Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева Сибирского отделения Российской академии наук

На правах рукописи

Рябуха Мария Алексеевна

ФЛЮИДНЫЙ РЕЖИМ И ВОЗРАСТ ФОРМИРОВАНИЯ ОРОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА (на примере Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений)

1.6.10. «Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения»

Диссертация на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: д.г.-м.н. Томиленко Анатолий Алексеевич

Новосибирск 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ПРЕДШЕСТВУЮЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	10
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	15
2.1. Визуально-оптический метод	15
2.2. Термобарогеохимические методы	17
2.3. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой	(ИСП-
MC)	19
2.4. Газовая хроматография	20
2.5. Беспиролизная газовая хромато-масс-спектрометрия	21
2.6. Рамановская спектроскопия (КР-спектроскопия)	23
2.7. Изотопия серы	25
2.8. Изотопия углерода	26
2.9. Изотопия гелия	27
2.10. ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar датирование	28
ГЛАВА З. КРАТКАЯ ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ	
ХАРАКТЕРИСТИКА БОГУНАЙСКОГО, ГЕРФЕДСКОГО И	
ПАНИМБИНСКОГО ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ	30
ГЛАВА 4. ХАРАКТЕРИСТИКА ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ	51
ГЛАВА 5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ	58
5.1. Температура и давление минералообразования	58
5.2. Состав и солёность водной фазы флюидных включений	68
5.3. Газовый состав флюидных включений	77
5.4. Изотопный состав серы	100
5.5. Изотопный состав углерода	102
5.6. Изотопный состав гелия	103
5.7. Возраст формирования месторождений	104
ГЛАВА 6. ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ	107

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	124
ПРИЛОЖЕНИЕ	

Введение

Актуальность работы. Многие десятилетия Красноярский край является лидером золотодобывающей промышленности в нашей стране: балансовые запасы и прогнозные ресурсы золота в регионе составляют 20.3% от общероссийских. Здесь разрабатываются крупные месторождения В терригенно-карбонатных терригенных (Олимпиадинское, И толщах Ведугинское, Благодатное, Титимухта и др.). На территории Енисейского кряжа выявлено 305 месторождений, в том числе перспективных проявлений золота. При этом более 25 % рудного золота сосредоточено в крупных месторождениях и рудопроявлениях труднообогатимых золото-сульфидно-кварцевых руд с низким содержанием металла [Поляков, 2003]. Среди месторождений Красноярского края на долю объектов с запасами до 20 т. приходится 74 % от общего количества месторождений, из них 47 % – месторождения с запасами золота до 5 т. [Поляков, 2003]. Месторождения рудного золота связаны с кварцевыми жилами, расположенными В метаморфических толщах. приурочены непосредственно к разломным зонам палеозойского возраста Сердюк, 2004, 2010] И относятся К, орогенным так называемым, месторождениям золота.

В настоящее время в рудной геологии вопрос об источнике, генезисе золота на "орогенных месторождениях" остается остро дискуссионным, и всесторонние исследования золотоносных флюидов являются актуальными. Проблема связи орогенного золота в метаморфических комплексах с корообразующими процессами – магматизмом, метаморфизмом, гранитизацией наиболее дискуссионна и обсуждается многими исследователями [Ли, 1982, 1997; Böhlke, 1982; Сазонов, 1995, 1998; Groves et al., 1998; Заблоцкий, 2000; Заблоцкий и др., 2002; Корнев и др., 2004; Goldfarb et al., 2005; Сазонов и др., 2010; Сердюк и др., 2010; Чугаев и др., 2010; Phillips, Powell, 2010; Feng et al., 2021; Hu et al., 2022]: связано ли оруденение с процессами метаморфизма, магматизма, либо с деятельностью глубинных флюидов, являются ли эти

процессы поставщиками рудного вещества; открыт вопрос источника золота, его транспортировки и осаждения. К тому же, в теории эндогенного рудообразования одно из центральных мест занимает проблема источника рудного вещества и гидротермальных растворов, возраста гидротермальной минерализации. Получить ответы на эти вопросы можно с помощью изучения прямых источников информации о минералообразующем растворе – флюидных включений в минералах, изотопных исследований серы, углерода, гелия, которые помогут охарактеризовать минералообразующую среду, рудоносность и проследить ее эволюцию, а также приблизиться к пониманию источника золота. Результаты таких исследований могут быть использованы для прогнозных, поисковых и оценочных работ на золоторудных объектах подобных типов. Исследования были проведены нами на трех золоторудных месторождениях Красноярского края: Богунайское, Герфедское И Панимбинское.

