

На правах рукописи

Шап

Шапаренко Елена Олеговна

**Физико-химические условия формирования золоторудных
месторождений Благодатное и Доброе (Енисейский кряж)**

1.6.10 – геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых,
минералогия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

НОВОСИБИРСК 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук (ИГМ СО РАН), г. Новосибирск.

Научный руководитель:

Гибшер Надежда Александровна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории Термобарогеохимии Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, г. Новосибирск.

Официальные оппоненты:

Макаров Владимир Александрович – доктор геолого-минералогических наук профессор, директор Института горного дела, геологии и технологий, заведующий кафедрой Геологии месторождений и методики разведки Сибирского федерального университета (г. Красноярск).

Дамдинов Булат Батуевич – доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе Геологического института им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (г. Улан-Удэ).

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения Российской академии наук (ИГАБМ СО РАН), г. Якутск.

Защита состоится **25 октября 2022 г.** в 10-00 на заседании диссертационного совета 24.1.050.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук, в конференц-зале.

Адрес: 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга, д.3;
Факс: +7 (383) 333-2130; e-mail: turkina@igm.nsc.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГМ СО РАН и на сайте <https://www.igm.nsc.ru/index.php/obrazov/dissovetu>

Автореферат разослан 20 сентября 2022 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета 24.1.050.01,
доктор геолого-минералогических наук



О.М. Туркина

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Установлению физико-химических условий формирования золоторудных месторождений посвящено огромное количество исследований в России и мире. Получение этой информации важно для понимания процессов формирования месторождений золота и установления закономерностей их распределения в земной коре. Эти данные, в свою очередь, крайне необходимы для развития минерально-сырьевой базы золота. В настоящее время разведанные запасы полезных элементов, в литосфере Земли постепенно уменьшаются и остро встает вопрос поиска новых экономически перспективных объектов. Для этого решается ряд задач, в числе которых – установление физико-химических условий формирования известных месторождений полезных ископаемых.

Россия традиционно находится в числе мировых лидеров по добыче золота, а Красноярский край является крупнейшим золотодобывающим регионом России [eu.com/ru]. Золоторудные месторождения Енисейского кряжа относятся к орогенному типу, согласно современной общепринятой генетической классификации [Goldfarb, Groves, 2015; Горячев, 2019]. Месторождения золота этого типа образовались на завершающих этапах формирования складчато-надвиговых горных сооружений [Groves et al., 1998]. Орогенные месторождения золота в настоящее время вызывают повышенный интерес геологов, так как являются одним из главных источников этого благородного металла. Существуют различные взгляды на происхождение месторождений данного типа: были предложены магматогенно-гидротермальная, метаморфогенно-гидротермальная, осадочно-гидротермальная, метеорная и другие модели их формирования [Буряк, 1982; Буряк и др., 1990; Nesbitt, 1991; Лаверов и др., 2010; Kerrich et al., 2000; Кряжев, 2017; Groves et al., 2020].

Вопрос о параметрах, которые благоприятно влияют на формирование крупных месторождений золота, остается широко обсуждаемым [Groves et al., 2016; Прокофьев и др., 2017, 2018; Гибшер и др. 2019; Hronsky, 2020]. Восстановление параметров рудообразования и получение прямых данных о состоянии минералообразующей среды возможно с помощью изучения флюидных включений. С усовершенствованием существующих методов термобарогеохимии и появлением новых, более точных, появляется возможность узнать о составе рудообразующего флюида и условиях его кристаллизации более подробно. Вопрос о корреляции параметров флюида и формировании кварцево-жильных месторождений золота с различными запасами продолжает оставаться дискуссионным. Известно, что отношение CO_2/CH_4 является индикатором окислительно-восстановительных условий при отложении золота [Бортников и др., 2007, 2010; Гибшер и др., 2017; Гибшер и др., 2018; Гибшер и др., 2019; Кряжев, 2017]. Также важным показателем при формировании залежей руд является соленость флюида. С развитием методов раман-спектроскопии [Frezzotti et al., 2012; Vodnar, Frezzotti, 2020] и масс-спектрометрического анализа газов [Бульбак и др., 2018; Gabougy et al., 2008; Бульбак и др., 2020; Shararenko et al., 2021] появляется возможность более детально изучить состав флюидов, формирующих крупные (более 200 т) и мелкие (<10 т) золоторудные объекты Енисейского кряжа.

Объектами исследования являются месторождения Енисейского кряжа золото-кварцевой малосульфидной формации – Благодатное и Доброе, с запасами золота 340 т и 10 т, соответственно.

Цель исследования

Установить физико-химические условия и источник флюидов, принимавших участие в формировании изучаемых кварц-золоторудных объектов Енисейского кряжа.

Задачи:

- определить температуры гомогенизации и соленость флюидных включений в кварце;
- рассчитать давление минералообразующего флюида;
- определить состав минералообразующего флюида;
- определить изотопный состав гелия во включениях, серы сульфидов и углекислоты из флюидных включений для установления источника флюида;
- на основе полученных данных, установить особенности условий формирования кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе с различными запасами золота.

Фактический материал и личный вклад автора

Каменный материал (120 образцов из скважин и карьеров) с месторождений Благодатное и Доброе предоставлен д.г.-м.н. Сазоновым А.М. (Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск). Из одной половины образца изготавливались шлифы и полированные с двух сторон пластинки для исследования индивидуальных флюидных включений. Вторую часть образца дробили, рассеивали на ситах и отбирали монофракции минералов размером 0.5 – 2 мм (кварца, пирита, арсенопирита, пирротина, золота) для изотопных анализов и исследования методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

Автором лично проанализировано более 120 пластинок и шлифов, проведены микротермометрические измерения, расчет флюидного давления во включениях, рамановский и газовой-хромато-масс-спектрометрические анализы флюида и их интерпретация. Массив использованной аналитической информации включает более 500 микротермометрических измерений, свыше 30 изотопных определений, 200 анализов состава индивидуальных включений методом рамановской спектроскопии, а также 27 газовой-хромато-масс-спектрометрических исследований валового состава газовой фазы флюидных включений.

Методы исследования

В ходе исследования автор применил следующие методы (детальное описание методов приведено в Главе 2 текста диссертации):

- Оптическая микроскопия для изучения минералов и флюидных включений в шлифах и пластинках;
- Микротермометрия для установления температур полной и частичной гомогенизации флюидных включений, эвтектики, плавления льда и сжиженных газов;
- Рамановская спектроскопия для анализа газовой фазы индивидуальных включений;
- Газовая хромато-масс-спектрометрия для исследования валового состава летучих во флюиде;
- Изотопно-геохимические методы ($^3\text{He}/^4\text{He}$, $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$) для установления источника флюидов;
- Ar-Ar датирование для установления возраста мусковита из рудного поля месторождения Благодатное;
- Микрорентгеноспектральный анализ состава рудных минералов.

Научная новизна

В настоящей работе получены оригинальные данные: температуры, давления и составы растворов, сформировавших кварцево-жильные зоны золоторудных месторождений Благодатное и Доброе. Впервые определен состав летучих во флюидах изученных объектов методом газовой хромато-масс спектрометрии, что позволило более детально рассмотреть физико-химические условия формирования. Получены уникальные данные по составу флюидных включений в самородном золоте. Установлена особенность золотосных флюидов – присутствие в них широкого ряда углеводородов и их производных.

Теоретическая и практическая значимость работы

Основные наработки автора вносят вклад в фундаментальные представления о параметрах минералообразующих флюидов на золоторудных месторождениях. Полученные данные будут полезны при составлении целостной модели образования месторождений золота. Установленные особенности физико-химических условий формирования изученных объектов могут найти практическое применение при поисках и оценке новых месторождений и рудопроявлений.

Основные защищаемые положения

1. Кварцево-жильные зоны золоторудных месторождений Благодатное и Доброе сформированы гидротермальными растворами в интервале температур 180 – 360 °С, давлений – 0.2 – 2.6 кбар и солёности от 1.5 до 16.5 мас. % (NaCl-экв.), характерных для золотого оруденения Енисейского кряжа.
2. Минералообразующие флюиды содержали H₂O, CO₂, углеводороды и кислородсодержащие органические соединения, S-, N- и галогенсодержащие соединения. Два типа флюида принимали участие в формировании кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный. Золотоносные ассоциации были сформированы более восстановленными углекислотно-углеводородными флюидами.
3. Изотопный состав гелия (³He/⁴He=0.14±0.3), серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}=1.9-20.1$) и углекислоты во флюидах ($\delta^{13}\text{C}=-2.8\text{...}-20.9$), сформировавших месторождения Благодатное и Доброе, указывают на коровый источник минералообразующих флюидов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 205 страниц. В ней содержится 30 рисунков и 38 таблиц. Список литературы состоит из 134 наименований.

Апробация работы

По теме диссертации опубликовано 18 работ, из них 5 статей в российских и зарубежных рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК. Основные положения работы представлены в ходе очного и онлайн участия на российских и международных конференциях: X Международная Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2022), Новое в познании процессов рудообразования: Российская молодёжная научно-практическая Школа с международным участием (Москва, 2013, 2018, 2019, 2021), Современные европейские исследования флюидных и расплавных включений e-CROFI (онлайн, 2021), Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2019, 2021), II молодежная научно-образовательная конференция ЦНИГРИ (Москва, 2021), 15-я биеннале SGA (Великобритания, Шотландия, 2019), IX Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 2018), Международная студенческая конференция МНСК (Новосибирск, 2013, 2015).

