0$  млн. лет, где преобладают датировки от 795 до 784 млн. лет (см. табл. 5, рис. 5). Ранняя основная золотоносная кварц-арсенопирит-пирротиновая ассоциация сменяется более поздней кварц-золото-сурьмяной, которая формировалась в период от  $795.2\pm 5.8$  до  $660.0\pm 19.0$  млн. лет с преобладанием молодых датировок в интервале 757-718 млн. лет. Возраст рекристаллизованных арсенопиритовых агрегатов в ассоциации с сурьмяной минерализацией по  $\text{Re}/\text{Os}$  методу соответствует  $689\pm 28$  млн. лет [Vorisenko et al., 2014]. На основании сопоставления  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировок изученных парагенезисов прерудного и рудного этапов следует, что гидротермальная деятельность на Олимпиадинском месторождении продолжалась во временном интервале не менее 150 млн. лет (от 817 до 660 млн. лет) [Гишер и др., 2018-б]. Возраст кристаллизации ближайшего многофазного Чиримбинского гранитоидного массива, обнажающегося на юге и юго-западе рудного поля (см. рис. 1), составляет по одним данным  $840\pm 150$  млн. лет [Волобуев и др., 1973], по другим  $870\pm 35$  млн. лет [Новожилов и др., 2014],  $868.9\pm 6.5$  млн. лет [Сазонов и др., 2016],  $761.5\pm 8.0$  млн. лет [Верниковская и др., 2002]. Остывание этого массива до температуры закрытия  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  системы биотита произошло  $721.4\pm 1.6$  млн. лет назад [Верниковская и др., 2002]. Эти данные позволяют нам считать, что период от внедрения и кристаллизации до остывания и подъема к верхним уровням земной коры Чиримбинского плутона в интервале времени от 868 до 721 млн. лет длился не менее 150 млн. лет. Такой крупный

плутон, как Чиримбинский, мог обеспечить более медленное остывание области рудоотложения и тем самым поддерживать более длительное функционирование поднимающихся рудоносных растворов. На длительность формирования руд Олимпиадинского месторождения, которая составляет почти 179 млн. лет указывают и данные, полученные Ю.И. Новожилов с соавторами [Новожилов и др., 2014]. Полученный нами Ar-Ar возраст формирования Олимпиадинского месторождения близок возрасту развития тектоно-магматических процессов, связанных с эпохами заложения и эволюции рифтогенных структур и проявлениями внутриплитного магматизма на рубеже трех эпох [Ножкин и др., 2011].

Несмотря на различающиеся ТРХ-параметры формирования разновозрастных минеральных парагенезисов Олимпиадинского месторождения, их объединяет одно – они были подвержены в разной степени воздействию углекисло-углеводородных флюидов. Восстановительный характер этих флюидов подтверждается присутствием таких компонентов как парафины (алканы) и олефины (алкены) (см. табл. 3). Отношения алканы/алкены авторы работ [Norman et al., 2002; Blamey, 2012] предлагают использовать для реконструкции окислительно-восстановительного потенциала флюидов. При доминировании алканов – флюид восстановленный, а при преобладании алкенов – флюид окисленный. По данным газовой хромато-масс-спектрометрии (см. табл. 3) во флюидах Олимпиадинского месторождения отношения алканы/алкены колеблются от 1.1 до 30.9, т. е. флюиды отвечают восстановленному состоянию. На восстановленный характер флюидов указывает и пониженное содержание воды (от 0.4 до 13.7 отн. %, см. табл. 3) особенно в кварц-золото-арсенопирит-пирротиновых ассоциациях рудного этапа, в то время как в более поздней сурьмяносодержащей ассоциации содержание воды увеличилось от 40 до 65 отн. % (см. табл. 3), указывая на смену восстановленных флюидов окисленными. По данным А.А. Ярошевского [Ярошевский, 2006] низкое содержание воды во флюиде является необходимым условием для возникновения восстановительной обстановки в минералообразующей среде.

Углекислота в разных количествах постоянно присутствует во флюидах Олимпиадинского месторождения, как по данным рамановской спектроскопии (см. табл. 2), так и газовой хромато-масс-спектрометрии (см. табл. 3). В глубинах земной коры компоненты флюида, в том числе и CO<sub>2</sub>, находятся в сверхкритическом состоянии [Savage et al., 1995; Горбатый, Бондаренко, 2007; Летников и др., 2018]. Сверхкритический флюид представляет собой нечто среднее между жидким и газообразным состоянием и проявляет уникальную реакционную способность в переносе и отложении рудного вещества [Летников и др., 2018]. CO<sub>2</sub>, как сверхкритический флюид, применяется для анализа

нелетучих веществ, которые не могут быть проанализированы методом газовой хроматографии. Для этого используется сверхкритическая флюидная хроматография [Тейлор, Миллер, 2010]. По данным этих авторов  $\text{CO}_2$  в смеси с метанолом, этанолом и 1- и 2-бутанолом обладает высокой растворяющей способностью. Такими же свойствами может обладать и  $\text{SO}_2$ . При увеличении  $\text{H}_2\text{O}$  во флюиде, растворяющая способность  $\text{CO}_2$  и  $\text{SO}_2$  падает [Тейлор, Миллер, 2010]. Полагаем, что при развитии такого сценария в природных условиях, сульфиды и золото, должны осаждаться.

Во флюидах Олимпиадинского месторождения определены содержания элементов платиновой группы (Ir, Ru, Rh, Pt, Pd) и Re, которые указывают на два типа флюида [Гибшер и др., 2018]. Предполагаем, что флюиды с повышенным содержанием платиноидов (~90 ppb) поступали по зонам тектонических разломов с более глубоких горизонтов континентальной коры. Флюиды с контрастным содержанием рения в областях минералообразования связывают с углеродсодержащими осадочными породами [Baïomy et al., 2011]. В рудовмещающих породах Олимпиадинского месторождения присутствуют углеродистые сланцы [Ли, 2003]. Рений, обнаруженный во флюидах месторождения при колебании содержания от 0.1 до 423 ppb, мог заимствоваться из вмещающих пород при взаимодействии флюид - углеродистые сланцы.

Восстановленные флюиды способны аккумулировать и переносить значительные массы самородных элементов, в том числе и золота [Gizé, Macdonald, 1993; Emsbo et al., 2007]. На основе проведенных экспериментов было показано, что золото и другие рудные элементы переносятся углеводородами, т.е. углеводороды выступают в роли рудного флюида [Закиров др., 2008; Zevin et al., 2007, 2008; Williams-Jones et al., 2009; Funhs et al., 2015; Migdisov et al., 2017]. Во флюидных включениях из самородного золота Советского месторождения на Енисейском кряже методом газовой хромато-масс-спектрометрии в значительных количествах (>80 отн. %) определены  $\text{CO}_2$ , углеводороды, S-, N-содержащие соединения, и гораздо меньше воды (<13 отн. %) [Бульбак и др., 2018; Bul'bak et al., 2018].

Экспериментальные данные в системе Fe-C-S при высоких T-P-параметрах показали, что флюидная фаза имеет сложный состав и характеризуется присутствием не только неорганических компонентов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{CS}_2$ , COS), но и органических соединений, включая тяжелые углеводороды и их кислородсодержащие аналоги [Жимулёв и др., 2015]. На сложный состав флюидов Олимпиадинского месторождения указывает и количество обнаруженных соединений, которое увеличивается с 138 в прерудных метасоматитах, до 179 в кварц-золото-сульфидных и 199 – в сурьмяносодержащих ассоциациях. Такое увеличение, возможно, связано с поступлением дополнительных порций химических соединений во флюид из других источников.



В эндогенных процессах летучие компоненты флюидов сохраняют высокую подвижность [Малышев, 2008; Archibalt et al., 2001; Williams-Jones & Heinrich, 2005]. Идея о том, что газы могут играть роль в транспорте металлов изначально высказана на основе теоретических исследований [Krauskopf, 1957]. Затем находки золота в ощутимых количествах в газовых включениях золоторудных месторождений Аргентины и Индонезии привели авторов [Ulrich et al., 1999] к заключению, что газы играют важную роль в переносе металлов, в том числе и золота. Газообразные углекисло-углеводородные флюиды, обнаруженные в минералах Олимпиадинского месторождения, обладая высокой подвижностью, явились причиной появления рассеянной золоторудной минерализации в больших объемах кварц-карбонат-слюдистых сланцев с пластами известняков, играющих роль геохимических барьеров. На карбонатсодержащие породы месторождения воздействовали рудообразующие флюиды, содержащие до 19 отн. % карбоновых кислот (см. табл. 3). По данным [Greenwood et al., 2013] карбоновые кислоты, с одной стороны, хорошо растворимы в воде и являются транспортирующей средой. С другой стороны, одновременно эти кислоты увеличивают пористость вмещающих пород, что также способствует миграции элементоорганических соединений (ЭОС) в восстановленных флюидах. Флюиды, транспортирующие металлы в зоны рудоотложения, должны иметь в своем составе такие элементы как Cl, F, B, P, S, N [Williams-Jones et al., 2009]. В составе флюидов Олимпиадинского месторождения по данным газовой хромато-масс-спектрометрии такой набор элементов был обнаружен (см. табл. 3).

Сульфидная сера арсенопирита и пирротина, основных концентраторов золота Олимпиадинского месторождения, обогащена тяжелым изотопом  $\delta^{34}\text{S}$  в интервале от 1.5 до 13‰. В антимоните, пирите и сфалерите получены более узкие интервалы  $\delta^{34}\text{S}$  от 4.8 до 10.4‰ (см. табл. 4, рис. 4). Полученные нами данные по  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов кварцевых жил месторождения сопоставимы с ранее выполненными определениями на Олимпиадинском месторождении [Сердюк и др., 2010; Константинов, Косовец, 2007; Кряжев, 2017]. По изотопным данным сера в рудах месторождения (от 1.5 до 13.0‰) могла быть получена путем «усреднения» серы вмещающих пород, и эти значения указывают на коровую природу [Омото, Рай, 1982].