Исследованиями процессов метаморфизма в мобилизации, миграции и концентрации рудного вещества в докембрийских толщах Енисейского кряжа в разные годы занимались Петровская Н.В., Генкин А.Д., Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Бортников Н.С., Борисенко А.С., Корнев Т.Я., Ли Л.В., Ножкин А.Д., Петров В.Г., Шохина О.И., Сазонов А.М., Сердюк С.С., и другие. Вместе с тем, для многих Au-месторождений генетические вопросы до сих пор нерешёнными. В остаются частности, сами флюиды золоторудных месторождений Енисейского кряжа недостаточно полно изучены. Результаты наших исследований позволяют получить дополнительную информацию о генезисе трех кварц-золоторудных месторождений, их минералообразующих средах, рудоносности, РТ-параметров формирования, а также о причинах, влияющих на масштаб золотоносности.

Объекты исследования. Проведено исследование флюидных включений в минералах трех золоторудных месторождений: Герфедском (малосульфидная золото-кварцевая формация, Енисейский золото-кварцевый пояс),

Панимбинском (золото-сульфидная формация, Енашиминско-Чиримбинский пояс) Богунайском (золото-серебряно-кварц-сульфидная И формация, Кузеевско-Богунайский пояс) [Сердюк, 2004]. Рассматриваемые золоторудные месторождения расположены на Енисейском кряже, который относится к докембрийским отложениям и является частью байкальской складчатости возрастом 900-520 млн. лет, обрамляющей древнюю Сибирскую платформу. Породы, вмещающие золотоносные жилы, представляют собой нижнепротерозойские гранулито-гнейсы канской серии (Богунайское месторождение). верхнепротерозойские кристаллические сланцы эпидотамфиболитовой фации кординской свиты (Панимбинское) и зеленосланцевой фации пенченгинской свиты (Герфедское).

Цели и задачи исследования

Цель: определить физико-химические условия и возраст формирования Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений.

В ходе исследования предполагалось решить следующие задачи:

1) Определить Р-Т условия формирования золоторудных месторождений;

2) Установить агрегатное состояние и состав минералообразующих сред, формирующих оруденения;

3) Определить изотопные характеристики серы сульфидов, углерода и кислорода карбонатов, углерода углекислоты и гелия из флюидных включений в кварце;

 Установить возрастные датировки формирования золоторудных месторождений;

5) Выяснить возможный источник(и) минералообразующих флюидов.

Фактический материал и методы исследования. Для решения поставленных задач были исследованы образцы жильного кварца, сульфидов и серицита из золоторудных жил Герфедского (17 обр.), Панимбинского (23 обр.) и Богунайского (40 обр.) месторождений. Образцы были предоставлены д.г.м.н. Сазоновым А.М. (СФУ, Красноярск) и н.с. Хоменко М.О. (ИГМ СО РАН,

Новосибирск). Исследования проводились в лаборатории термобарогеохимии, лаборатории изотопно-аналитических методов ИГМ СО РАН (г. Новосибирск), а также в Геологическом институте КНЦ РАН (г. Апатиты). Для выяснения состава флюидных включений использовалась химического массспектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС). Для анализа флюидов использовались рамановская (KPсостава спектроскопия спектроскопия), газовая хромато-масс-спектрометрия, для определения возраста Au-оруденения применялось ⁴⁰Ar-³⁹Ar-датирование, для выяснения источника минералообразующих растворов и золота использовались изотопные анализы серы сульфидов, углерода углекислоты и гелия из флюидных включений в кварце.

Научная новизна. Впервые определены физико-химические условия образования данных месторождений, состав флюидов методом хромато-массспектрометрии, возраст оруденения, изотопный состав гелия, серы и углерода. Причем, определение состава флюидных включений в кварце и сульфидах методом беспиролизной газовой хромато-масс-спектрометрии выполнено впервые и представляет большой научный интерес для выяснения генетических особенностей подобных золоторудных месторождений.

Практическая значимость полученных результатов. Полученные результаты термобарогеохимических исследований рудных И нерудных минералов на Богунайском, Герфедском и Панимбинском месторождениях использоваться В качестве поисково-оценочных критериев могут при геологоразведке И доразведке золоторудных объектов. В связи С продолжающейся дискуссией о генезисе и соотношении золотого оруденения с процессами магматизма и метаморфизма полученные данные являются важными для понимания условий формирования и других орогенных месторождений золота Енисейского кряжа.

Защищаемые положения

Формирование Богунайского Первое защищаемое положение. месторождения происходило при температурах 210-350°C и давлении от 0.1 до 1.6 кбар, Герфедского – 200-400°С и давлении 0.1-2.5 кбар, Панимбинского 180-410°C И давлении 0.2-3.3 кбар гомогенных и ИЗ гетерогенных H_2O , CO_2 , алифатических, гидротермальных флюидов, состоящих ИЗ циклических и кислородсодержащих углеводородов, а также азот-, серо- и галогенсодержащих соединений.