Благодарности

Автор искренне выражает благодарность своему научному руководителю *Надежде Александровне Гибшер* за всестороннюю помощь в проведении исследования и подготовке диссертации. Автор признателен А.М. Сазонову за предоставление материала для изучения, А.А. Томиленко за постоянное участие в обсуждении полученных результатов и их интерпретации, Т.А. Бульбаку за руководство в освоении метода газовой хромато-масс-спектрометрии, С.З. Смирнову и В.П. Чупину за ценные рекомендации и советы при подготовке работы, М.О. Хоменко и М.А. Рябухе за помощь в совместной работе по исследованию флюидных включений, С.А. Сильянову (СФУ, Красноярск) за консультирование по геолого-минералогическим вопросам. За содействие в проведении аналитических работ автор выражает благодарность А.В. Травину, В.Н. Реутскому, В.Н. Королюку.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН, проекта РФФИ № 19-35-90050 и Гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель работы и задачи, перечисляются объекты исследования и фактический материал, выносимые на защиту положения диссертационной работы, отражается научная новизна и практическая значимость полученных данных, апробация результатов и личный вклад соискателя. В главе 1 приводится краткая геолого-минералогическая характеристика золоторудных месторождений *Благодатное* и *Доброе*, которые находятся на Енисейском кряже. В главе 2 описаны применяемые в ходе данного исследования аналитические методы. Глава 3 содержит данные о температуре, давлении и составе флюидных включений в минералах из кварцево-жильных зон исследуемых объектов. В этой главе также проводится интерпретация и обсуждение полученных результатов. В главе 4 обсуждаются полученные изотопно-геохимические характеристики и возможные источники минералообразующих флюидов. Глава 5 приведены геохронологические характеристики золоторудной минерализации на Енисейском кряже.

КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Енисейский кряж является докембрийским складчатым поясом, который расположен между Сибирским кротоном и Западно-Сибирской плитой [Полева, Сазонов, 2012]. Исследуемые месторождения, *Благодатное* и *Доброе*, находятся в заангарской части кряжа (Рис. 1).

Месторождение Благодатное было открыто в 1967 году Крысиным М.В. в процессе геологической съемки 1:50000. Рудное поле месторождения расположено в Северо-Енисейском районе Енисейского кряжа на юго-восточном крыле Панимбинского антиклинория, ограниченного с запада зоной Татарского, а с востока – Ишимбинского глубинного разлома. Месторождение залегает в рифейских отложениях кординской свиты, прорванных гранитоидами татарско-аяхтинского комплекса. Месторождение *Благодатное* отнесено к золото-кварцевой малосульфидной формации и представлено крутопадающей S-образной золотоносной минерализованной зоной левостороннего сбросо-сдвига протяженностью 3800 м с мощностью в раздувах до 250 м. На глубину зона не оконтурена.

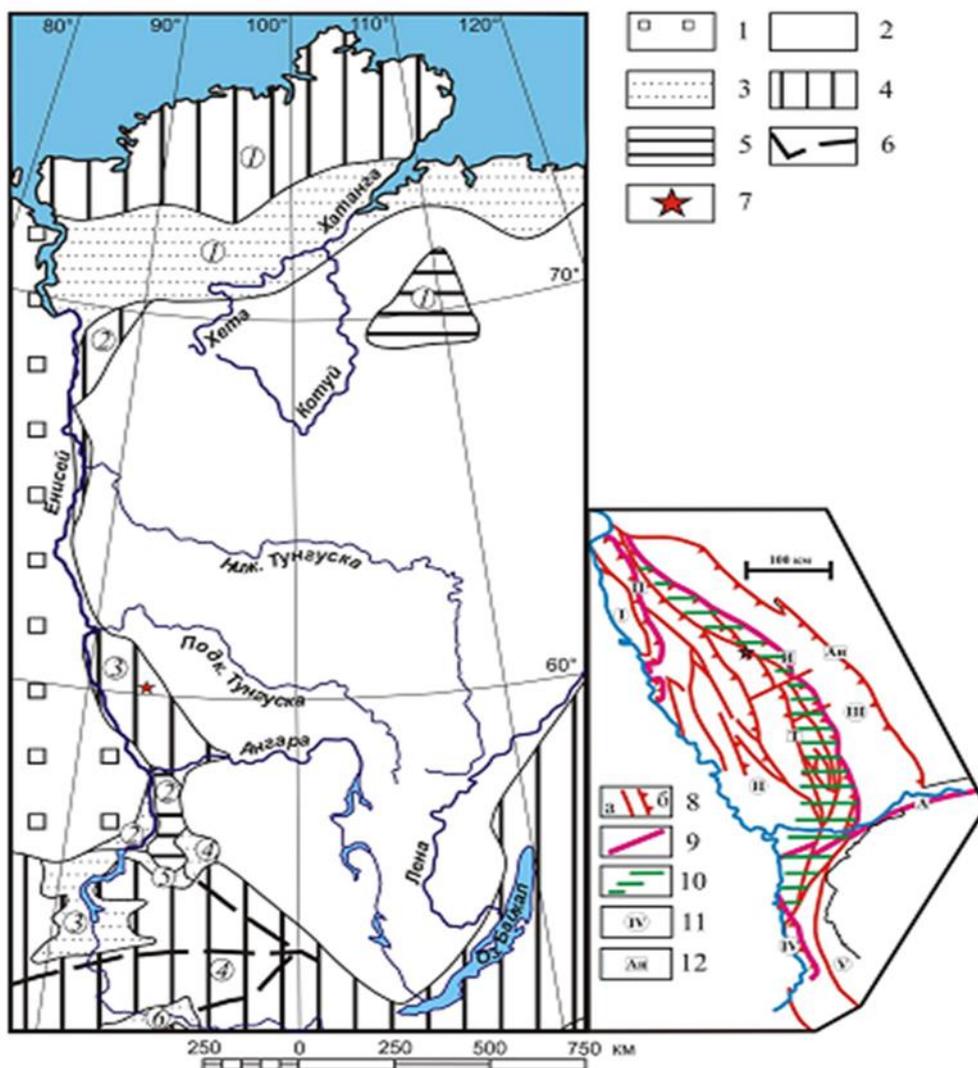


Рисунок 1. Региональные геологические структуры Енисейского кряжа [Полева, Сазонов, 2012]. 1 – Западно-Сибирская плита; 2- Сибирская платформа; 3 – впадины и прогибы: 1 – Енисейско-Хатангский прогиб, 2 – Приенисейская впадина, 3 – Минусинский впадины, 4 – Канская впадина, 5- Рыбинская впадина, 6 – Тувинская впадина; 4 – складчатые области: 1 – Таймыро-Североземельская, 2 – Трухано-Игарская, 3 – Енисейский кряж, 4 – Саяно-Алтайская; 5 – архейские выступы: 1 – Анабарский щит, 2 – Ангаро-Канский выступ; 6 – крупнейшие разломы; 7 – месторождение Благодатное (60° 04' с.ш., 92° 56' в.д.). На врезке Енисейского кряжа: 8 – разломы (а), надвиги (б); 9 - границы террейнов; 10 – Татарско-Ишимбинская зона; 11 – наименования террейнов: I – Исаковский, II – Центрально-Ангарский, III – Восточно-Ангарский, IV – Предивинский, V – Ангаро-Канский; 12 – названия разломов: А – Ангарский, И – Ишимбинский, Т – Татарский, П – Приенисейский, Ан – Анкиновский.

Центральная часть рудных тел обогащена кварцево-жильными образованиями желваковой и четковидной форм, которые по периферии оконтурены сульфидизированными серицитовыми метасоматитами с кварц-карбонатным прожилкованием. Вмещающими оруденение породами послужили кварц-сланцевые, двуслюдяные, кварц-сланцево-гранатовые сланцы [Полева, Сазонов, 2012]. На месторождении выделено три основных стадии гидротермального минералообразования с учетом пространственного размещения, тектонических подвижек и вещественного состава: прерудных метасоматитов, рудная кварцево-сульфидная и пострудная кварц-карбонатная. На всех трех выделенных стадиях гидротермально-метасоматических

образований постоянно присутствует кварц, являясь главным минералом кварцево-жильных образований (до 98 % объема). Главные рудные минералы в образцах представлены золотом, арсенопиритом, пиритом, пирротинном, халькопиритом, сфалеритом и галенитом (Рис. 2). Самородное золото (0,001–3 мм) в кварцево-жильных зонах часто образует сростания с арсенопиритом и пирротинном, а также располагается в микротрещинах жильного кварца. Как примесь золото присутствует в арсенопирите [Sazonov et al., 2019]. Пробность золота меняется от 710 до 993 ‰.