Во флюидных включениях кварца из кварц-золото-сурьмяной ассоциации Олимпиадинского месторождения определено содержание изотопов гелия,  $^3\text{He}=2.8 \times 10^{-12}$  и  $^4\text{He}=56 \times 10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г, при этих параметрах отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}=0.05 \times 10^{-6}$ . В работах [Икорский и др., 2006; 2014; Ветрин и др., 2003] показано, что мантийный флюид обогащен изотопом  $^3\text{He}$ , а коровый –  $^4\text{He}$ , поэтому отношение  $^3\text{He}/^4\text{He}$  может быть использовано для диагностики источника этого элемента. Доля мантийного гелия ( $^3\text{He}$ ), рассчитанная по

методу [Халенёв, 2010; Прасолов и др., 2018], во флюидах сурьмянодержащих ассоциаций Олимпиадинского месторождения составляет 0.25 %. Это дает нам основание предполагать, что золотоносные флюиды имеют коровое происхождение.

### **Выводы**

Золоторудное Олимпиадинское месторождение сформировано металлоносными окисленными водно-углекислотными и восстановленными углекислотно-углеводородными флюидами в интервале температур от 220 до 470°C и давлений от 0.6 до 2.5 кбар.

Месторождение формировалось во временном интервале от 660 до 817 млн. лет назад и вписывается по времени в интервал кристаллизации и остывания многофазного Чиримбинского гранитоидного массива. Гидротермальная деятельность флюидов на месторождении продолжалась не менее 150 млн. лет.

Флюиды золотоносных минеральных ассоциаций в своем составе содержали CO<sub>2</sub>, углеводороды, S-, N-, галогенсодержащие соединения, которые потенциально способны транспортировать рудные элементы, в том числе Au, элементы платиновой группы и могут быть положительным индикатором золотоносности.

Уникальное по запасам золота на Енисейском кряже Олимпиадинское месторождение сформировалось благодаря соединению ряда благоприятных факторов, в число которых входит геологическое положение, продолжительная деятельность восстановленных флюидов, поступающих из глубин земной коры.

Работа выполнена в рамках государственного задания, проект № 0330-2016-0005, Российского научного фонда №14-17-00602П.

### **Литература**

**Афанасьева З.Б., Иванова Г.Ф., Миклишанский А.З., Ромашова Т.В., Колесов Г.М.** Геохимическая характеристика вольфрамового оруденения Олимпиадинского золото-сульфидного месторождения (Енисейский кряж)// Геохимия, 1995, №1, с. 29-47.

**Баранова Н.Н., Афанасьева З.Б., Иванова Г.Ф., Миронова О.Ф., Колпакова Н.Н.** Характеристика процессов рудообразования на Au (Sb-W) месторождения Олимпиада (по данным изучения минеральных парагенезисов и флюидных включений) // геохимия, 1997, № 3, с. 282-293.

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

**Бхаттачаряйа С., Паниграйи М.К.** Гетерогенность флюидных характеристик в районе Рамагири-Пенакачерла восточной части кратона Дарвар: связь с золоторудной минерализацией // Геология и геофизика, 2011, т. 52, № 11, с. 1821-1834.

**Бульбак Т.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Гибшер Н.А., Рябуха М.А., Хоменко М.О.** Углеводороды флюидных включений в минералах руд месторождений золота Енисейского кряжа. Тезисы XVIII Всероссийской конференции по термобарогеохимии (100-тие Ю.А. Долгова). М., Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, 2018, с. 32-34.

**Буряк В.Н.** Метаморфизм и рудообразование. М. : Недра, 1982, 256 с.

**Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Сальникова Е.Б., Даценко В.М., Котов А.Б., Ковач В.П., Травин А.В., Яковлева С.З.** Гранитоиды Ерудинского и Чиримбинского массивов Заангарья Енисейского кряжа – индикаторы неопротерозойских коллизионных событий // Геология и геофизика, 2002, т. 43(3), с. 259-272.

**Ветрин В.Р., Каменский И., Икорский С.В., Ганнибал М.А.** Ювенильный гелий в архейских эндербитах и щелочных гранитах Кольского полуострова // Геохимия, 2003, № 7, с. 699-705.

**Генкин А.Д., Лопатин В.А., Савельев Р.А., Сафонов Ю.Г., Сергеев Н.Б. и др.** Золотые руды месторождения Олимпиада (Енисейский кряж, Сибирь) // Геология рудных месторождений, 1994, т. 36, № 2, с. 111-136.

**Генкин А.Д., Вагнер Ф.Е., Крылова Т.Л., Цепина А.И.** Золотоносный арсенопирит и условия его образования на золоторудных месторождениях Олимпиада и Ведуга (Енисейский кряж, Сибирь) // Геология рудных месторождений, 2002, т. 44, № 1, с. 59-76.

**Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Рябуха М.А., Тимкина А.Л.** Золоторудное месторождение Герфед: характеристика флюидов и РТ-условия образования кварцевых жил (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика, 2011, т. 52 (11), с. 1851-1867.

**Гибшер Н.А., Рябуха М.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Хоменко М.О., Бульбак Т.А., Некрасова Н.А.** Характеристика металлоносных флюидов и возраст формирования золоторудного месторождения Панимба (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика, 2017, т. 58, № 11, с. 1721-1741.

**Гибшер Н.А., Козьменко О.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Рябуха М.А.** Элементы платиновой группы и рений во флюидах Олимпиадинского золоторудного месторождения (Енисейский кряж, Россия). Тезисы XVIII Всероссийской конференции по термобарогеохимии (100-летие Ю.А. Долгова). М. Минералогический музей им. А.Е. Ферсмана, 2018-а, с. 37-38.

**Гибшер Н.А., Сазонов А.М., Травин А.В., Томиленко А.А., Пономарчук А.В., Сильянов С.А., Некрасова Н.А., Шапаренко Е.О., Рябуха М.А., Хоменко М.О.** Возраст и продолжительность формирования Олимпиадинского золоторудного месторождения (Енисейский кряж, Россия) // Геохимия, 2019, №5 (принята в печать).

**Горбатый Ю.Е., Бондаренко Г.В.** // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2007, т. 2, № 2, с. 5-19.

**Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.** Термобарогеохимия. Изд-во Недра, М.1979, 271с.

**Закиров И.В., Дадзе Т.П., Сретенская Н.Г., Каширцева Г.А.** Растворимость золота в малоплотных гидротермальных флюидах (экспериментальные данные) // ДАН, 2008, т.423, №6, с.792-794.

**Икорский С.В., Ганнибал М.А., Аведисян А.А.** Импрегнирование гелия во флюидные включения в минералах при высоких температурах (по экспериментальным данным на примере кварца и нефелина) // ДАН, 2006, т.411, №1, с.106-110.

**Икорский С.В., Каменский И.Л., Аведисян А.А.** Изотопы гелия в зонах контакта щелочных интрузивов различного размера (на примерах щелочно-ультраосновного

интрузива Озерная, Варака и Ловозерского массива нефелиновых сиенитов, Кольский полуостров) // ДАН, 2014, т.459, №4, с. 474-478.

**Константинов М.М., Косовец Т.Н.** Изотопно-геохимические особенности сульфидной серы золоторудных месторождений в терригенных толщах // Руды и металлы, 2007, №5, с. 49-57.

**Киргинцев А.Н., Трушников Л.И., Лаврентьева В.Г.** Растворимость неорганических веществ в воде. Справочник. Изд-во Химия, Л., 1972, 247с.

**Козьменко О.А., Палесский С.В., Николаева И.В., Томас В.Г., Аношин Г.Н.** Усовершенствование методики химической подготовки геологических образцов в трубках Кариуса для определения элементов платиновой группы и рения // Аналитический контроль, 2011, т.15, №4, с.378.

**Кряжев С.Г., Гриненко В.А.** Изотопный состав и источники серы золото-сульфидных месторождений Енисейского края // XVIII Симпозиум по геохимии изотопов. Тез. докл. М., ГЕОХИ РАН, 2007, с.37.

**Кряжев С.Г.** Современные проблемы теории и практики термобарогеохимии // Руды и металлы, 2010, №2, с.38-46.

**Кряжев С.Г.** Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах. Автореферат д. г-м.н., М. ФГУП ЦНИГРИ, 2017, 52с.

**Летников Ф.А.** Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза // Геология рудных месторождений, 2001, т.43, №4, с.291-307.

**Летников Ф.А.** Флюидный режим эндогенных процессов и проблемы рудогенеза // Геология и геофизика, 2006, т.47, №12, с.1296-1307.

**Летников Ф.А., Шумилова Т.Г., Медведев В.Я., Иванова Л.А.** Транспорт и кристаллизация самородной платины в условиях сверхкритического С-О-Н флюида // ДАН, 2018, т.479, №4, с.430-432.

**Ли Л.В., Круглов Г.П., Шохина О.И., Вербицкий Б.П.** Роль литологических и структурных факторов в локализации прожилково-вкрапленного оруденения в надинтрузивной зоне // Геология рудных месторождений, 1984, №1, с. 83-88.

**Ли Л.В.** Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото-сульфидных руд. Красноярск, КНИИГиМС, 2003, 117с.

**Малышев А.И.** Газовая диффузия в эволюции магматических систем // ДАН, 2008, т.422, №2, с.233-235.

**Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М.** Золото-сульфидные месторождения в углеродисто-терригенных толщах. Месторождение Олимпиадинское. М., ЦНИГРИ, 1999, 175с.