Второе защищаемое положение. Изотопный состав гелия (³He, ⁴He) из флюидных включений и серы сульфидов (δ^{34} S) свидетельствуют о коровом источнике гидротермальных флюидов, сформировавших Богунайское, Герфедское и Панимбинское золоторудные месторождения Енисейского кряжа.

Третье защищаемое положение. Формирование Богунайского золоторудного месторождения происходило в интервале 466.0±3.2-461.6±3.1 млн. лет и существенно оторвано по времени от метаморфизма вмещающих пород канской серии (~1.9 – 1.84 млрд. лет [Ножкин и др., 2010]). Возраст Панимбинского месторождения составляет 817.2±5.3-800.4±5.1 млн. лет и коррелируется с развитием Панимбинско-Шалакитской надвиговой системы Енисейского кряжа (826-798 млн. лет [Тишин и др., 2005; Сазонов и др., 2010]).

Апробация результатов работы и публикации по теме диссертации. Автором лично и в соавторстве опубликовано в общей сложности 30 работ, из которых 10 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК, а также 20 тезисов в материалах российских и международных конференций:

Всероссийская молодежная конференция имени В.А. Глебовицкого, Санкт-Петербург, 2020; Всероссийская молодёжная геологическая конференция, Уфа, 2018 г; XVIII Всероссийская конференция по термобарогеохимии, посвященная 100-летию со дня рождения профессора Ю.А. Долгова, Москва, 2018 г; Международная конференция, посвященная 110-летию со дня рождения В.С. Соболева, Новосибирск, 2018; ACROFI VII, IGGCAS, Пекин, 2018; XVII

Всероссийская конференция по термобарогеохимии, посвященная 80-летию со дня рождения д.г.-м.н. Ф.Г. Рейфа, ГИН СО РАН, Улан-Удэ, 2016 г; V Российская молодёжная научно-практическая школа «Новое в познании процессов рудообразования», 2015, ИГЕМ РАН, Москва; Всероссийское совещание «Флюидный режим эндогенных процессов континентальной литосферы», Иркутск, 2015; Байкальская молодёжная научная конференция по геологии и геофизике, 2015, г. Горячинск; XXI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых учёных «Ломоносов», Москва, 2014; 22nd European current research on fluid inclusions, Анталья, 2013; 3-я Международная научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов памяти акад. А.П. Карпинского, ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 2013; XV Всероссийская конференция по термобарогеохимии, ИГЕМ РАН, Москва, 2012; Научная конференция «Ломоносовские чтения» 2012 и Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2012», Филиал МГУ им. М.В. Ломоносова, Севастополь, 2012; XVI Международный научный симпозиум студентов и молодых ученых имени академика М.А. Усова «Проблемы геологии и освоения недр», ТПУ, Томск, 2012; XVII Всероссийская научная конференция «Уральская минералогическая школа-2011», посвященная 300-летию М.В. Ломоносова, УрГГУ, Екатеринбург, 2011; XLIX Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс», НГУ, Новосибирск, 2011 г; 5-ая Сибирская конференция молодых ученых по наукам о Земле, ИГМ СО РАН, Новосибирск, 2010.

Лично автором определены цель и задачи диссертационного исследования, проанализирован обширный опубликованной научный материал, связанный с темой диссертации, а также сформулированы защищаемые положения. Автором лично подготовлены мономинеральные фракции и препараты, а также выполнены все термобарогеохимические исследования (микротермометрия, криометрия, КР-спектроскопия) флюидных включений в минералах изученных

месторождений. Получены и обработаны данные по газовой хромато-массспектрометрии, газовой хроматографии, изотопии серы (δ^{34} S) сульфидов, углерода (δ^{13} C) и кислорода (δ^{18} O) карбонатов, углерода (δ^{13} C) углекислоты и гелия (3 He/ 4 He) из флюидных включений и Ar-Ar возрасту оруденений.

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. А.А. Томиленко за всестороннюю помощь в выполнении работы, за терпение и неоценимую поддержку. Автор искренне благодарит к.г.-м.н. Н.А. Гибшер за помощь, ценные замечания и советы, а также н.с. М.О. Хоменко за любезное предоставление образцов. Диссертант признателен сотрудникам лаборатории термобарогеохимии (№436) ИГМ СО РАН: к.г.-м.н. Л.И. Паниной за искренний интерес к работе, ценные советы и рекомендации, к.г.-м.н. Т.А. Бульбаку, д.г.-м.н. С.З. Смирнову, а также, к.г.-м.н. В.П. Чупину, к.г.-м.н. С.Н. Гришиной, к.г.-м.н. А.Т. Исаковой за поддержку и содействие на разных этапах выполнения работы, конструктивную критику и советы при обсуждении результатов работы. За содействие в проведении аналитических работ автор благодарит д.г.-м.н. А.В. Травина, д.г.-м.н. В.Н. Реутского, н.с. О.А. Козьменко, к.х.н. И.В. Николаеву и к.х.н. С.В. Палесского. Также он выражает огромную признательность д.г.-м.н. А.М. Сазонову (СФУ, г. Красноярск) за предоставленный каменный материал и всестороннее сотрудничество.