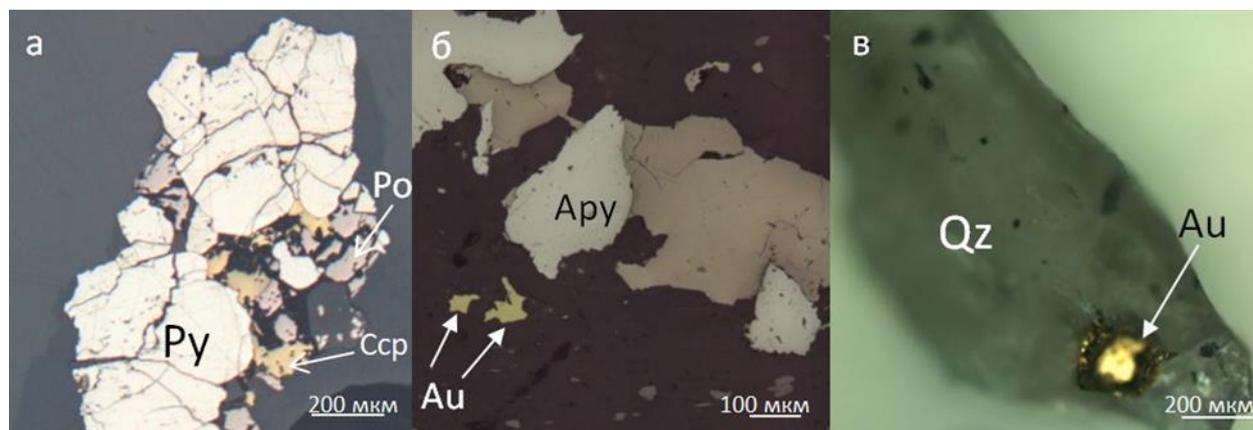


Рисунок 2. Рудная минерализация на месторождении Благодатное: а – сростания пирита (Py), пирротина (Po) и халькопирита (Csp), б – арсенопирит (Apy) и золото (Au) в кварце, в – золото (Au) и частицы углеродистого вещества в кварце (Qz).

Месторождение Доброе. По результатам геологической съёмки в период 1976–1980 гг. было открыто рудопроявление Доброе. Месторождение Доброе входит в состав Советского рудного узла и находится в 12 км к западу от месторождения Советского, одного из крупнейших в Енисейском кряже [Стороженко и др., 2018]. Месторождение относится к золото-кварцевой малосульфидной формации. Рудный узел приурочен к зоне сочленения двух крупных протерозойских структур Енисейского кряжа – Центрального поднятия и Восточной синклинойной зоны. Главной рудоконтролирующей структурой является Ишимбинский глубинный разлом. Рудные тела представлены гидротермально-изменёнными сланцами с кварцевыми жилами и прожилками с золото-сульфидной минерализацией. Вмещающие породы представлены кварц-хлорит-серицитовыми отложениями кординской и горбилокской свит, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. Рудная минерализация представлена пирротинном, арсенопиритом, пиритом и самородным золотом. В подчинённом количестве обнаруживаются халькопирит и галенит. Кварц, являясь постоянным минералом месторождения Доброе, представлен двумя разновидностями – жильным и гранобластическим. Перегруппировка (грануляция) кварца произошла на прерудной стадии, за которой последовало отложение жильного кварца в виде крупных зерен и прожилков на рудной стадии формирования кварцево-жильных зон месторождения Доброе. Видимое самородное золото (0,001–1 мм) развито, преимущественно, в кварцево-жильных рудных образованиях в виде трещинных, пластинчатых и прожилковидных выделений. Золото образует сростки с сульфидами (арсенопирит, пирротин), а также концентрируется в кварце по микротрещинам (Рис. 3). Проба самородного золота месторождения варьирует в пределах 838–913‰.

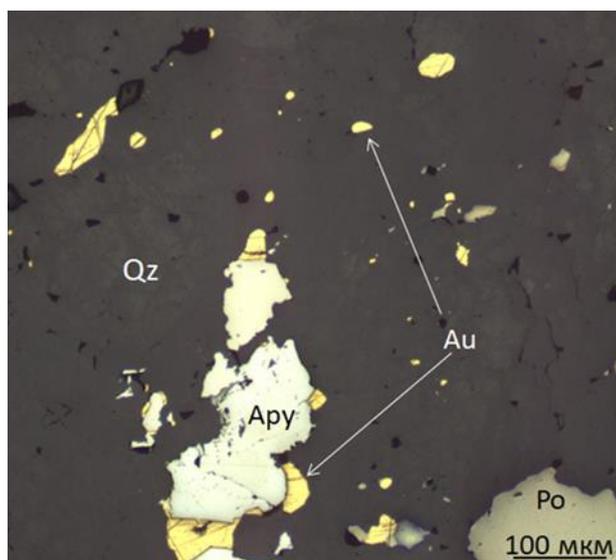


Рисунок 3. Рудные минералы месторождения Доброе: сросток арсенопирита (Ару) и золота (Au), пирротин (Po) кварце и золото в межзерновом кварцевом пространстве.

ТИПЫ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Для того, чтобы установить физико-химические параметры формирования кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе, были изучены различные типы флюидных включений в минералах.

В изученных образцах исследуемых объектов присутствует огромное количество флюидных включений (ФВ) разнообразной формы, состава и генераций. Из всего многообразия ФВ были отобраны включения, наиболее подходящие для изучения. Среди первичных, первично-вторичных и вторичных образований исследованы включения размером от 8 мкм, не имеющие признаков расшнурования и разгерметизации.

Месторождение Благодатное. При комнатной температуре было выделено три типа флюидных включений (Рис. 4):

1. Двухфазные газовой-жидкие ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} + \Gamma_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2}$) с меняющимися соотношениями жидкости и газа во включениях от 80:20 до 20:80. Флюидные включения этого типа и представлены тремя генерациями: первичной, первично-вторичной и вторичной. Размер первичных и первично-вторичных газовой-жидких включений составляет 10-20 мкм, в то время как ФВ вторичной генерации достигают максимум 8 мкм.

2. Однофазные газовые или жидкие ФВ ($\text{Ж}_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2}$, $\Gamma_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2}$) присутствуют в кварцевых зернах в виде первично-вторичных и вторичных образований. Размер их достигает 25 мкм для обеих генераций.

3. Трехфазные ФВ ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} + \Gamma + \text{КР}$). В этих включениях помимо водной и газовой фаз присутствует дочерний кристаллик соли кубического габитуса.

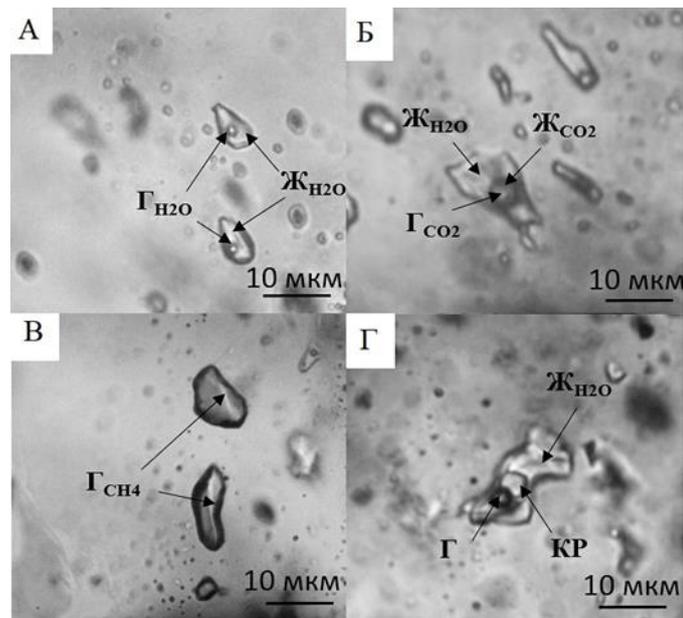


Рисунок 4. Типы флюидных включений в кварце золоторудного месторождения Благодатное: а, б – двухфазные газовой-жидкие включения, в – однофазные включения, г – трехфазные.

Месторождение Доброе. Индивидуальные флюидные включения (Рис. 5) исследовались в гранобластическом и жильном кварце из линзочек, прожилков и жил, залегающих в зеленых сланцах околорудной и рудной зон.