**Новожилов Ю.И., Гаврилов А.М., Яблокова С.В., Арефьева В.А.** Крупнообъемные месторождения золота в черносланцевых толщах – геолого-структурные, генетические, геохимические особенности, технологии обработки руд // Руды и металлы, 2014, № 3, с. 51-64.

**Ножкин А.Д., Борисенко А.С., Неволько П.А.** Этапы позднепротерозойского магматизма и возрастные рубежи золотого оруденения Енисейского края // Геология и геофизика, 2011, т. 52, №1, с. 155-181.

**Омото Х., Рай Р.** Изотопы серы и углерода. В книге Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М.: Мир, 1982, с. 405-455.

**Пальянова Г.А., Соболев Е.С., Реутский В.Н., Бортникова Н.С.** Пиритизированные двустворчатые моллюски из верхнего триаса орогенного золото-сурьмяного месторождения Сентачан (Восточная Якутия): минеральный состав и изотопный состав серы // Геология рудных месторождений, 2016, т.58, №6, с.513-521.

**Петров В.Г.** Условия золотоносности северной части Енисейского края. Труды Института геологии и геофизики, вып. 69, Наука, Новосибирск, 1974, 138с.

**Прасолов Э.М., Сергеев С.А., Белицкий Б.В., Богомолов Е.С., Груздов К.А., Капитонов И.Н., Крымский Р.Ш., Халенёв Д.О.** Исследование изотопов He, Ar, S, Cu, Ni, Re, Os, Pb, U, Sm, Nd, Rb, Sr, Lu и Hf в породах и рудах Норильских месторождений // Геохимия, 2018, №1, с. 50-69.

**Прокофьев В.Ю., Афанасьева З.Б., Иванова Г.Ф., Буарон М.К., Мариньяк Х.** Исследование флюидных включений в минералах Олимпиадинского Au-(Sb-W) месторождения, Енисейский край. //Геохимия, 1994, №4, с.1012-1029.

**Рёддер Э.** Флюидные включения в минералах. М., Мир, 1987, т. I, 558с.

**Рябуха М.А., Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Бульбак Т.А., Хоменко М.О., Сазонов А.М.** РТХ-параметры метаморфогенных и гидротермальных флюидов; изотопия и возраст формирования Богунайского золоторудного месторождения южной части Енисейского кряжа (Россия) //Геология и геофизика, 2015, т.56, №6, с 1153-1172.

**Сазонов А.М., Кременецкий А.А.** Геохимия золота в метаморфическом комплексе Северного Приладожья //Геохимия,1994, №10, с.1451-1464.

**Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.С., Звягина Е.А., Фёдорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И.** Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология, 2010, №4, с.371-395.

**Сазонов А.М., Некрасова Н.А., Звягина Е.А., Тишин П.А.** Геохронология гранитов, вмещающих сланцев и руд месторождения золота Панимба (Енисейский край // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология, 2016, №2, с.174-188.

**Сердюк С.С., Коморовский Ю.Е., Зверев А.И., Ояберь В.К., Власов В.С., Бабушкин В.Е., Кириленко В.А., Землянский С.А.** Модели месторождений золота Енисейской Сибири. Красноярск, СФУ, 2010, 584с.

**Тейлор Л., Миллер Л.** Сверхкритическая флюидная хроматография с насадочными колонками // Сверхкритические флюиды. Теория и практика, 2011, т.6, №1, с.69-83.

**Толстихин И.Н., Прасолов Э.М.** Методика изучения изотопов благородных газов из микровключений в горных породах и минералах. Сб. Исследования минералообразующих растворов и расплавов по включениям в минералах.Труды ВНИИСИМС. т. XIV, Александров, 1971, с. 86-98.

**Томиленко А.А., Гибшер Н.А.** Особенности состава флюидов в рудных и безрудных зонах Советского кварц-золоторудного месторождения ( по данным изучения флюидных включений) //Геохимия, 2001, №2, с.167-177.

**Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Козьменко О.А., Палесский С.В., Николаева И.В.** Лантаноиды во флюидных включениях, кварце и зеленых сланцах из золотоносных и безрудных кварцево-жильных зон Советского кварц-золоторудного месторождения, Енисейский край, Россия //Геохимия, 2008, №4, с.438-444.

**Травин А.В.** Термохронология раннепалеозойских коллизионных, субдукционно-коллизионных структур Центральной Азии //Геология и геофизика, 2016, т.57, №3, с.553-574.

**Халенёв В.О.** Изотопный состав гелия и аргона, как критерий рудоносности интрузивов Норильского района. Автореферат диссертации к.г.-м.н., Санкт-Петербург, 2010, 18с.

**Ярошевский А.А.** О возможных геохимических условиях формирования локальных восстановительных обстановок в земной коре и верхней мантии // Геохимия, 2006, №3, с. 345-346.

**Archibald S.M., Migdisov A.A., Williams-Jones A.E.** The stability of Au-chloride complexes on water vapor at elevated temperatures and pressure // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, v. 65, p. 4413-4423.

**Baioumy H.M., Eglinton L.B., Peucker-Ehrenbrink B.** Rhenium-osmium isotope and platinum group element systematic of marine vs. non-marine organic-rich sediments and coals from Egypt // *Chemical Geology* 285 (2011) p. 70-81

**Bakker R.J.** Fluids: new software package to handle microthermometric data and to calculate isochors // *Memoir Geol. Soc.*, 2001, №7, p. 23-25

**Brown P.E., Lamb W.M.** P-V-T properties of fluids in the system  $H_2O \pm CO_2 \pm NaCl$ : new graphical presentations and implications for fluid inclusion studies // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1989, v. 53, p. 1209-1231

**Blamey N. J. F.** Composition and evolution of crustal, geothermal and hydrothermal fluids interpreted using quantitative fluid inclusion gas analysis // *J. Geochem. Exp.*, 2012, v. 116-117, p. 17-27.

**Borisenko A.S., Sazonov A.M., Nevolko P.A., Naumov E.A., Tessalina S., Kovalev K.R., Sukhorukov V.P.** Gold Deposits of the Yenisei Ridge (Russia) and Age of Its Formation. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, 2014, **88** (supp. 2), p. 686-687.

**Bul'bak T.A., Tomilenko A.A., Sazonov A.M., Gibsher N.A., Ryabukha M.A., Khomenko M.O.** Hydrocarbons in the fluid inclusions of native gold // *Asian current research on fluid inclusions VIII (ACROFI-VIII)*, China, 2018, p.

**Duan Z., Moller N., and Weare J.H.** A general equation of state for supercritical fluid mixtures and molecular dynamics simulation of mixture PVTX properties. *Geochim. Cosmochim. Acta* 60 1996, 1209-1216.

**Dubessy J., Poty B., Ramboz C.** Advances in C-O-H-N-S fluid geochemistry based on micro-Raman spectrometric analysis of fluid inclusions // *Eur. J. Miner.*, 1989, № 1, p. 517-534

**Emsbo P., Koenig A.E.** Transport of Au in petroleum: evidence from the northern Carlin trend, Nevada. In: Andrew C.J., Borg G. (Eds.) *Digging Deeper*, Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting. Irish Association for Economic Geology, Dublin, 2007, p. 695-698.

**Fuchs S., Schumann D., Williams-Jones A.E., Vali H.** The growth and concentration of uranium and titanium minerals in hydrocarbons of the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa // *Chen. Geol.*, 2015, № 55-66, p. 393-394

**Gizé A.F., Macdonald R.** Generation of compositionally atypical hydrocarbons in  $CO_2$ -rich geologic environment // *Geology*, 1993, v. 21, p. 129-132

**Greenwood P.F., Brocks J.J., Grice K., Schwark L., Dick J.M., Evans K.A.** Organic geochemistry and mineralogy. I. Characterization of organic matter associated with metal deposits // *Ore Geol. Rev.*, 2013, № 50, p. 1-27

**Groves D.I., Goldfarb R.J., Santosh M.** The conjunction of factors that lead to formation of giant gold provinces in non-arc setting // *Geoscience Frontiers*, 7 2016, p. 303-314.

**Krauskopf K.B.** The heavy metal content of magmatic vapor at 600°C // *Economic Geology*, 1957, v. 52, p. 786-807.

**Migdisov A.A., Guo X., Xu H., Williams-Jones A.E., Sun C.J., Vasyukova O., Sugiyama I., Fuchs S., Pearce K., Roback R.** Hydrocarbons as ore fluids // *European association of Geochemistry, Geochemical perspectives, Letters*, 2017, № 5, p. 47-52

**Mishra B., Pal N.** Metamorphism, fluid flux and fluid evolution relative to gold mineralization in the Hutti-Mashi Schist Belt, Eastern Dharwar Craton, India // *Econ. Geol.* 2008, v. 103, p. 801-827.

**Naden J., Shepherd T.J.** Role of methane and carbon dioxide in gold deposition // *Nature*, 1989, v. 343, p. 793-795.

**Norman D.I., Blamey N., Moore J.N.** Interpreting geothermal processes and fluid sources from fluid inclusion organic compounds and  $CO_2/N_2$  ratios // *Proceeding of 27<sup>th</sup> Workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002, p. 234-241.

**Ohmoto H., Rye R.O.** Isotopes of sulfur and carbon // *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*. N.Y., Wiley, 1979, p. 509-567.