Исследование выполнено в рамках государственного задания ИГМ СО РАН и Гранта Министерства науки и высшего образования РФ № 13.1902.21.0018.

Объем и структура работы. Работа состоит из введения, шести глав, заключения и приложения. Диссертация изложена на 156 стр. и сопровождается 34 иллюстрациями, 42 таблицами. Список литературы включает 269 наименований.

Глава 1. Обзор предшествующих исследований

В настоящее время в рудной геологии вопрос об источнике, генезисе золота на "орогенных месторождениях золота" остается остро дискуссионным И. соответственно, всесторонние исследования золотоносных флюидов «Орогенными» актуальными. считаются гидротермальные являются месторождения золота, которые образуются преимущественно В метаморфических толщах на глубине 5-15 км в условиях сжатия на активных континентальных окраинах: в аккреционных и коллизионных орогенах, возраст которых варьирует от мезоархейского до третичного времени [Böhlke, 1982; Groves et al., 1998; Goldfarb et al., 2005; Phillips, Powell, 2010]. Подобные месторождения известны по всему миру: орогенные пояса Китая, России, Австралии, Новой Зеландии, Южной Африки, Канады, Швеции, Швейцарии и Италии (Альпы), в настоящее время, современные аналоги формируются на глубине, например, вдоль Альпийского разлома в Новой Зеландии [Yardley, Bodnar, 2014; Gaboury, 2021]. Большинство месторождений орогенного золота относится к трем периодам геологического времени: неоархейскому (2.75–2.55 млрд. лет назад); палеопротерозойскому (2.1 - 1.75)млрд. лет) И неопротерозойско-фанерозойскому (<800 млн. лет) [Goldfarb et al., 2001; Tomkins, 2013]. Актуальна проблема их взаимосвязи с корообразующими процессами – магматизмом, метаморфизмом, гранитизацией, с деятельностью глубинных флюидов, активно обсуждается вопрос источника, транспортировки и осаждения золота. В своё время исследованием данной проблемы занимались многие как российские, так и зарубежные учёные: В.А. Обручев, Ю.А. Билибин, Ф.Н. Шахов, А.К. Мейстер, Н.В. Петровская, Л.В. Ли, А.Ф. Коробейников, В.А. Буряк, Ф.А. Летников, Т.Я. Корнев, В.Г. Петров, К.О. Кратц, А.Д. Ножкин, В.Г. Моисеенко, В.А Глебовицкий, Р.М. Слободской, И.Н. Томсон, К.А. Заблоцкий, А.С. Борисенко, Н.С. Бортников, А.А. Томиленко, Н.А. Гибшер, А.М. Сазонов, Г.А. Середенко, С.С. Сердюк, А.А. Migdisov, К.А.

Evans, A.C. Barnicoat, D.D. Van Reenen, B.P. Salier, J. Mao, R. Zhong, Y. Chen, D.R. Burrows, S. Sarangi, G. Bark, R. Bodnar A. J. Boyce, D. Gaboury, R.J. Goldfarb, D.I. Groves, A.G. Tomkins, J.K. Böhlke, G.N. Phillips, R. Powell, B. Yardley, J.S. Cleverley, M.L. Williams, J. Ridley и многие другие.

Например, В.А. Обручев, Ю.А. Билибин, Ф.Н. Шахов, А.К. Мейстер, Н.В. Петровская, Л.В. Ли, И.В Кучеренко, А.Ф. Коробейников считали, что оруденение на подобных объектах связано с гранитоидным либо с основным магматизмом [Мейстер, 1940; Петровская, 1956; Обручев, 1961; Ли, 1970]. При этом источником золота считаются или сами интрузии (магматический очаг), или вмещающие интрузии осадочно-метаморфические образования, а глубинные очаги и остывающие магматические тела рассматриваются в качестве источников энергии при транспортировке и переотложении золота. Это, так называемая, магматогенно-гидротермальная концепция [Frimmel, 2008].