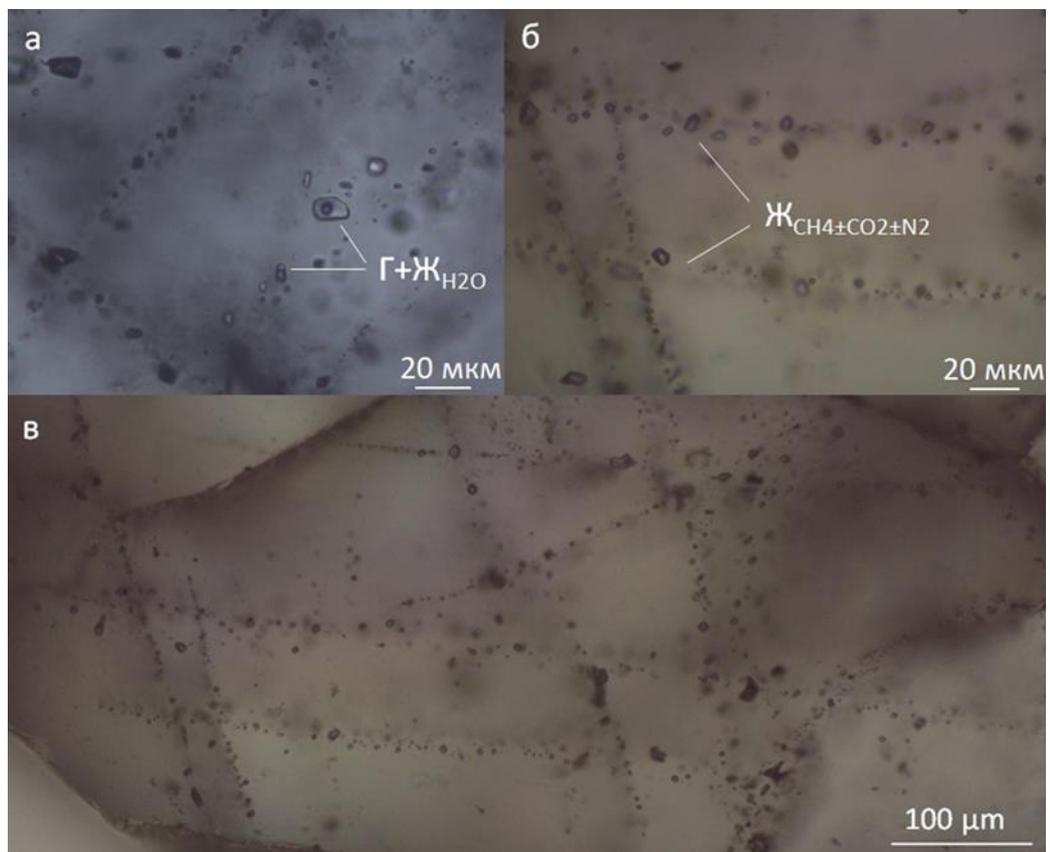


Рисунок 5. Флюидные включения в кварце месторождения Доброе: а – двухфазные ФВ, б – однофазные ФВ, в – системы пересекающихся трещинок, в которых захвачены однофазные флюидные включения.

По фазовому составу при комнатной температуре выделены два типа флюидных включений в кварце. Первый тип представлен двухфазными ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} + \text{Г}(\text{Ж})_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2}$) включениями (Рис. 5а) с меняющимися соотношениями объемов воды и газа. Форма вакуолей этого типа включений самая разнообразная, размеры их не превышают 10-15 мкм. Второй тип – однофазные газовые или жидкие углекислотно-углеводородные включения ($\text{Г}(\text{Ж})_{\text{CO}_2 \pm \text{CH}_4 \pm \text{N}_2}$) (Рис. 5б,в).

ОБОСНОВАНИЕ ЗАЩИЩАЕМЫХ ПОЛОЖЕНИЙ

Первое защищаемое положение: Кварцево-жильные зоны золоторудных месторождений Благодатное и Доброе сформированы гидротермальными растворами в интервале температур 180 – 360 °С, давлений – 0.2 – 2.6 кбар и солёности от 1.5 до 16.5 мас. % (NaCl-экв.), характерных для золотого оруденения Енисейского кряжа.

Благодатное месторождение. Рудная стадия продуктивной минерализации на месторождении Благодатное характеризуется более высоко температурным режимом (220-350 °С), чем стадия прерудных метасоматитов (180-300 °С) и поздняя пострудная кварц-кальцитовая стадия (110-180 °С) (Рис. 6). Солёность рудообразующих растворов рудной и прерудной стадии была средней, в пределах от 6 до 16.5 мас. % (экв. NaCl). На уже существующие кварцевые жилы накладывались как слабосолёные (1 – 5 мас.%, NaCl-экв), так и высокосолёные (>30 мас.%, NaCl-экв.) растворы в температурном интервале 130 – 350 °С. На пострудной стадии были активны низкосолёные растворы (1 – 6 мас. %, NaCl-экв.). Давление на прерудной стадии составляло 0.2-1.6 кбар, а на рудной повышалось до 2.6 кбар.

Обобщение микротермометрических данных, полученных при изучении флюидных включений в кварце месторождения Доброе, показало, что продуктивная стадия рудного минералообразования протекала при температуре 180-360 °С, солёности 1.5-15 мас. %, NaCl – экв. и давлении 0.2-1.3 кбар. Наложение более поздних флюидов происходило при температуре 110 – 230 °С, солёности 0.5 – 2.5 мас. %, NaCl – экв.

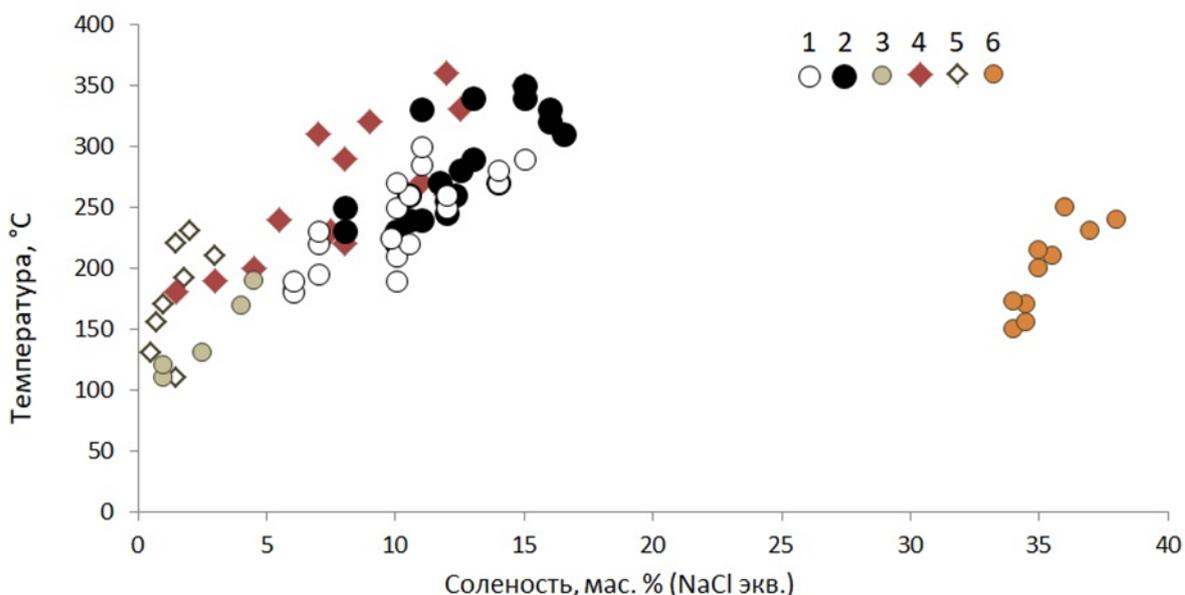


Рисунок 6. Температура и солёность флюидов различных стадий формирования месторождений. Благодатное: 1 – прерудная стадия, 2 – рудная стадия, 3 – пострудная стадия, 6 – наложенные высокосолёные флюиды. Доброе: 4 – рудная стадия, 5 – пострудная.

Микротермометрические исследования показали, что формирование кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе происходило в схожих условиях. Температурные диапазоны образования месторождений Благодатное и Доброе практически совпадают. Интервалы температур гомогенизации составляют 180 – 350 и 180 – 360 °С, соответственно, что отражает среднетемпературный характер минералообразующей среды. Солевой фон водной фазы флюидов обоих месторождений определяют хлориды натрия и магния. В формировании месторождения Доброе участвовали флюиды с более низкой соленостью (1.5 – 15 мас.%, NaCl.-экв.), чем флюиды месторождения Благодатное (6 – 16.5 мас.%, NaCl.-экв.). На исследуемых объектах наблюдаются вариации флюидного давления: 0.2 – 2.6 на Благодатном и 0.2 – 1.3 на месторождении Доброе.

Широкая вариативность температур, давлений и солености флюидов характерна для большинства золоторудных месторождений Енисейского кряжа. Золоторудные месторождения Олимпиада, Эльдорадо, Советское, Герфед, Богунайское, Ведуга, Удерей сформировались в температурном диапазоне 100 – 630 °С, при давлениях от 0.1 до 2.5 кбар, соленость флюидов варьировала в широких пределах от 0.1 до 63 мас.% [Томиленко, Гибшер, 2001; Генкин и др., 2002; Оболенский и др., 2007; Мельников и др., 2008; Гибшер и др., 2011; Tomilenko et al., 2010; Рябуха и др., 2015; Гибшер и др., 2017; Кряжев, 2017; Прокофьев и др., 2017; Гибшер и др., 2019; Shaparenko et al., 2021]. Таким образом, температурный режим, перепады давлений и соленость флюидов в процессе формирования месторождений Благодатное и Доброе являются характерными для золотого оруденения на Енисейском кряже.

Второе защищаемое положение: Минералообразующие флюиды содержали H_2O , CO_2 , углеводороды и кислородсодержащие органические соединения, S-, N- и галогенсодержащие соединения. Два типа флюида принимали участие в формировании кварцево-жильных зон месторождений: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный. Золотоносные ассоциации были сформированы более восстановленными углекислотно-углеводородными флюидами.