**Savage P.E., Gopalan S., Mizan T.I., Martino C.J., Brock E.E.** Reactions at Supercritical conditions: Applications and Fundamentals // *AIChEJ.*, 1995, v. 41, № 7, p. 1723-1778

**Shelton K.I., McMenamg T.A., van Hees E.H., Falck H.** Deciphering the complex fluid history of a greenstone-hosted gold deposit: fluid inclusion and stable isotope studies of the Giant Mine, Yellowknife Northwest Territories, Canada // *Econ. Geol.*, 2004, v. 99, p. 1643-1663.

**Sokol A.G., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A., Palyanova G.A., Sokol I.A., Palyanov Y.N.** Carbon and Nitrogen Speciation in N-poor C-O-H-N Fluids at 6.3 GPa and 1100–1400 °C // *Scientific Reports* 2017, a, | 7: 706

**Sokol, A.G., Palyanov, Y.N., Tomilenko, A.A., Bul'bak, T.A., Palyanova, G.A.** Carbon and nitrogen speciation in nitrogen-rich C–O–H–N fluids at 5.5–7.8 GPa // *Earth Planet. Sci. Lett.* 2017, b, 460. P. 234-243.

**Thiéry R., van den Kerkhof A.M., Dubessy J.**  $\nu_X$  properties of CH<sub>4</sub> – CO<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> – N<sub>2</sub> fluid inclusions: modeling for T<31°C and P<400 bars // *Eur. J. Miner.*, 1994, v. 6, № 6, p. 753-771

**Tomilenko A.A., Gibsher N.A., Dublaynsky Y.V., Dallai L.** Geochemical and isotopic properties of fluid from gold-bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye deposit (Siberia, Russia) // *Econ. Geol.*, 2010, v. 105, p. 375-394.

**Tomilenko A.A., Chepurov A.I., Sonin V.M., Bul'bak T.A., Zhimulev E.I., Chepurov A.A., Timina T.Yu. Pokhilenko N.P.** The synthesis of methane and heavier hydrocarbons in the system graphite-iron-serpentine at 2 and 4 Gpa and 1200°C // *High Temp. High Pres.*, 2015, v. 44, p. 451-465.

**Ulrich T., Günther D., Heinrich C.A.** Gold concentrations of magmatic brines and the metal budget of porphyry copper deposits // *Nature*, 1999, v. 399, p. 676-679.

**Williams-Jones A.E. and Heinrich C.A.** Vapor transport of metals and the formation of magmatic-hydrothermal ore deposits // *Economic Geology*, 2005, v. 100, p. 1287-1312.

**Williams-Jones A.E., Bowell R.J., Migdisov A.A.** Gold in solution // *Element*, 2009, v. 5, p. 281-287.

**Xu G.** Fluid inclusions with NaCl-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O composition from the Cloncurry hydrothermal system, NW Queensland, Australia // *Lithos*, 2000, v. 53, p. 21-35.

**ZeZin D.Yu., Migdisov A.A., Williams-Jones A.E.** The solubility of gold in hydrogen sulfide gas: an experimental study // *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 2007, v. 71, p. 3070-3081.

**ZeZin D.Yu., Migdisov A.A., Williams-Jones A.E.** The solubility of gold in H<sub>2</sub>O – H<sub>2</sub>S vapour // *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 2008, v. 72, (Supplement 1), p. 70-76.

Подписи рисунков к статье

«Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов,  $\delta^{34}\text{S}$  сульфидов,  $^3\text{He}/^4\text{He}$  флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования»

Н.А. Гибшер, А.А. Томиленко, А.М. Сазонов, Т.А. Бульбак, М.А. Рябуха, С.А. Сильянов, Н.А. Некрасова, М.О. Хоменко, Е.О. Шапаренко

**Рис. 1-А.** Схема геологического строения южной части Северо-Енисейского рудного района [Сазонов и др., 2016]: 1 – отложения палеозойских грабенов; 2 – кристаллические сланцы зоны биотита (нижний рифей сухопитская серия кординская свита); 3 – кристаллические сланцы эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций (горбилокская, кординская свиты; пенченгинская и хребта Карпинского свиты тейской серии нижнего протерозоя); 4 – Верхне-Енашиминская рудоносная зона локального динамотермального метаморфизма; 5 – массивы гранитоидов: Г – Гурахтинский, Т – Тырадинский, Ч – Чиримбинский, Тс – Тейский; 6 – дизъюнктивы; 7 – месторождения золота: 1, 2 – Олимпиадинское (1 – Восточное, 2 – Западное), 3 – Тырада.

**Рис. 1-Б.** Схема геологического строения Восточного участка Олимпиадинского золоторудного месторождения [Сазонов и др., 2016]: 1-3 – раннерифейские отложения сухопитской серии кординской свиты средней подсвиты: 1 – третья пачка ( $RF_1kdG$ ). Сланцы углеродистые, кварц-серицитовые, карбонатно-кварц-слюдистые, метасоматиты слюдисто-кварц-карбонатные, слюдисто-карбонатно-кварцевые апоуглеродистые; 2 – вторая пачка ( $RF_1kdH$ ). Сланцы кварц-карбонатно-слюдистые с горизонтами мраморизованных известняков, карбонатно-кварц-цоизит-слюдистые, слюдисто-карбонат-кварцевые метасоматиты в пределах рудных объектов; 3 – первая пачка ( $RF_1kdE$ ). Сланцы биотит-кварцевые, кварц-мусковитовые с гранатом. В основании горизонты слюдистых кварцитов; 4 – коры выветривания и ее возраст. В разной степени выветрелые породы кординской свиты и гранитоиды Татарско-Аяхтинского комплекса. Пестроцветные щебнисто-песчанистые, песчано-глинистые и глинистые образования, включая аргиллизиты; 5 – геологические границы (а – между разновозрастными подразделениями, б – кор выветривания); 6 – системы разрывных межпластовых нарушений; 7 – номера скважин.

**Рис. 1-В.** Проекция рудных тел Олимпиадинского месторождения на вертикальную плоскость [Ли, 2003]. 1 – граница первичных (а) и окисленных (б) руд, 2 – кварц-слюдистые сланцы, 3 – кварц-карбонатно-слюдистые сланцы с пластами карбонатных пород, 4 – углеродистые сланцы, 5 – разрывные нарушения.

**Рис. 2.** Типы флюидных включений в кварце Олимпиадинского золоторудного Месторождения (объяснения в тексте)

**Рис. 3.** Состав газовой составляющей флюидных включений в кварце Олимпиадинского золоторудного месторождения по данным газовой хромато-масс-спектрологии (а, б).

**Рис. 4.** Изотопный состав серы сульфидов Олимпиадинского золоторудного месторождения. Изотопный состав серы гранитоидов приведен по данным [Ohmoto&Rye, 1979]

**Рис. 5.** Спектры  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возрастов минеральных ассоциаций Олимпиадинского месторождения.





**Табл. 1.** Обобщённые результаты микротермометрических исследований флюидных включений в кварце Олимпиадинского золоторудного месторождения

| Генерац<br>ия<br>включе<br>ний *                              | Тобщ.<br>гомогенизаци<br>и, °С ** | Вид<br>гомо<br>гени<br>заци<br>и<br>*** | Т<br>растворения<br>кристаллика,<br>°С | Т эвтектики, °С                       | Т плавления<br>льда, °С              | Солёность<br>масс. %<br>NaCl-экв. | Т пл.<br>CO <sub>2</sub> ±CH<br>4±N <sub>2</sub> , °С | Т част.<br>гом.<br>CO <sub>2</sub> ±CH <sub>4</sub><br>±N <sub>2</sub> , °С | Вид<br>гомо<br>гени<br>заци<br>и*** | Давлен<br>ие, кбар |
|---|-----------------------------------|---|--|---------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|---|---|-------------------------------------|--------------------|
| <b>Незолотоносные кварц-слюдисто-сульфидные ассоциации</b>    |                                   |   |  |                                       |                                      |                                   |   |   |                                     |                    |
| П, ПВ   | $\frac{220-325}{290}$ (92)        | Ж                                       | -                                      | $\frac{-24.5 \div -28.0}{-26.3}$ (40) | $\frac{-6.3 \div -11.0}{-8.0}$ (35)  | $\frac{10-16}{12.5}$              | -57.0÷-59.3   | -4.2÷-8.5   | Г, Ж                                | 0.6 - 2.2          |
| В-б   | -                                 | -                                       | -                                      | -                                     | -                                    | -                                 | -58.4÷-69.1   | -8.5÷-140.0   | Ж, Г                                |                    |
| В-г   | $\frac{140-190}{150}$ (23)        | Ж                                       | -                                      | $\frac{-10.3 \div -20.0}{-12.0}$ (15) | $\frac{-0.5 \div -2.0}{-1.5}$ (15)   | $\frac{1-4.5}{3}$                 | -   | -   | -                                   |                    |
| <b>Кварц-золото-арсенопирит±пирит±пирротиновые ассоциации</b> |                                   |   |  |                                       |                                      |                                   |   |   |                                     |                    |
| П, ПВ   | $\frac{260-470}{350}$ (125)       | Ж, Г,<br>Г-Ж                            | -                                      | $\frac{-29.4 \div -33.8}{-31.5}$ (30) | $\frac{-5.4 \div -17.0}{-11.0}$ (25) | $\frac{9.5-20}{16}$               | -56.9÷-71.0   | -0.5÷-122.5   | Г, Ж                                | 1.1 – 2.5          |
| В-б   | -                                 | -                                       | -                                      | -                                     | -                                    | -                                 | -70.3÷-81.0   | -20.3÷-113.0  | Г, Ж                                |                    |
| В-в   | $\frac{160-240}{180}$ (17)        | Ж                                       | $\frac{150-230}{175}$ (15)             | $\frac{-49.0 \div -55.6}{-52.3}$ (10) | $\frac{8.0-14.5}{-10.3}$ (10)        | >30                               | -   | -   | -                                   |                    |
| В-г   | $\frac{150-210}{180}$ (29)        | Ж                                       | -                                      | $\frac{-9.3 \div -19.0}{-16.3}$ (15)  | $\frac{-0.3 \div -1.5}{-1.0}$ (13)   | $\frac{0.5-3}{2}$                 | -   | -   | -                                   | -                  |
| <b>Кварц-золото-сурьмяные ассоциации</b>                      |                                   |   |  |                                       |                                      |                                   |   |   |                                     |                    |
| П, ПВ   | $\frac{240-300}{260}$ (89)        | Ж                                       | -                                      | $\frac{-27.3 \div -30.4}{-28.5}$ (35) | $\frac{-2.8 \div -4.0}{-3.5}$ (30)   | $\frac{5.5-8}{7}$                 | -59.3÷-60.3   | -7.3÷-14.5  | Ж                                   | 1.8 – 2.1          |
| В-б   | -                                 | -                                       | -                                      | -                                     | -                                    | -                                 | -58.4÷-69.8   | -6.5÷-135.4   | Г, Ж                                |                    |
| В-г   | $\frac{120-190}{150}$ (41)        | Ж                                       | -                                      | $\frac{-12.5 \div -18.9}{-16.0}$ (21) | $\frac{-0.3 \div -2.5}{-1.7}$ (15)   | $\frac{0.5-5}{3.5}$               | -   | -   | -                                   |                    |
| <b>Кварц-кальцитовая ассоциация</b>                           |                                   |   |  |                                       |                                      |                                   |   |   |                                     |                    |
| П, ПВ   | $\frac{110-180}{150}$ (17)        | Ж                                       | -                                      | $\frac{-10.3 \div -18.5}{-12.0}$ (9)  | $\frac{-0.3 \div -1.5}{-1.0}$ (9)    | $\frac{0.5-3}{2}$                 | -   | -   | -                                   | -                  |