В.А. Буряк, Ф.А. Летников, Т.Я. Корнев, В.Г. Петров, К.О. Кратц, А.Д. Ножкин, В.Г. Моисеенко, В.А. Глебовицкий и другие рассматривали образование золоторудных месторождений Енисейского кряжа как следствие регионального метаморфизма, в результате которого осуществлялся вынос значительной части золота из метаморфизуемых пород высокотемпературных фаций и его аккумуляция в пределах эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций. Сторонники этой теории считают, что повышенные концентрации золота, заслуживающие практического значения, обычно локализуются в зоне развития зеленосланцевой фации метаморфизма [Буряк и др., 2003], а более интенсивно метаморфизованные породы, особенно в условиях амфиболитовой и гранулитовой фаций, лишены существенных концентраций золота. В настоящее время сторонниками метаморфического источника золота также являются [Phillips, Powell, 2010; Wilson et al., 2013].

Многими учеными поддерживается концепция «углеродистого метасоматоза». При данном процессе в осадочные литифицированные толщи из

глубинных недр Земли восстановленными флюидами привносятся золото и платиноиды, концентрируясь в геологически ослабленных зонах глубинных разломов. Предполагается, что при формировании золоторудных месторождений в «черных сланцах» перенос золота осуществляется в виде легколетучих соединений, устойчивых в углеводородных флюидах (в том числе металлоорганических) [Слободской, 1981, Томсон, 1993; Pitcairn et al., 2010; Large et al., 2011; Tomkins, 2013; Gaboury, 2019; Pitcairn et al., 2021]. По мнению этих исследователей, углеродистые метасоматиты возникают из сухих восстановленных флюидов в зонах глубинных разломов и являются продуктами мантийной дегазации. В таких же восстановительных условиях формировались различные формы самородного углерода – графит, шунгит и др. Р.М. Слободской [1981] упоминал о существовании в геологических природных условиях металлоорганических соединений и их участии в процессах первичной миграции вещества (в том числе рудного). Рудоносные черные сланцы и эндогенные углеродистые метасоматиты приразломных зон смятия обладают близкими геохимическими особенностями. При этом и в тех, и в других породах, наблюдается прямая корреляция в содержании Сорг. и ряда металлов, в частности, золота. Эндогенные «черные сланцы» образуются вдоль По каналов миграции азот-углеводородного флюида. аналогии С сланцами, можно предположить, что при углеродистыми эндогенными золоторудных месторождений формировании черносланцевой формации перенос золота и, возможно, других компонентов осуществлялся в основном в виде легколетучих соединений, устойчивых восстановленных В углеводородных флюидах, т.е. в виде металлоорганических соединений.

За рубежом многостороннее исследование орогенных месторождений, включая геологические характеристики, флюидные включения в минералах, изотопный состав и время образования минерализации золота, проводили, например, ученые из Китая [Feng et al., 2004; Ding et al., 2013; Zhong et al., 2015; Zhang et al., 2017; Chen et al., 2020; Feng et al., 2021]. Однако все ещё остаются

спорными время минерализации золота и источники рудообразующего флюида и некоторых элементов (например, серы и свинца). Rb-Sr изохронное датирование флюидных включений в кварце в сочетании с изотопными исследованиями водорода, кислорода, серы и осмия дало основание некоторым китайским исследователям полагать, что рудообразующие флюиды и элементы были в основном получены из магмы [Zhang et al., 2017; Chen et al., 2020]. Однако в некоторых рудных районах, таких как Дачан (Китай), нет свидетельств о магматической активности, поэтому другие исследователи подчеркнули, что вмещающие осадочные породы здесь играли решающую роль в обеспечении рудообразующих растворов и компонентов (S, As, Au и других) металлов) во время рудогенеза [Ding et al., 2013; Zhai et al., 2021]. Согласно [Feng et al., 2021], орогенные месторождения золота в районе горной системы Куньлунь связаны с коллизионным горообразованием, что привело к региональному метаморфизму и высвобождению углекислотсодержащих рудообразующих флюидов в результате разложения или изменения исходных минералов. Впоследствии, флюиды мигрировали вверх, вдоль по разломам в обстановке постколлизионного расширения. Осаждение, вероятнее всего, происходило по механизму несмешиваемости флюида и взаимодействия флюид-порода [Feng et al., 2021].

В подавляющем большинстве, модели для орогенных систем золота предполагают, что флюид образуется во время метаморфизма пород от зеленосланцевой к амфиболитовой фации. При этом флюид и сера выделяются во время разрушения водных силикатов и пирита [Tomkins, 2010], и, если исходный состав породы благоприятен (например, углеродистые осадочные породы [Vilor, 1983; Ножкин и др., 2011; Large et al., 2011; Gaboury, 2021]), флюид обладает потенциалом формирования орогенных месторождений золота. Перенос золота может осуществляться гидросульфидными [Au(HS)²⁻], [AuHS] [Tomkins, 2013] металлоорганическими комплексами (например, И $[Au(S_2O_3)]^{-1}$, $[Au(HS_2)]^{-1}$, $(CH_3)_3Au(CH_3)_2AuSCSOC_2H_5$, $[Au(CN_2)]^{-1}$,

[Au(NH₃)₄](NO₃), [Au(S(CH)₂S)₂]⁻ [Слободской, 1981; Марчук, 2008; Ляхов, Павлунь, 2013]). Механизмами осаждения Au большинство исследователей называют: кипение [Weatherley, Henley, 2013], смешивание жидкостей [Bateman, Hagemann, 2004] реакцию флюид-порода и хемсорбция на поверхностях сульфидов [Möller, Kersten, 1994].