Летучие компоненты играют важную роль в формировании золоторудных месторождений, повышая растворимость золота в рудоносных флюидах [Hu et al., 2022]. Для определения состава газов в минералообразующем флюиде месторождений Благодатное и Доброе применены следующие методики: 1) состав газовой фазы в индивидуальных флюидных включениях в кварце определен методом рамановской спектроскопии, 2) валовый состав летучих, извлеченных из ФВ из кварца, сульфидов и самородного золота, проанализирован методом газовой хромато-масс-спектрометрии.

Методом рамановской спектроскопии в индивидуальных флюидных включениях в кварце выявлено наличие трех основных компонентов в газовой составляющей флюида: CO_2 , CH_4 и N_2 в различных соотношениях. В газовой фазе первичных и первично-вторичных ФВ на обоих месторождениях преобладает CO_2 (22.8 – 98.8 мол.%). Тогда как в однофазных газовых и жидких первично-вторичных и вторичных включениях главным долей CO_2 понижается (Рис. 7). Таким образом, можно выделить два типа флюида, сформировавших золотое оруденение месторождений Благодатное и Доброе. Водно-углекислотный тип флюида захвачен в газовой фазе первичных и вторичных включений, по данным раман-спектроскопии (Рис. 7), преобладает углекислота, соотношение CO_2/CH_4 варьирует от 4.7 до 145.3 (Благодатное) и от 1.7 до 329.3 (Доброе). Второй тип флюида – углекислотно-углеводородный – захвачен в жидкой фазе первичных и вторичных включений. Для флюида второго типа характерно преобладание метана и отношения CO_2/CH_4 составляют 0.01-0.2 (Благодатное) и 0.04-30.5 (Доброе). Вариации соотношения CO_2/CH_4 указывают на смену окислительно-восстановительных условий. Стоит отметить, что однофазные флюидные включения первично-вторичных и вторичных генераций

преобладают в кварце рудной стадии формирования кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе. А это указывает на то, что продуктивные стадии минералообразования и отложения золота на исследуемых объектах связаны с более поздними восстановленными углекислотно-углеводородными порциями флюида.

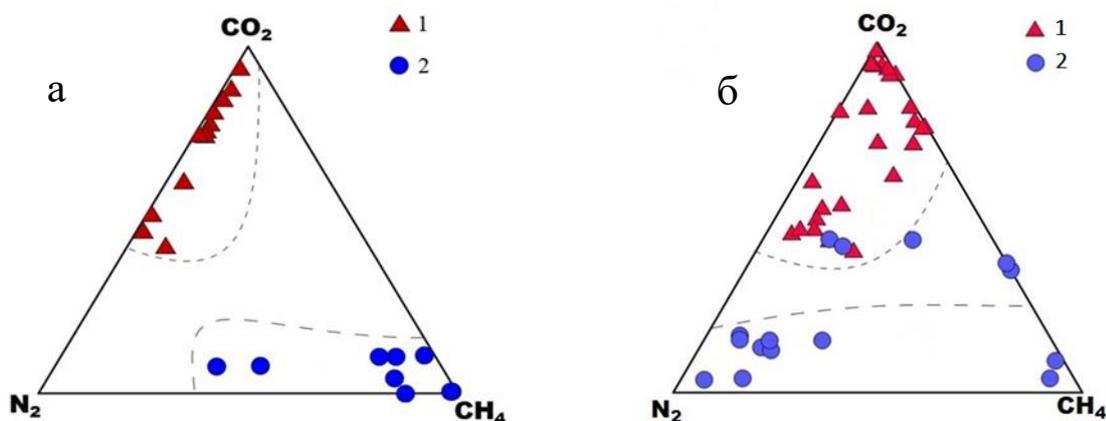


Рисунок 7. Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений в кварце золоторудного месторождений Благодатное (а) и Доброе (б) (по данным рамановской спектроскопии): 1 – двухфазные ФВ, 2 – однофазные ФВ.

По данным GC-MS, во флюиде обнаружены вода, углекислота, широкий спектр бескислородных и кислородсодержащих углеводородов, азот-, серо- и галогенсодержащих соединений (Рис. 8, Таблицы 1,2). В составе летучих из флюидных включений в кварце, сульфидах и кальците *месторождения Благодатное* вода и углекислота являются основными компонентами, при этом преобладает вода. Доля воды составляет 58.7 – 96.4 отн. % (в среднем 81.23 отн.%), доля CO₂ 0.83 – 15.08 отн. % (в среднем 6.19), доля остальных соединений составляет 2.56 – 38.75 (в среднем 12.58).

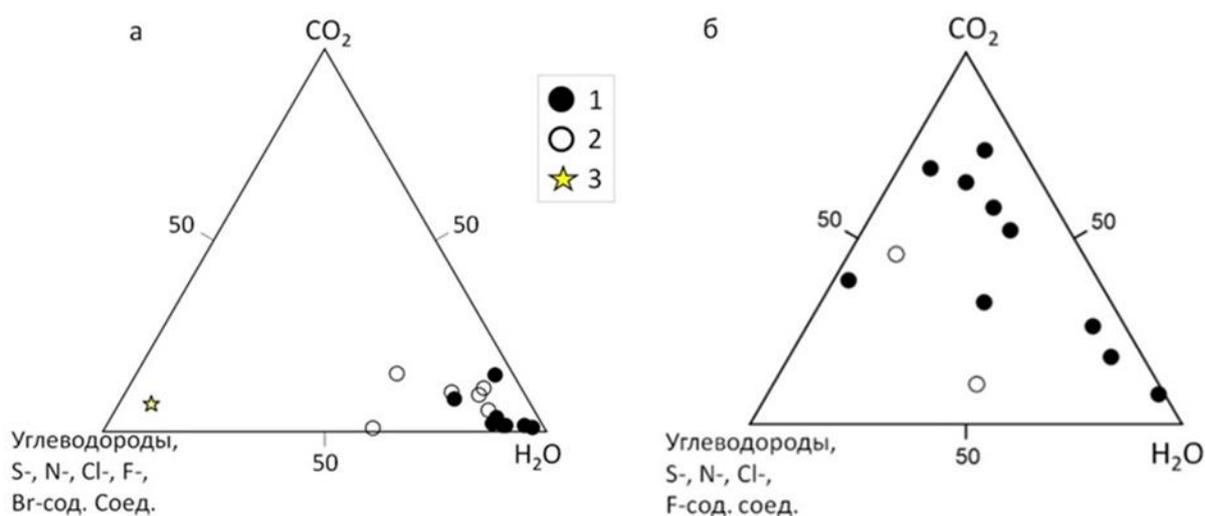


Рисунок 8. Состав летучих во флюидных включениях в минералах месторождения Благодатное (а) и Доброе (б) (по результатам GC-MS): 1 – в кварце и сульфидах золотоносной зоны, 2 – кварце и сульфидах незолотоносной зоны, 3 - в золоте.

Таблица 1. Состав (в отн.%) и количество (в скобках) летучих компонентов, выделившихся при однократном ударном вскрытии флюидных включений в минералах месторождения Благодатное (данные GC-MS).

Компонент	Минеральная ассоциация						
	золотоносная (Au=1-35.5 г/т)				незолотоносная (Au=0.2-0.8 г/т)		
	Золото	Кварц	Арсенопирит	Арсенопирит	Кварц	Пирротин	Кальцит
	310-13	Бл-7/96.0	Бл-7/96.0	БКС-10	86/107.7	34/105.9	35/178.1
Алифатические углеводороды							
Парафины (алканы)	9.75 (16)	7.48 (21)	2.24 (18)	3.64 (14)	1.04 (12)	0.87 (16)	0.57 (16)
Олефины (алкены)	1.31 (15)	0.12 (19)	1.08 (20)	0.11 (19)	2.77 (31)	0.96 (27)	0.06 (19)
Циклические углеводороды							
Циклоалканы, циклоалкены, арены, ПАУ	2.36 (21)	0.09 (14)	0.44 (24)	0.14 (22)	2.27 (16)	0.68 (28)	0.04 (20)
Кислородсодержащие углеводороды							
Спирты, эфиры (простые и сложные)	18.05 (22)	0.61 (19)	0.24 (11)	2.78 (19)	28.14 (28)	0.71 (27)	1.13 (17)
Альдегиды	12.96 (21)	0.30 (24)	0.33 (22)	1.17 (22)	0.85 (17)	1.08 (26)	0.44 (21)
Кетоны	1.73 (19)	0.21 (15)	0.08 (11)	0.13 (18)	1.47 (12)	0.91 (21)	0.08 (19)
Карбоновые кислоты	4.99 (12)	0.76 (15)	0.96 (13)	0.3 (14)	0.95 (12)	5.71 (21)	0.41 (13)
Гетероциклические соединения							
Диоксаны, фураны	0.14 (10)	0.01 (3)	<0.01 (4)	< 0.01 (5)	0.02 (4)	0.025 (7)	<0.01 (6)
Азотсодержащие соединения							
Азот, аммиак, нитрилы	26.81 (19)	1.44 (7)	0.38 (3)	1.21 (19)	0.78 (4)	1.71 (22)	23.28 (18)
Серосодержащие соединения							
H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	6.90 (14)	0.08 (8)	2.59 (10)	0.24 (10)	0.46 (5)	3.85 (11)	0.22 (9)
Неорганические соединения							
CO ₂	7.24	2.13	1.53	1.48	0.83	10.3	15.09
H ₂ O	7.26	86.78	90.14	89.52	60.42	73.45	58.67
Ar	0.10	0.01	<0.01	-	<0.01	<0.01	<0.01
Общее количество компонентов	172	149	139	165	144	209	162
Алканы/алкены	7.4	60.8	2.1	33.4	0.4	0.9	9.5
CO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O)	0.5	0.02	0.02	0.02	0.01	0.12	0.2
Σ(C ₅ -C ₁₇)/ Σ(C ₁ -C ₄)	24.58	0.5	0.31	0.04	14.8	0.14	0.63
H/(H+O)	0.84	0.7	0.67	0.69	0.76	0.67	0.64

Таблица 2. Состав (в отн.%) и количество (в скобках) летучих компонентов, выделившихся при однократном ударном вскрытии флюидных включений в сульфидах и кварце золоторудного месторождения Доброе (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии, GC-MS).