Примечание: \* - П первичные, ПВ – первично-вторичные, В – вторичные; \*\* -  $\frac{\text{интервал}}{\text{среднее}}$  (количество определений) , \*\*\* - Ж – в жидкость, Г – в газ., Г-Ж – критическая (исчезновение границы газ-жидкость), прочерк – не определялось.

**Табл. 2.** Микротермометрические характеристики и состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений в кварце Олимпиадинского зооторудного месторождения (по данным рамановской спектроскопии)

| № скважины/глубина.м                                       | № включения | Т плавл.<br>CO <sub>2</sub> ±CH <sub>4</sub> ±N <sub>2</sub><br>°C | Т гомоген.<br>CO <sub>2</sub> ±CH <sub>4</sub><br>±N <sub>2</sub> . °C | Вид гомогенизации | Содержание, мол. % |                 |                | CO <sub>2</sub> /CH <sub>4</sub> |
|--|-------------|--|--|-------------------|--------------------|-----------------|----------------|----------------------------------|
|  |             |  |  |                   | CO <sub>2</sub>    | CH <sub>4</sub> | N <sub>2</sub> |                                  |
| <b>Незолотоносные кварц-слюдисто-сульфидные ассоциации</b> |             |  |  |                   |                    |                 |                |                                  |
| 183/216.5  | 1           | -63  | -4.5   | Ж                 | 70.0               | 14.5            | 15.5           | 4.8                              |
|  | 2           | -67.5  | -8.5   | Ж                 | 65.4               | 14.3            | 20.3           | 4.6                              |
|  | 3           | -59.3  | -4.2   | Г                 | 83.1               | 5.9             | 11.0           | 14.1                             |
|  | 4           | -  | -92.5  | Ж                 | 15.3               | 78.3            | 6.4            | 0.2                              |
|  | 5           | -  | -89.3  | Ж                 | 9.4                | 85.0            | 5.6            | 0.1                              |
|  | 6           | -  | -90.6  | Ж                 | 15.2               | 69.7            | 15.1           | 0.2                              |
|  | 7           | -  | -102   | Ж                 | 9.1                | 81.6            | 9.3            | 0.1                              |
| 510/817  | 1           | -66  | -8.5   | Ж                 | 62.0               | 35.5            | 2.5            | 1.8                              |
|  | 2           | -63  | -9.3   | Ж                 | 66.3               | 29.6            | 4.1            | 2.2                              |
|  | 3           | -67.3  | -11  | Ж                 | 69.1               | 30.0            | 0.9            | 2.3                              |
|  | 4           | -69.1  | -10.5  | Ж                 | 70.8               | 28.7            | 0.5            | 2.5                              |
|  | 5           | -  | -123   | Ж                 | 9.6                | 72.4            | 18.0           | 0.1                              |
|  | 6           | -  | -140   | Ж                 | 10.6               | 70.8            | 18.7           | 0.2                              |
|  | 7           | -  | -135.5   | Ж                 | 6.7                | 81.3            | 12.0           | 0.1                              |
|  | 8           | -  | -120.8   | Ж                 | 5.9                | 90.5            | 3.6            | 0.1                              |
| <b>Кварц-золото-арсенопирит-пирротиновые ассоциации</b>    |             |  |  |                   |                    |                 |                |                                  |
| 504/94.05  | 1           | -68.5  | -23.3  | Ж                 | 30.9               | 23.5            | 45.6           | 1.3                              |
|  | 2           | -62.3  | -20.3  | Ж                 | 48.1               | 15.6            | 36.3           | 3.1                              |
|  | 3           | -71.8  | -31.5  | Г                 | 39.4               | 9.6             | 51.0           | 4.1                              |
|  | 4           | -69.4  | -22.6  | ЖГ                | 23.1               | 6.4             | 70.5           | 3.6                              |
|  | 5           | -  | -89  | Ж                 | 39.0               | 15.7            | 45.3           | 2.5                              |
|  | 6           | -  | -113   | Г                 | 21.8               | 12.8            | 65.4           | 1.7                              |
|  | 7           | -  | -122.5   | Ж                 | 10.3               | 40.1            | 49.6           | 0.3                              |
| 1823/601.8   | 1           | -69.8  | -1.5   | Ж                 | 33.0               | 28.0            | 39.0           | 1.2                              |
|  | 2           | -81  | -3.5   | Ж                 | 36.0               | 23.7            | 40.3           | 1.5                              |
|  | 3           | -73  | -8.2   | Ж                 | 30.3               | 27.8            | 41.9           | 1.1                              |
|  | 4           | -  | -93.1  | Ж                 | 4.1                | 40.1            | 55.8           | 0.1                              |
|  | 5           | -  | -79.5  | Ж                 | 2.3                | 70.5            | 27.2           | 0.03                             |
|  | 6           | -  | -83.4  | Г                 | 0                  | 63.0            | 37.0           | -                                |
| <b>Кварц-золото-сурьмяные ассоциации</b>                   |             |  |  |                   |                    |                 |                |                                  |
| 503/202.9  | 1           | -65.1  | -0.3   | Ж                 | 59.3               | 29.8            | 10.9           | 2                                |
|  | 2           | -68.4  | -7.9   | Ж                 | 70.8               | 21.3            | 7.9            | 3.3                              |
|  | 3           | -59.8  | -3.1   | Г                 | 60.4               | 19.5            | 20.1           | 3.1                              |
|  | 4           | -  | -111   | Ж                 | 10.4               | 85              | 4.6            | 0.1                              |
|  | 5           | -  | -121.3   | Г                 | 6.5                | 87.4            | 6.1            | 0.1                              |
|  | 6           | -  | -94.5  | Ж                 | 4.8                | 90.3            | 4.9            | 0.05                             |
| 503/473.5  | 1           | -59.3  | -11.4  | Ж                 | 71.0               | 18.2            | 10.8           | 3.9                              |
|  | 2           | -61.8  | -14.5  | Г                 | 78.3               | 7.7             | 14             | 10.2                             |
|  | 3           | -58.4  | -9.6   | Ж                 | 80.3               | 10.5            | 9.2            | 7.6                              |
|  | 4           | -63.4  | -15.9  | Г                 | 85.8               | 6.3             | 7.9            | 13.6                             |
|  | 5           | -  | -96.3  | Ж                 | 14.6               | 78.5            | 6.9            | 0.2                              |
|  | 6           | -  | -101.7   | Г                 | 9.0                | 83.9            | 7.1            | 0.1                              |

Примечание: вид гомогенизации: Г - в газовую фазу, Ж - в жидкую фазу, ЖГ - критический - исчезновение мениска газ-жидкость.