Таким образом, мобилизация и миграция золота в богатых углеводородами флюидах в виде элементоорганических соединений и/или коллоидных наночастиц в настоящее время считается потенциально эффективным процессом рудообразования. Металлоорганические комплексы при воздействии повышенных температур, давления, тектонических напряжений, действий растворов и радиогенных эманаций, когда углерод терял свою форму, связи в металлоорганических комплексах разрушались (и при наличии вулканической деятельности золото образовывало соединения с серой и мышьяком в виде сульфидов и арсенидов), освободившийся углерод образовывал молекулярные связи в виде CO, CO₂ и ионные связи в виде CO_3^{2-} , а водород входил в состав гидроксильных групп, повышая тем самым щелочность среды.

Термобарогеохимические исследования включений в золотосодержащих минералах позволяют оценить физико-химические условия отложения золота, генезис месторождения, выяснить временные взаимоотношения между региональным метаморфизмом, магматизмом и золотым оруденением, отчасти разбраковывать другие геологические объекты, залегающие в сходных геологических обстановках. Данные исследования отлично сочетаются и взаимодополняются с изотопными и геохронологическими определениями. Изотопные исследования гидротермальных флюидов позволяют идентифицировать источники палеорастворов И растворенных В них минеральных веществ. Исследование флюидных включений в жильном кварце Богунайского, Герфедского и Панимбинского месторождений проводятся нами впервые. Исследованиями процессов метаморфизма в мобилизации, миграции и концентрации рудного вещества в докембрийских толщах Енисейского кряжа в

разные годы занимались Петровская Н.В., Генкин А.Д., Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Бортников Н.С., Борисенко А.С., Корнев Т.Я., Ли Л.В., Ножкин А.Д., Петров В.Г., Шохина О.И., Сазонов А.М., Сердюк С.С. и другие. Вместе с тем, для многих Аи-месторождений генетические вопросы до сих пор остаются нерешёнными. Результаты исследований наших позволяют получить информацию дополнительную 0 генезисе трех кварц-золоторудных месторождений, РТ-параметрах формирования рудоносного кварца, о составе минералообразующих сред.

Глава 2. Методы исследования

Минералы золоторудных месторождений исследовались с помощью термобарогеохимических, комплекса изотопно-геохимических И геохронологических методов анализа. Флюидные включения в кварце были проанализированы с помощью микротермометрии, Раман-спектроскопии, масс-(ИСП-МС), спектрометрии индуктивно-связанной плазмой с газовой хроматографии, газовой хромато-масс-спектрометрии. Изотопные характеристики углерода определялись в кварце и карбонатах, а изотопы гелия из флюидных включений в кварце. Для выяснения состава летучих компонентов в сульфидах использовался метод газовой хромато-массспектрометрии, а определение изотопного состава серы было проведено с помощью масс-спектрометрического анализа. По серициту из кварцевожильных образований ⁴⁰Ar-³⁹Ar методом датирования определялся возраст золотого оруденения.

2.1. Визуально-оптический метод

На первом этапе изучения минералов кварцевых жил из каменного материала изготавливались петрографические шлифы и двустороннеполированные кварцевые пластинки толщиной около 0.25-0.3 мм. Осмотр шлифов и пластинок осуществлялся под оптическим и петрографическим

микроскопами Olympus BX51. Петрографические шлифы использовались для идентификации минерального состава исследуемых пород, описания взаимоотношения минералов. Для микротермометрических исследований в кварцевых пластинках выискивались группы флюидных включений, и после визуального осмотра определялись форма, размеры, генетические и фазовые типы; включения фотографировались. Наиболее детально изучались первичные включения в кварце, поскольку они дают возможность судить о физических свойствах и термобарических параметрах родоначальных флюидов. В зернах кварцевых агрегатов такие включения располагаются хаотично, группами и не приурочены к трещинам. Размер их колеблется от 2 до 8 микрон и не превышает 15-20 микрон.

Вторичные включения также повсеместно встречаются в кварцевых агрегатах. Обилие таких включений в трещинах и деформациях, наложенных на первичные структуры и включения в них, обычно не позволяют с уверенностью идентифицировать первичные популяции [Tuba et al., 2021]. Вторичные включения, в отличие от первичных, хорошо прослеживаются по трещинкам, рассекающим зёрна кварца, а также по межзерновым границам. Изучение вторичных включений также необходимо для воспроизведения полной картины последовательности процессов минералообразования И ЭВОЛЮЦИИ минералообразующих флюидов. По морфологическим особенностям вакуоли включений имели округлые, эллипсовидные, амёбовидные, удлиненные, угловатые очертания. Большинство вторичных включений были от 10 до 20-30 и даже 50 микрон.