Компонент	Золотоносная зона, Au>1.4 г/т					Незолотоносная зона, Au<0.1 г/т	
	Д-10			Д-2-12		Д-1-2	Д-1-3
	Арсено-пирит	кварц жильный	кварц гранобластический	Арсено-пирит	кварц гранобластический	кварц жильный	кварц гранобластический
Алифатические углеводороды							
Парафины (алканы)	6.31 (13)	0.30 (11)	2.03 (16)	2.31 (13)	1.49 (13)	1.57 (19)	4.40 (16)
Олефины (алкены)	0.20 (16)	0.07 (15)	0.55 (14)	0.27 (20)	0.36 (17)	1.28 (31)	0.12 (24)
Циклические углеводороды							
Циклоалканы, циклоалкены, арены, ПАУ	0.43 (12)	0.06 (10)	0.57 (9)	0.25 (15)	0.42 (12)	0.23 (21)	0.15 (19)
Кислородсодержащие углеводороды							
Эфиры, спирты	0.51 (16)	0.81 (18)	1.82 (18)	1.49 (14)	2.90 (20)	0.27 (24)	2.12 (26)
Альдегиды	0.79 (20)	0.18 (22)	4.62 (23)	0.30 (2)	0.99 (23)	0.43 (22)	0.65 (23)
Кетоны	0.75 (17)	0.26 (16)	2.21 (17)	0.30 (16)	1.09 (18)	0.29 (21)	0.43 (20)
Карбоновые кислоты	0.17 (13)	0.78 (11)	1.71 (9)	1.44 (19)	3.18 (12)	0.62 (13)	0.56 (13)
Гетероциклические соединения							
Диоксаны, фураны	0.14 (6)	0.01 (8)	0.18 (11)	0.09 (8)	0.11 (11)	0.02 (10)	0.01 (7)
Азотсодержащие соединения							
Азот, аммиак, нитрилы	0.96 (9)	12.31 (10)	13.48 (12)	0.89 (10)	46.9 (13)	37.58 (22)	34.07 (23)
Серосодержащие соединения							
H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	2.19 (9)	0.03 (8)	2.30 (10)	0.08 (9)	0.34 (8)	0.75 (16)	0.71 (15)
Неорганические соединения							
CO ₂	52.34	58.13	32.85	26.36	38.80	10.75	45.77
H ₂ O	34.16	27.09	37.68	66.23	3.38	47.21	10.96
Ar	-	-	-	-	-	0.02	0.03
Общее количество компонентов	133	131	141	128	149	202	188
Алканы/ Алкены	31.5	3.0	3.3	7.7	3.8	1.2	36.7
CO ₂ / (H ₂ O+CO ₂)	0.6	0.7	0.5	0.3	0.9	0.2	0.8
Σ(C ₅ -C ₁₇)/ Σ(C ₁ -C ₄)	0.02	0.28	1.24	0.04	0.34	1.27	0.03
H/(H+O)	0.58	0.44	0.60	0.63	0.44	0.65	0.50

В составе летучих из флюидных включений в кварце и сульфидах *месторождения Доброе* преобладает CO_2 , доля которой достигает 60-70 отн. % при колебании в интервале от 10.7 до 73.8 отн. %. Доля воды составляет 3.4 – 90.6 отн. %. Содержание углеводородов, представленных алифатическими, циклическими и кислородсодержащими соединениями, в среднем составляет в кварцах – 16.3 отн. %, а в сульфидах – 7.4 отн. % .

Для реконструкции окислительно-восстановительных условий минералообразования используется отношения $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$, $\text{H}/(\text{H}+\text{O})$ и алканы/алкены. Так, для флюидов *месторождения Благодатное* значение $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$, вычисленное по результатам GC-MS анализа, меняется от 0.01 для кварца до 0.5 для золота. На *месторождении Доброе* $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ составляет 0.2-0.9. Отношение $\text{H}/(\text{H}+\text{O})$ варьирует от 0.64 до 0.84 на *Благодатном* *месторождении* и от 0.44 до 0.63 на *месторождении Доброе*. Это указывает на то, что в процессе формирования кварцево-жильных зон исследуемых объектов изменялись окислительно-восстановительные свойства флюидов. При этом, для продуктивных стадий характерны более восстановленные флюиды.

По данным [Norman et al., 2002; Blamey, 2012] отношение алканы/алкены используются для реконструкции окислительно-восстановительного потенциала флюидов. При доминировании алканов – флюид восстановленный, а при преобладании алкенов – флюид окисленный. По данным GC-MS, во флюидах *месторождения Доброе* отношение алканы/алкены варьирует от 1.2 до 36.7, а на *Благодатном* – от 0.4-9.5 в незолотоносной зоне до 2.1-60.8 в золотоносной зоне *месторождения*. Эти показатели указывают на то, что флюиды, которые принимали участие в формировании исследуемых *месторождений*, отвечают восстановленному состоянию.

Прямым доказательством того, что золото на *месторождении Благодатное* отлагалось в восстановительной обстановке, является состав летучих, извлеченных из самородного золота (Рис. 9, Таблица 1). В газовой составляющей флюидных включений в самородном золоте преобладают углеводороды, S-, N- и галогенсодержащие соединения, их доля составляет 85.5 отн. %. Вода и углекислота присутствуют во флюиде в подчиненном количестве, 7.3 и 7.4 %, соответственно. Эти данные указывают на то, что флюиды, действующие на рудном этапе, имели сложный водно-углекислотно-углеводородный состав. Отношение $\text{H}/(\text{O}+\text{H})$, которое является индикатором окислительно-восстановительных параметров флюида, составляет 0.84. Таким образом, минералообразующие растворы отвечают восстановленному состоянию. На восстановленный характер флюидов также указывает отношение алканы/алкены, которое составляет 7.4.

Органическое вещество, обнаруженное в минералообразующих флюидах, могло участвовать в транспорте металлов. В экспериментальных работах [Migdisov et al, 2017; Crede et al., 2019] показано, что в присутствии в растворе углеводородов растворимость золота и многих других элементов увеличивается. Таким образом, различные органические соединения внесли огромный вклад в формирование богатых золотом залежей на *Енисейском* *кряже*.