**Табл. 3.** Состав (в отн. %) и количество (в скобках) летучих компонентов, выделившихся при однократном ударном вскрытии флюидных включений в минералах Олимпиадинского золоторудного месторождения (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии).

| Название компонентов   | Минеральные ассоциации                   |           |                                       |               |                |                        |            |           |
|--|--|-----------|---------------------------------------|---------------|----------------|------------------------|------------|-----------|
|  | Незолотоносные кварц-слюдисто-сульфидные |           | Кварц-золото-арсенопирит-пирротиновые |               |                | Кварц-золото-сурьмяные |            |           |
|  | Кварц I                                  | Кварц I   | Кварц II                              | Арсенопирит I | Арсенопирит II | Кварц III              | антимонит  | кальцит   |
|  | 183-216.5                                | 1823-548  | 504-94.05                             | 504-293.8     | 503-39         | ОС-3-1                 | ОС-3-1     | ОС-3-1    |
| <b>Алифатические углеводороды</b>                                  |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| Парафины (алканы)  | 5.11 (22)                                | 3.98 (20) | 8.53 (21)                             | 12.93 (20)    | 7.52 (17)      | 3.77 (19)              | 11.96 (19) | 3.60(17)  |
| Олефины (алкены)   | 0.92(14)                                 | 3.75(13)  | 0.79(12)                              | 4.81(19)      | 5.62(21)       | 0.55(23)               | 0.39(22)   | 0.33(22)  |
| <b>Циклические углеводороды</b>                                    |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| Циклоалканы, циклоалкены, арены, ПАУ                               | 0.78(17)                                 | 4.47 (13) | 0.68(14)                              | 2.68(21)      | 4.26(19)       | 0.17(24)               | 0.83(28)   | 0.29(27)  |
| <b>Кислородсодержащие углеводороды</b>                             |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| Эфиры (простые и сложные), спирты                                  | 0.43(9)                                  | 3.57(9)   | 0.83(12)                              | 2.0(12)       | 5.80(11)       | 0.39(19)               | 0.68(19)   | 0.44(17)  |
| Альдегиды  | 1.31(17)                                 | 7.88(21)  | 1.37(20)                              | 9.62(21)      | 17.93(21)      | 0.94(21)               | 0.92(22)   | 0.77(22)  |
| Кетоны   | 0.81(13)                                 | 3.14(14)  | 0.53(15)                              | 4.58(15)      | 6.31(14)       | 0.40(20)               | 0.34(14)   | 0.31(21)  |
| Карбоновые кислоты   | 1.84(9)                                  | 0.54(5)   | 0.80(7)                               | 18.87 (14)    | 15.71(14)      | 1.76 (14)              | 1.00(14)   | 0.09 (14) |
| <b>Гетероциклические соединения</b>                                |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| Диоксаны, фураны   | 0.16 (7)                                 | 0.20(11)  | 0.04 (8)                              | 0.42 (14)     | 0.87 (13)      | 0.03(15)               | 0.15 (15)  | 0.04 (14) |
| <b>Азотсодержащие соединения</b>                                   |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| Азот, аммиак, нитрилы  | 18.35 (10)                               | 6.39(15)  | 36.18(12)                             | 7.89(18)      | 14.03(18)      | 3.01 (21)              | 2.35(18)   | 14.28(19) |
| <b>Серосодержащие соединения</b>                                   |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , CS <sub>2</sub> , COS, тиофены | 0.70 (10)                                | 2.67(15)  | 0.63(12)                              | 2.63(23)      | 5.52(18)       | 0.20 (20)              | 1.76(23)   | 0.17 (24) |
| Галогены: Cl, F, Br  | 0.18                                     | 0.56      | 0.03                                  | 2.12          | 0.09           | 0.02                   | 0.05       | 0.02      |
| <b>Неорганические соединения</b>                                   |  |           |                                       |               |                |                        |            |           |
| CO <sub>2</sub>  | 50.45                                    | 61.22     | 49.23                                 | 19.80         | 9.35           | 48.81                  | 14.43      | 35.38     |
| H <sub>2</sub> O   | 19.05                                    | 2.17      | 0.36                                  | 13.71         | 7.04           | 39.97                  | 65.17      | 44.28     |
| Общее количество компонентов в                                     | 130                                      | 138       | 135                                   | 179           | 168            | 198                    | 196        | 199       |
| Отношения: Алканы/алкены   | 5.2                                      | 1.1       | 10.8                                  | 2.7           | 1.3            | 6.9                    | 30.9       | 11.0      |
| CO <sub>2</sub> /CO <sub>2</sub> +H <sub>2</sub> O                 | 0.7                                      | 0.9       | 0.9                                   | 0.6           | 0.6            | 0.6                    | 0.2        | 0.4       |

**Табл. 4.** Изотопный состав серы сульфидов Олимпиадинского золоторудного месторождения

| № образца  | Минерал  | $\delta^{34}\text{S}$ , % (CDT) | № образца  | Минерал     | $\delta^{34}\text{S}$ , % (CDT) |
|------------|----------|---------------------------------|------------|-------------|---------------------------------|
| 503-4.5    | пирротин | 8.7                             | 503-38.6   | арсенопирит | 10.4                            |
| 503-38.6   | "—"      | 9.4                             | 503-39     | "—"         | 5.8                             |
| 503-41     | "—"      | 10.4                            | 503-453    | "—"         | 6.6                             |
| 503-49     | "—"      | 6.8                             | 503-458.3  | "—"         | 5.0                             |
| 503-153.8  | "—"      | 5.4                             | 503-473.5  | "—"         | 8.1                             |
| 503-209.7  | "—"      | 13.0                            | 504-6.5    | "—"         | 5.8                             |
| 503-226.0  | "—"      | 8.9                             | 506-334.7  | "—"         | 6.9                             |
| 503-260.5  | "—"      | 10.0                            | 510-817    | "—"         | 1.5                             |
| 503-303    | "—"      | 12.8                            | 511-322    | "—"         | 12.9                            |
| 503-415.5  | "—"      | 12.0                            | 511-591.4  | "—"         | 10.8                            |
| 504-94.05  | "—"      | 10.9                            | 186-365    | "—"         | 9.3                             |
| 505-58     | "—"      | 9.9                             | 1823-514   | "—"         | 2.4                             |
| 506-145    | "—"      | 7.8                             | 1823-528.4 | "—"         | 6.1                             |
| 506-161.4  | "—"      | 8.4                             | 503-4.5    | антимонит   | 7.2                             |
| 506-323.5  | "—"      | 7.9                             | 503-41     | "—"         | 9.2                             |
| 507-20     | "—"      | 8.2                             | 503-64.6   | "—"         | 8.1                             |
| 182-618a   | "—"      | 2.7                             | 503-206    | "—"         | 8.0                             |
| 186-365    | "—"      | 9.0                             | 503-209.7  | "—"         | 9.1                             |
| 186-562    | "—"      | 4.5                             | 503-260.5  | "—"         | 9.9                             |
| 1823-514   | "—"      | 7.4                             | 503-473.5  | "—"         | 10.4                            |
| 1823-528.4 | "—"      | 5.8                             | 503-488.2  | "—"         | 6.8                             |
| ОПР-2-8    | "—"      | 5.6                             | 506-145    | "—"         | 6.0                             |
| ОПР-2-7    | "—"      | 6.6                             | 182-618a   | "—"         | 6.6                             |
| ОПР-2-3    | "—"      | 6.5                             | 1823-601.8 | "—"         | 7.6                             |
| 183-216.5  | пирит    | 7.0                             | ОС-3-2     | "—"         | 4.8                             |
| 503-49     | "—"      | 7.6                             | ОС-3-1     | "—"         | 9.1                             |
| 503-153.8  | "—"      | 5.8                             | 510-718.5  | сфалерит    | 8.8                             |
| 505-58     | "—"      | 8.8                             |            |             |                                 |
| 506-161.4  | "—"      | 8.2                             |            |             |                                 |

Примечание: изотопный состав серы сульфидов определен в Аналитическом центре Института геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Аналитики: В.Н. Реутский, М.Н. Колбасова

Таблица 5. Изотопные  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  датировки рудообразования на Олимпиадинском месторождении (Енисейский край).

| № скважины/<br>глубина, м                           | Минерал  | Возраст плато, млн лет | Содержание в интервале |       |       |
|---|----------|------------------------|------------------------|-------|-------|
|   |          |                        | Au, г/т                | As, % | Sb, % |
| Незолотоносная кварц-слюдисто-сульфидная ассоциация |          |                        |                        |       |       |
| 183/216.5   | мусковит | 810.1±6.5              | незначимые             |       |       |
| 1823/548  | мусковит | 817.1±6.3              | незначимые             |       |       |
| 35/111  | мусковит | 808.4±7.7              | незначимые             |       |       |
| Кварц-золото-арсенопирит-пирротиновая ассоциация    |          |                        |                        |       |       |
| 503/303   | мусковит | 784.5±6.2              | 4.0                    | 0.02  | 0.0   |
| 504/94.05   | серицит  | 792.4±6.3              | 6.40                   | 0.07  | 0.01  |
| 506/323.5   | серицит  | 790.0±6.0              | 1.6                    | 0.84  | 0.01  |
| 507/20  | серицит  | 792.4±6.0              | 0.6                    | 0.0   | 0.0   |
| 510/718.5   | серицит  | 795.8±6.2              | 4.0                    | 0.26  | 0.0   |
| 186/365   | серицит  | 803.0±6.1              | 16.2                   | 1.86  | 0.01  |
| 1823/514.8  | серицит  | 788.0±6.1              | 1.5                    | 0.4   | 0.0   |
| 1823/601.8  | серицит  | 758.0±6.0              | 4.1                    | 0.43  | 0.0   |
| Кварц-золото-сурьмяная ассоциация                   |          |                        |                        |       |       |
| 503/39  | серицит  | 727.0±6.0              | 21.6                   | 2.16  | 1.78  |
| 503/49  | серицит  | 718.8±5.6              | 0.3                    | 0.06  | 0.01  |
| 503/202.9   | серицит  | 757.7±5.9              | 10.8                   | 0.02  | 4.42  |
| 503/260.5   | серицит  | 795.2±5.8              | 0.5                    | 0.02  | 0.17  |
| 503/473.5   | серицит  | 660.0±19.0             | 1.2                    | 11.5  | 0.26  |

Примечание: Ar-Ar определения выполнены в Аналитическом центре Института геологии и минералогии (г. Новосибирск). Аналитики: А.В. Травин, А.В. Пономарчук