Также необходимо отметить наличие в кварце *первично-вторичных* (*псевдовторичных*) включений. Выглядят такие включения как первичные, но образуются в процессе роста минерала-хозяина. Они представляют собой порции эволюционированного, более позднего материнского минералообразующего вещества, внедрившегося по коротким трещинам, ограниченным зонами роста и границами зёрен кварца [Ермаков, 1972; Tuba et

al., 2021]. Такие включения, наряду с первичными, отражают изменение состава флюида по мере кристаллизации минерала и несут ценную информацию об эволюции флюида.

2.2. Термобарогеохимические методы

Флюидные включения являются реликтами минералообразующих растворов, поэтому они исследуются с целью определения химического, изотопного состава и агрегатного состояния маточного раствора, а также Р-Т условий образования минералов [Ермаков, 1972; Калюжный, 1982; Tuba et al., 2021].

Микротермометрия. При микротермометрических исследованиях использовались фазовые превращения во включениях: при понижении температуры фазовый состав включений усложнялся, а при нагревании, наоборот, количество фаз уменьшалось, и система стремилась к гомогенной. Опыты нагреванию замораживанию флюидных по И включений осуществлялись на термокриокамере фирмы «Linkam» THMSG-600, на которой в автоматическом режиме возможно измерять температуры фазовых переходов в интервале от -196 до +600°C, со скоростью от 0.1 до 90°C/мин. Для охлаждения образцов в криокамере использовался жидкий азот, температура кипения которого (-195.8°C), что позволяло обнаруживать широкий спектр газообразных веществ в области низких температур, в том числе метан и сероводород. Для проведения микротермометрических измерений препарат устанавливается на сапфировом окошке диаметром 2 мм, вмонтированном в серебряный блок. Низкие температуры создаются и регулируются потоком охлажденного азота через кольцевое пространство в блоке. В него также встроен электронагревательный прибор. При работе в режиме нагревания работает только нагреватель, а при обоих режимах работы температура образца определяется теплообменом между ним и серебряным блоком.

До сих пор микротермометрический метод является наиболее точным для определения минимальной температуры минералообразования (температуры гомогенизации). При нагревании газово-жидкого включения объем жидкой увеличивался вследствие теплового расширения фазы жидкости или уменьшался в результате перехода ее в паровую фазу (в зависимости от включения). При критическом наполнения наполнении К моменту результаты действия процессов гомогенизации этих взаимно компенсировались.

Криометрия растворов включений использовалась для установления температур, при которых происходили различные фазовые преобразования в растворе (температура эвтектики, температуры появления или исчезновения твердых фаз) [Борисенко, 1977]. Используя их, определялся состав дочерних твердых фаз, состав и концентрация преобладающих компонентов в водном растворе и газовой фазе. Температура эвтектики солевой системы используется при диагностике состава главных компонентов раствора, и для каждой водносолевой системы существует своя определенная температура эвтектики: NaCl- H_2O (-21.2 °C), MgCl₂- H_2O (-33.6 °C), CaCl₂- H_2O (-49.8 °C) и т.д. [Борисенко, 1977]. Концентрация солей водной фазы включений ниже эвтектической оценивалась по температуре плавления последнего кристаллика льда и выражалась в мас. %, через эквивалент NaCl [Киргинцев и др., 1972; Tuba et al., 2021].

Криометрическим методом определялись И газовые компоненты флюидных включений. Газовые включения подвергались охлаждению до максимально низкой температуры для обнаружения низкокипящих газов сероводорода). Идентификация (метана, азота, газов происходила ПО температурным точкам тройного фазового равновесия для чистых веществ: СО₂ (-56.6 °С), СН₄ (-182.5 °С), Н₂S (-85.5 °С) и др.

Давление флюида. Давление флюида определялось двумя способами, в зависимости от состава флюидной системы. В системе H₂O-CO₂ давление

определялось по сингенетичным включениям – существенно водному ($\mathcal{K}_{H2O}+\Gamma$) и углекислотному ($\mathcal{K}_{CO2} \pm \Gamma_{CO2}$), с содержанием углекислоты не менее 99 моль. %. По $(\mathcal{K}_{H2O}+\Gamma)$ замерялась включению типа температура общей $(\mathcal{K}_{CO2} \pm \Gamma_{CO2})$ гомогенизации. по включению определялись температуры частичной гомогенизации и вид гомогенизации. Используя данные величины, давление оценивалось с помощью программы «Flincor» [Brown, 1989; Brown et al., 1995; Bakker, 2001].