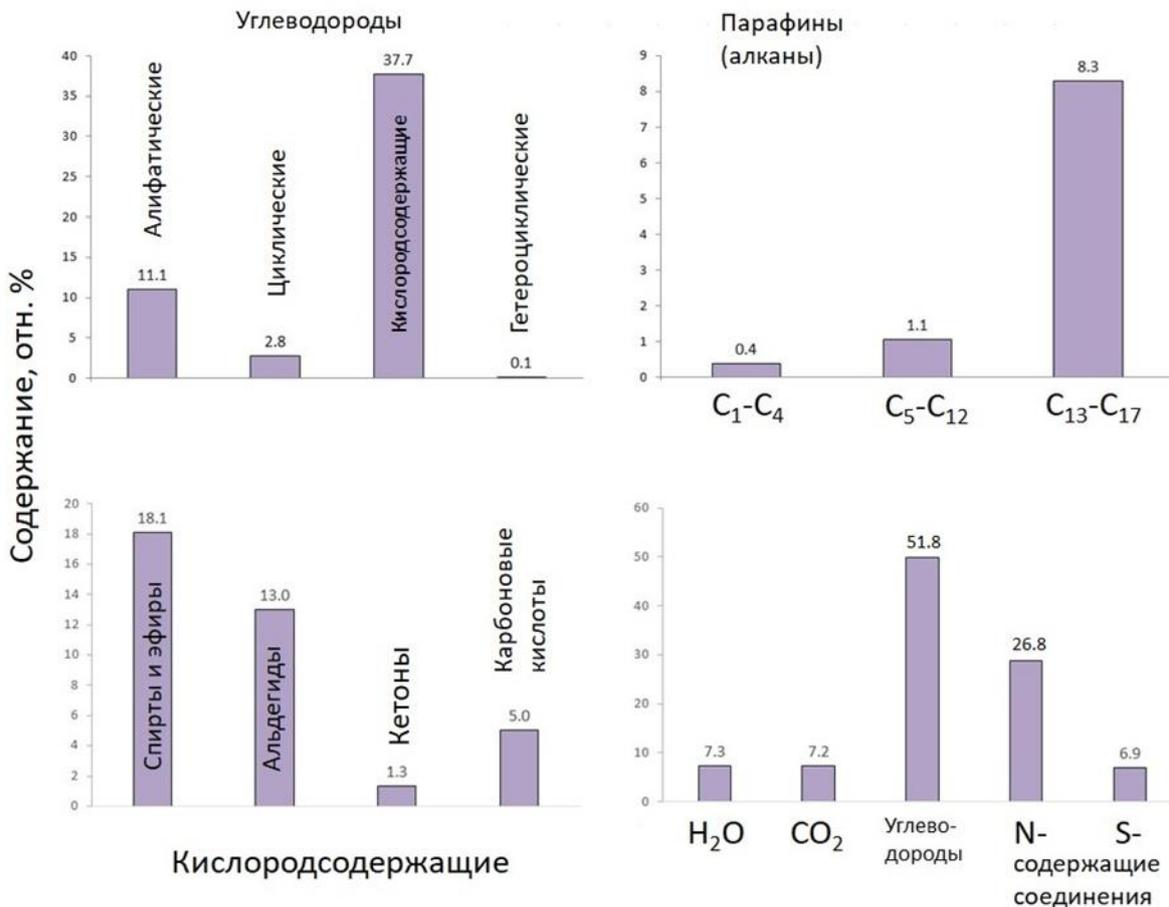


Рисунок 9. Распределение летучих компонентов (отн. %) во флюидных включениях, извлеченных из самородного золота месторождения Благодатное (данные GC-MS).

Третье защищаемое положение: Изотопный состав гелия (${}^3\text{He}/{}^4\text{He}=0.14\pm 0.3$), серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}=1.9-20.1$) и углекислоты во флюидах ($\delta^{13}\text{C}=-2.8\dots-20.9$), сформировавшихся месторождения Благодатное и Доброе, указывают на коровый источник минералообразующих флюидов.

На Благодатном месторождении во флюидных включениях в кварце содержание ${}^3\text{He}$ и ${}^4\text{He}$ составляет $0.12\cdot 10^{-12}$ и $0.85\cdot 10^{-6}$ см³/г, соответственно. Отношение ${}^3\text{He}/{}^4\text{He}$ составляет $0.14\pm 0.3\cdot 10^{-6}$. В работах [Ветрин и др., 2003; Икорский и др., 2006; 2014] 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 [Халенев, 2010; Прасолов и др., 2018] во флюидах Благодатного месторождения составляет около 1 %, указывая на коровый источник рудоносных флюидов.

Сульфидная сера арсенопирита, основного концентратора золота на Благодатном месторождении [Сазонов и др., 2016], обогащена тяжелым изотопом в узком диапазоне вариаций от 6.3 до 12.0 ‰. Более 90 % значений лежит в еще более узком диапазоне от 7.7 до 12.0 ‰. В этом же интервале находится и большая часть значений $\delta^{34}\text{S}$ пирита и пирротина (Рис. 10). Полученные изотопные данные серы сульфидов значительно тяжелее интервала значений ($\delta^{34}\text{S} = 0\pm 3$, ‰), приписываемого магматической сере [Ohmoto, Rye, 1986, Taylor, 1986; Goldfarb et al., 1991].

На месторождении Доброе сульфидная сера арсенопирита обогащена тяжелым изотопом $\delta^{34}\text{S}$ в узком интервале от +1,9 до +4,2 ‰. В интервале от +6,0 до +9,0 ‰

определен изотоп серы ($\delta^{34}\text{S}$) в пирротине. Существенно расширяется диапазон вариаций $\delta^{34}\text{S}$ в пирите – от +3,2 до +17 ‰.

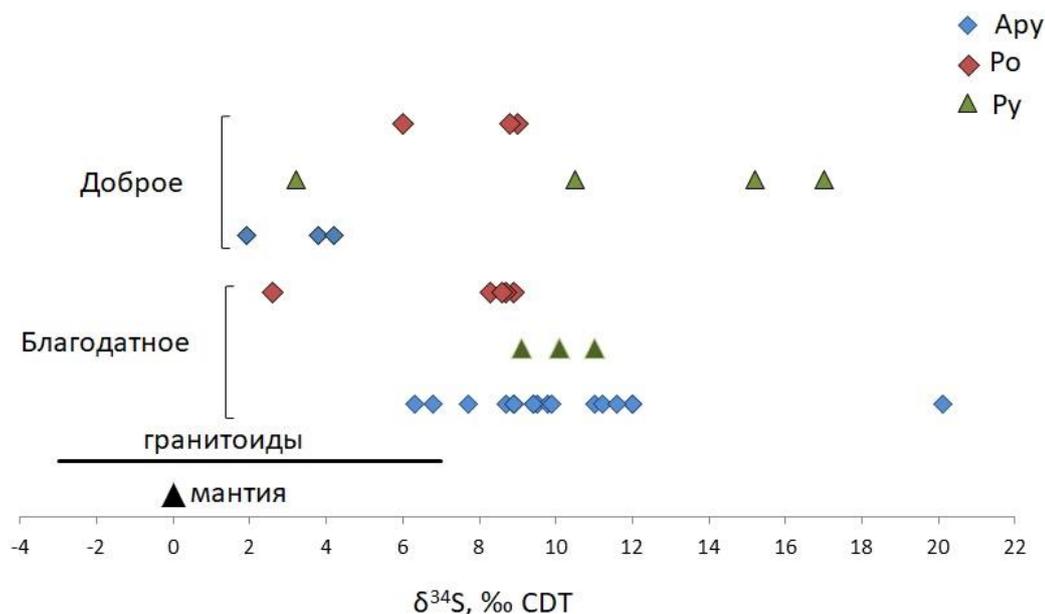


Рисунок 10. Диапазон вариаций изотопного состава серы сульфидов месторождения Доброе: Ару – арсенопирит, Ро – пирротин, Py – пирит. Изотопный состав серы сульфидов из гранитоидов приведен по данным [Ohmoto, Rye, 1979].

Значение $\delta^{13}\text{C}$ во флюидах золотоносного кварца на месторождении Благодатное меняется от -2.8 до -12.0 ‰. Во флюидах незолотоносного кварца определен более легкий изотоп углерода в интервале от -3.3 до -20.9 ‰ (Рис. 11). Общий диапазон значений $\delta^{13}\text{C}$ во флюидных включениях месторождения Благодатное варьирует в широких пределах (от -20.9 до -2.8 ‰), что указывает на механизмы взаимодействия нескольких источников вещества при формировании месторождения.

Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ во флюидах золотоносной зоны месторождения Доброе меняются от -4,9 до -8,3 ‰, показывая достаточно узкий интервал колебаний. Во флюидах незолотоносной зоны определен более легкий изотоп углерода и расширяется интервал значений от -3,6 до -11,3 ‰ (Рис. 11).

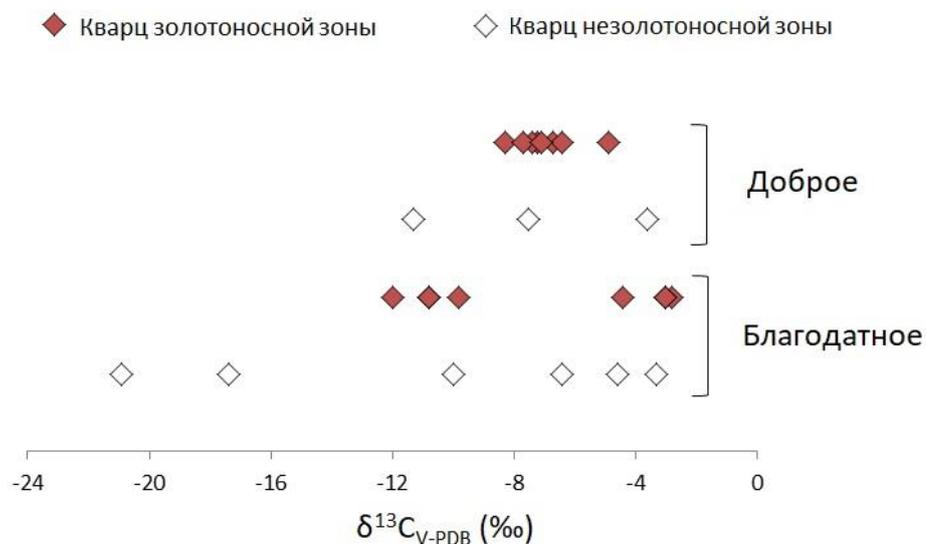


Рисунок 11. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) углекислоты из флюидных включений в кварце месторождений Благодатное и Доброе из золотоносных и незолотоносных зон.

Характер распределения и значения $\delta^{34}\text{S}$ в сульфидах месторождений Благодатное и Доброе схожи. По изотопным данным сера в сульфидах месторождения могла быть получена путем «усреднения» серы вмещающих пород и эти значения указывают на коровую природу [Ohmoto, Rye, 1979]. Вместе с тем, судя по приближению $\delta^{34}\text{S}$ к «мантийному» уровню сера в сульфидах месторождения Доброе могла быть частично привнесена флюидами более глубинной природы [Кряжев, 2017].