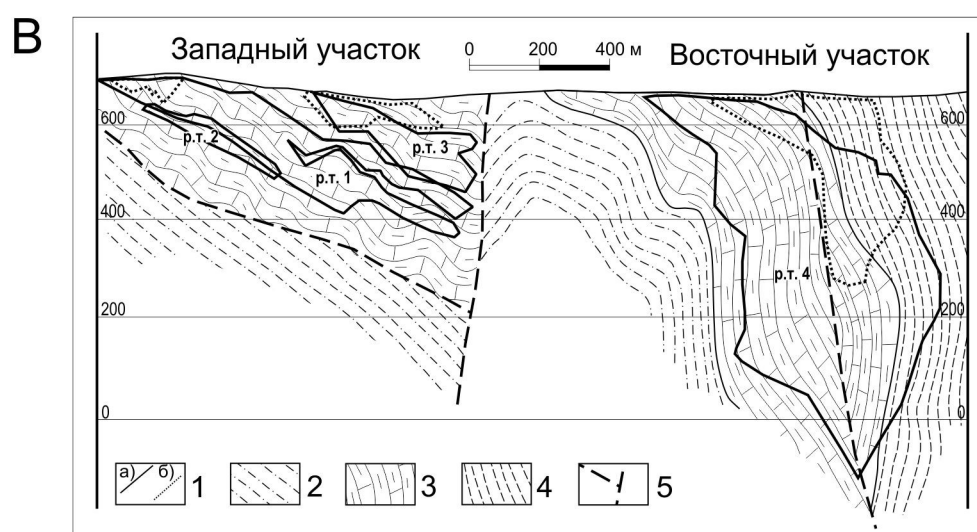
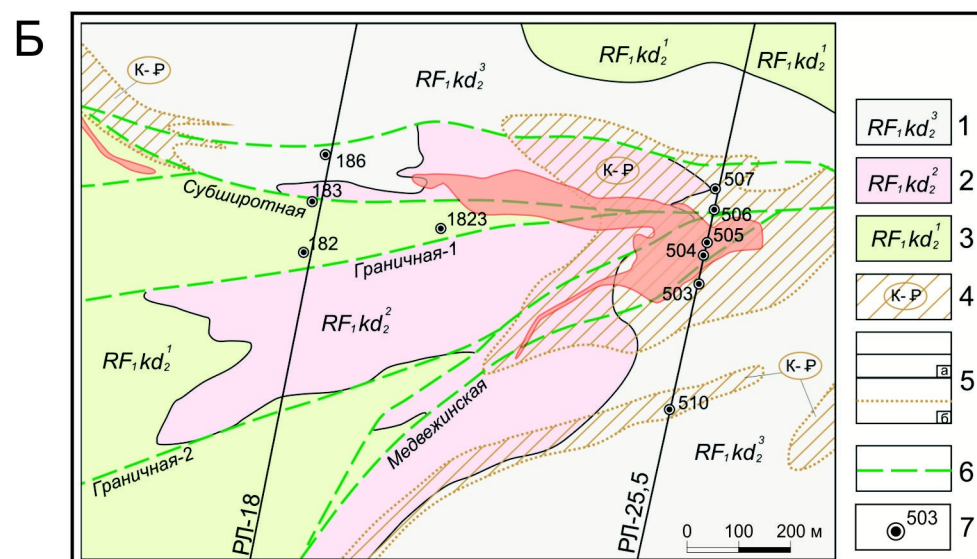
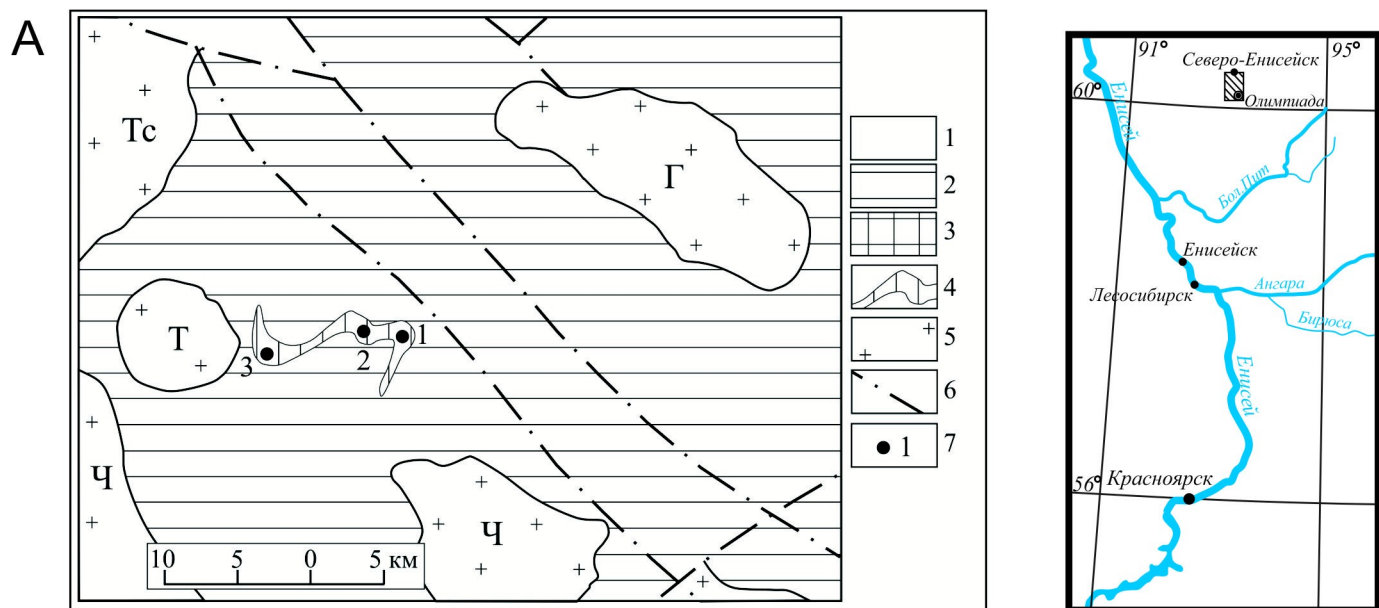


Рис. 1. Схема геологического строения Олимпиадинского месторождения

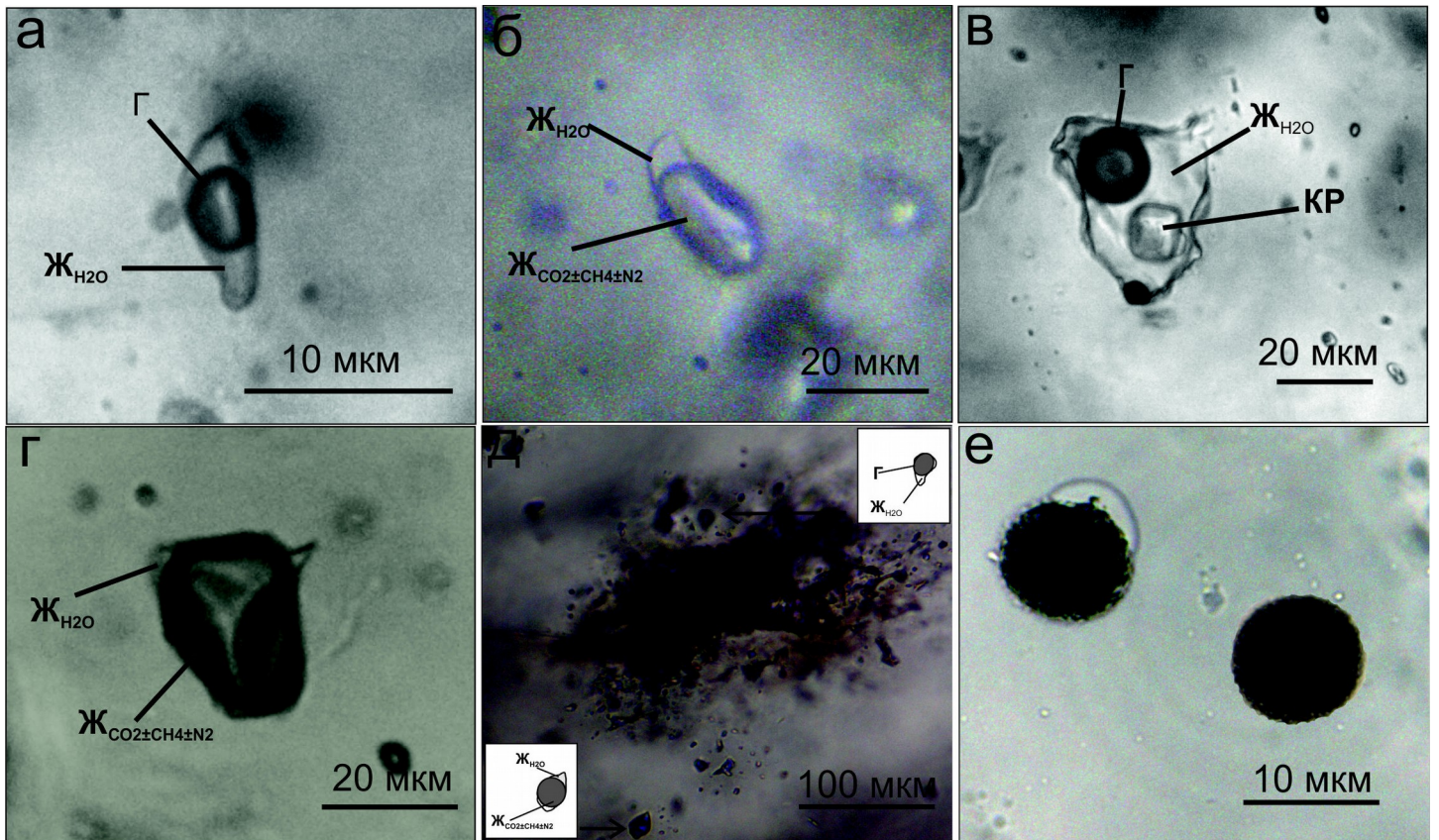


Рис.2. Типы флюидных включений в кварце Олимпиадинского золоторудного месторождения (объяснения в тексте)