Значение $\delta^{13}\text{C}$ во флюидных включениях месторождений Благодатное и Доброе варьирует в широких пределах (от -20.9 до -2.8 ‰) (Рис. 11), что указывает на полистадийный механизм формирования месторождений. Наиболее вероятный сценарий – это выделение CO_2 во время коллизионных событий и отложение в зоне разлома [Rollingson, 1993; Luders et al.; 2015; Groppo et al., 2022].

Стоит отметить, что характер распределения $\delta^{13}\text{C}$ во флюидах месторождения Доброе и Благодатное одинаковый: наблюдается тенденция обогащения флюида незолотоносных зон легким изотопом углерода, по сравнению с $\delta^{13}\text{C}$ флюидных включений в кварце золотоносных зон.

Значения изотопа углерода во флюидных включениях месторождений Благодатное и Доброе значительно тяжелее органического углерода терригенных толщ, для которого $\delta^{13}\text{C}$ попадает в интервал от -22,4 до -28,7 ‰ [Галимов, 1968; Хёвс, 1983; Кулешов, 1986; Авгенко и др., 2002]. Утяжеление $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ во флюидах могло быть вызвано поступлением во флюидную систему CH_4 в интервале температур 250-350 °С [Ohmoto, Rye, 1979]. При таких же температурах сформированы исследуемые объекты, а в составе флюидов постоянно присутствует CH_4 и другие более тяжелые, чем метан, углеводороды и их производные (Табл. 1,2). Наиболее вероятным источником углекислоты во флюиде месторождения Доброе могли быть внутрикоровые гидротермы.

Результаты изотопно-геохимических ($\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$) и термобарогеохимических исследований указывают на сложный и многостадийный характер формирования золоторудных месторождений Енисейского кряжа. Флюиды, которые сформировали месторождения Благодатное и Доброе, имеют преимущественно коровую природу. Вариации в значениях изотопного состава серы в сульфидах ($\delta^{34}\text{S}$) и углекислоты во флюидных включениях ($\delta^{13}\text{C}$) свидетельствуют о полистадийном поступлении рудного вещества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате комплексного исследования минералообразующих флюидов золоторудных месторождений Благодатное и Доброе автором были получены новые данные по параметрам формирования кварцево-жильных зон исследуемых объектов, а также изотопно-геохимические характеристики для установления источника рудоносных растворов. Полученные данные указывают на сложный и полистадийный характер образования кварцево-жильных зон золоторудных месторождений Благодатное и Доброе.

Установлено, что кварцево-жильные зоны месторождений Благодатное и Доброе, которые находятся на Енисейском кряже, были сформированы в среднетемпературных условиях (180 – 360 °С), при перепаде давлений 0.2 – 2.6 кбар и умеренной солёности от 4 до 16.5 мас. % (NaCl-экв.). Такие условия характерны для большинства золото-кварцевых месторождений Енисейского кряжа.

Согласно результатам раман и GC-MS анализов, минералообразующие флюиды представляет собой сложную многокомпонентную систему, и состоят из H₂O, CO₂, алифатических, циклических, кислородсодержащих углеводородов, гетероциклических, азот-, серо- и галогенсодержащих соединений. Выделено два типа флюида, которые принимали участие в формировании кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный.

GC-MS анализ показал, что во флюидных включениях в самородном золоте преобладает группа углеводородов и их производных (85.5 отн. %). То есть, золотоносные ассоциации были сформированы более восстановленными углекислотно-углеводородными флюидами.

Малая доля мантийного гелия (1%) во флюидных включениях в кварце из золотоносной зоны Благодатного месторождения является признаком того, что флюиды, сформировавшие месторождение, имели преимущественно коровое происхождение.

Исходя из того, что сера сульфидов на исследуемых объектах в большей степени обогащена тяжелым изотопом ($\delta^{34}\text{S}=1.9\text{--}20.1$), наиболее вероятным источником рудного вещества были глубинные коровые породы. Характер распределения $\delta^{13}\text{C}$ во флюидах месторождения Доброе и Благодатное ($-20.9\text{--}-2.8$ ‰) также указывает на коровый источник CO₂ во флюиде.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых изданиях:

1. **Shaparenko E.**; Gibsher N., Tomilenko A., Sazonov A., Bul'bak T., Ryabukha M., Khomenko M., Silyanov S., Nekrasova N., Petrova M. Ore-Bearing Fluids of the Blagodatnoye Gold Deposit (Yenisei Ridge, Russia): Results of Fluid Inclusion and Isotopic Analyses. *Minerals* 2021, 11, 1090.
2. Бульбак Т.А., Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Сазонов А.М., **Шапаренко Е.О.**, Рябуха М.А., Хоменко М.О., Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Углеводороды во флюидных включениях из самородного золота, пирита и кварца месторождения Советское (Енисейский край, Россия) по данным беспирилизной газовой хромато-масс-спектрометрии // *Геология и геофизика*. 2020. №11. С. 1535—1560.
3. 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 месторождения (Енисейский край, Россия) // *Геохимия*. 2019. №5. С. 593-599.
4. 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.** Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский край): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов, $^3\text{He}/^4\text{He}$ флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования // *Геология и Геофизика*. 2019. Т.60. № 9. С.1310-1329.
5. Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Бульбак Т.А., Хоменко М.О., Рябуха М.А., **Шапаренко Е.О.**, Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Рудоносные флюиды золоторудного месторождения Эльдorado (Енисейский край, Россия) // *Геология и геофизика*. 2018. Т.59. № 8. С.1220-1237.

Избранные тезисы конференций:

1. Шапаренко Е.О., Хоменко М.О. The Blagodatnoye gold deposit (Yenisei ridge, Russia): PTX parameters of ore-bearing fluids // *Proceedings of the X International Siberian Early Career GeoScientists Conference, Novosibirsk, June 13 – 17, p. 81-82.*
2. Шапаренко Е.О., Хоменко М.О. Флюидный режим формирования золоторудного месторождения Благодатное (Енисейский край, Россия) // *Новое в познании процессов рудообразования: Десятая Российская молодёжная научно-практическая Школа с международным участием, Москва, 29 ноября – 03 декабря 2021 г. Сборник материалов. М.: ИГЕМ РАН, 2021.*
3. Shaparenko E., Tomilenko A., Gibsher N., Bul'bak T., Sazonov A., Khomenko M., Petrova M. Hydrocarbons in fluid inclusions in minerals from gold deposits of the Yenisei Ridge (Russia) // *Abstract book: European current research on fluid and melt inclusions e-CROFI, June 28 – July 2 2021, p. 52.*
4. Шапаренко Е.О., Хоменко М.О. Особенности состава летучих компонентов в рудоносных флюидах золоторудных месторождений Благодатное и Доброе (Енисейский край, Россия) // *Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXIX Всероссийской молодежной конференции. Иркутск, 11–16 мая 2021 г., с. 289-290.*
5. Шапаренко Е.О., Хоменко М.О. Углеводороды во флюидных включениях из кварца, арсенопирита и пирита золоторудного месторождения Доброе по данным беспирилизной газовой хромато-масс-спектрометрии // *Сборник тезисов докладов Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов – от прогноза к добыче. II молодежная научно-образовательная конференция ЦНИГРИ (17–19 февраля 2021 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»), с 145-148.*
6. Шапаренко Е.О., Бульбак Т.А., Хоменко М.О., Гибшер Н.А. Особенности состава летучих компонентов во флюидах золоторудного месторождения Благодатное (Енисейский край, Россия): данные газовой хромато-масс-спектрометрии флюидных включений // *Сборник*

материалов Девятой Российской молодёжной научно-практической Школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования», Москва, 25-29 ноября 2019, с. 460-462.

7. Elena O. Shaparenko, Taras A. Bul'bak, Margarita O. Khomenko, Maria A. Ryabukha, Anatoly M. Sazonov Ore-bearing fluids of the Blagodatnoye gold deposit (Yenisei ridge, Russia): fluid inclusions data // Proceedings Volume 2, 15th SGA Biennial Meeting in Glasgow, Scotland, UK, August 27-30 2019, pp. 745-747.
8. Шапаренко Е.О., Хоменко М.О., Бурнакова Ю.В., Мухортова Д.А. Флюиды золоторудного месторождения Доброе (Енисейский кряж, Россия): по результатам изучения флюидных включений в кварце // Материалы XXVIII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». Иркутск, 2019, с. 182-183.
9. Шапаренко Е.О. Золотоносные флюиды Благодатного месторождения (Енисейский кряж, Россия): по данным изучения флюидных включений в кварце // Материалы VIII Российской молодёжной научно-практической Школы «Новое в познании процессов рудообразования». Москва, 2018, с. 407-408.
10. Шапаренко Е.О. Термобарогеохимические характеристики флюидов на золоторудном месторождении Благодатное (Енисейский кряж, Россия): по данным изучения флюидных включений в кварце // Материалы IX Сибирской конференции молодых ученых по наукам о Земле, Новосибирск, 2018, с. 691-693.