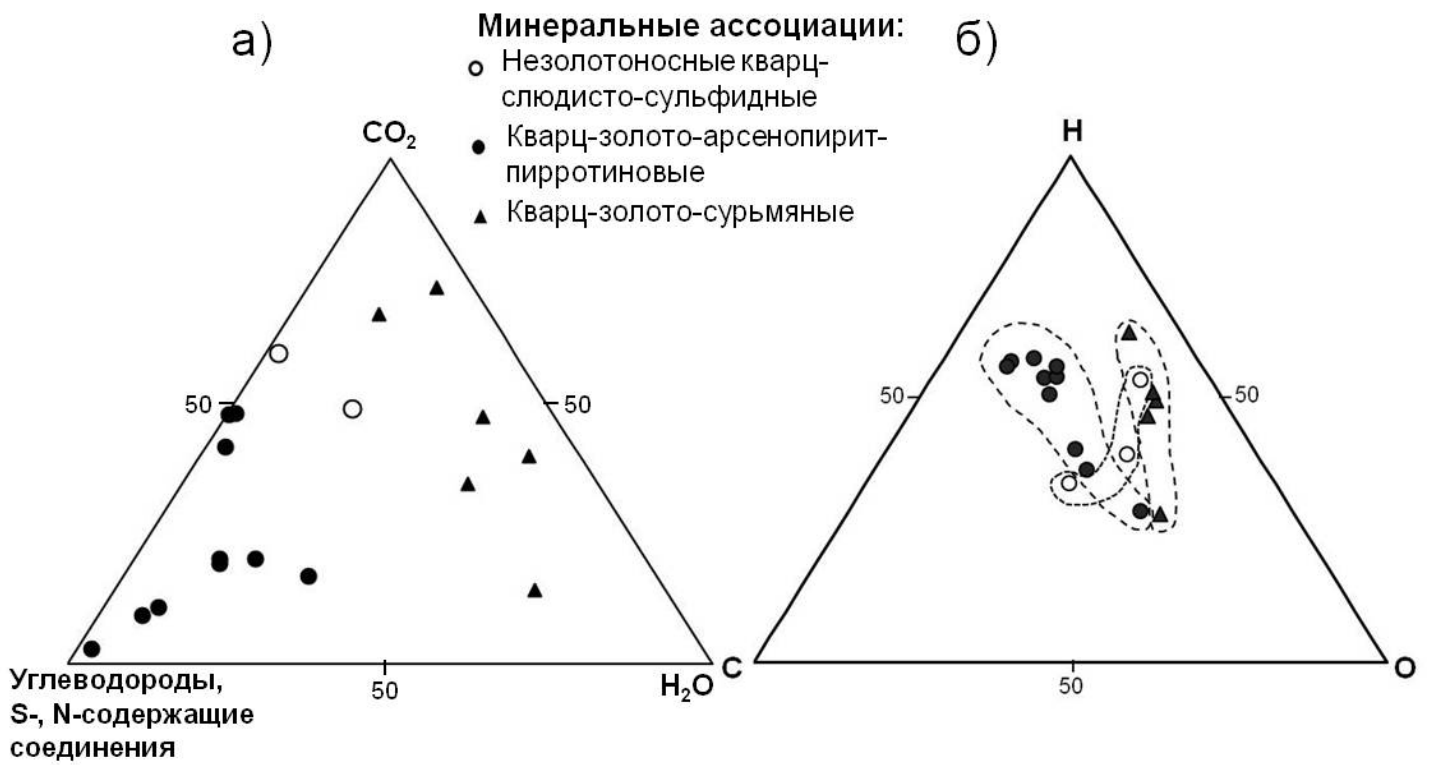


Рис. 3. Состав газовой составляющей флюидных включений в кварце Олимпиадинского золоторудного месторождения по данным газовой хромато-масс-спектрологии (а, б).

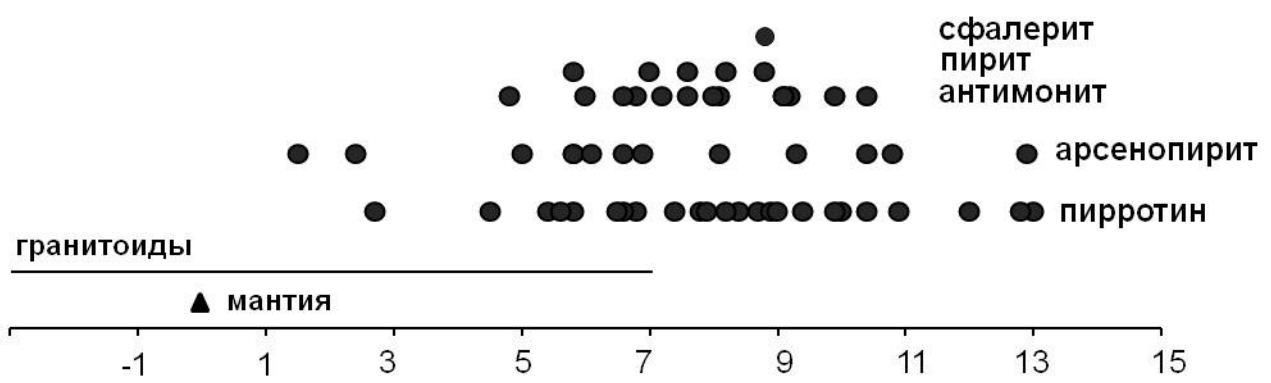


Рис. 4. Изотопный состав серы сульфидов Олимпиадинского золоторудного месторождения. Изотопный состав серы гранитоидов приведен по данным [Ohmoto&Rye, 1979]

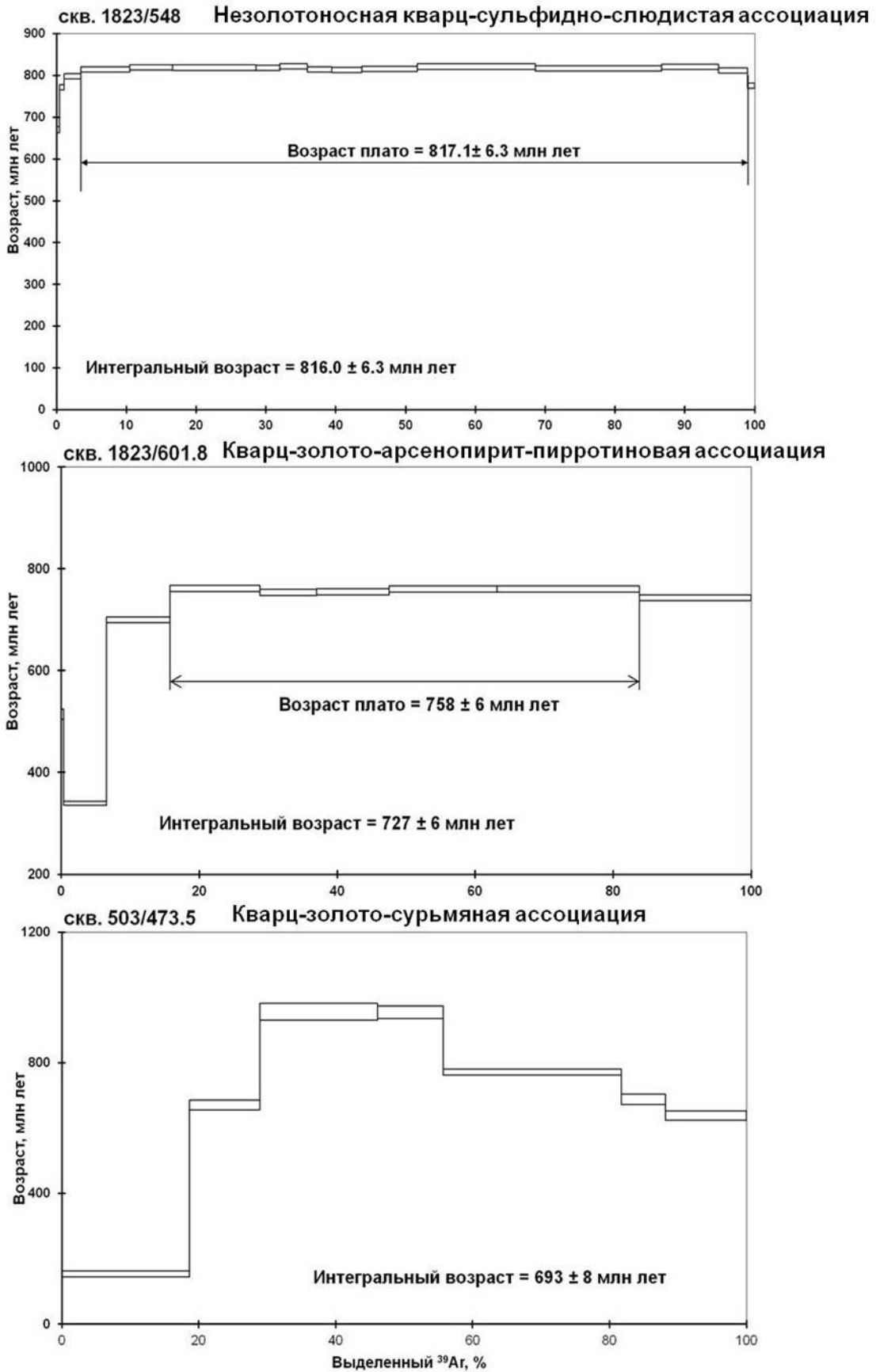


Рис. 5. Спектры  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  возрастов минеральных ассоциаций Олимпиадинского месторождения.