В том случае, когда в составе включения вместе с углекислотой присутствовали метан и азот, давление и плотность рудообразующего флюида оценивалась для системы $H_2O-CO_2-CH_4-N_2$ по программе Isochor [Heyen et al., 1982; Regis et al., 1994; Bakker, 2001], используя уравнения из работ [Duan et al., 1992 a, b; 1996]. Для включений смешанного состава флюидное давление во включении рассчитывалось как сумма парциальных давлений газов с использованием vX-диаграмм для системы CO_2-CH_4 из работы [Thiéry et al., 1994].

2.3. Масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС)

Многоэлементный золотоносных флюидов анализ выполнялся высокочувствительным методом – масс-спектрометрией с индуктивносвязанной плазмой (ИСП-МС) на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT Finnigan MAT в Институте геологии и минералогии СО РАН. Подробная методика подготовки проб и анализ состава флюидов методами ІСР-MS изложены в работах Шацкого В.С., Томиленко А.А., Николаевой И.В. и др. [Шацкий и др., 2006; Томиленко и др., 2008; Николаева и др., 2008]. Данная методика обеспечивает низкие пределы обнаружения для большого числа элементов-примесей. В элементов-примесей качестве могут выступать щелочные и щелочноземельные (K, Rb, Cs, Ba), REE – редкоземельные элементы (от La до Lu, лёгкие и тяжёлые) [Туркина, 2014]. В кварце их концентраторами служат газово-жидкие включения [Ставров, Зозуля, 1975;

Ставров, 1978; Новгородова и др., 1984; Винокуров и др., 1999; Колонин, Широносова, 2002, 2007;]. Для химического анализа состава раствора флюидных включений под бинокулярным микроскопом отбиралась чистая мономинеральная фракция кварца (размером 0.25 мм, около 1 гр.), где преобладал один тип включений. Отобранные фракции промывались соляной кислотой и дистиллированной водой, высушивались, а затем помещались в тефлоновые стаканчики и заливались 5% азотной кислотой. Закрытые стаканчики нагревали в течение 24 часов при температуре 160°C, после чего пробы промывались деионизированной водой. Затем пробы снова тщательно промывали водой, высушивали, растирали в ступке и помещали в пробирки ёмкостью 10 мл, заливали 5% азотной кислотой и при неоднократном встряхивании выдерживали 48 часов. После этого пробы центрифугировались, и раствор прозрачной жидкости над осадком переносился в другую пробирку для измерения элементов. Анализ раствора на редкие и редкоземельные элементы проводили методом ICP-MS с внутренним стандартом (In). Анализ на щелочные элементы проводился методом ICP-AES (атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой) с внутренним стандартом (Sc). Для графического представления результатов применялось нормирование по хондриту [Taylor, McLennan, 1985]. Аномалия Eu(Eu/Eu*) рассчитывалась по формуле: $Eu/Eu^* = Eu/((Sm+Gd)/2)$, где Eu, Sm и Gd – значения концентраций, нормированных по хондриту.

2.4. Газовая хроматография

20

Суммарный газовый анализ флюидов определялся методом газовой хроматографии, подробно изложенным в работе [Осоргин, 1990]. Анализы проводились в лаборатории термобарогеохимии ИГМ СО РАН с помощью хроматографической установки, одновременно определяющей широкий спектр газов: CO₂, H₂O, CO, H₂, O₂+Ar, N₂, H₂S, SO₂, углеводороды от C₁ (CH₄) до C₅ из одной навески образца [Осоргин, 1990]. Газом-носителем служил гелий, для

определения CO и углеводородов в установке применялись цеолиты NaX с размером зерен 0,25 мм, а в качестве наполнителя использовался полисорб зернением 0.1 - 0.3 мм (для определения CO₂, H₂O, H₂S, SO₂).

Материалом для исследования являлся кварц (фракция 0,25 мм, навески 300 мг). В начале работы проводился тщательный отбор фракции кварца под бинокуляром с предварительной обработкой слабоконцентрированным раствором соляной кислоты, что позволило в значительной мере избежать искажения состава летучих из включений. Температура газовыделения составила 600°C, суммарная относительная погрешность хроматографического анализа для CO₂, O₂, N₂, CH₄, CO, H₂S составляет $1 \cdot 10^{-3}$ мг, для H₂, H₂O, SO₂ – $(2 \cdot 3) \cdot 10^{-3}$. Инструментальная погрешность определения CO₂ не превышала 10 отн. %, H₂O – до 15 отн. %, H₂ – до 22 отн. %, N₂ – 9 отн. %, CH₄ – 7-10 отн. %.

Метод газовой хроматографии определяет суммарный состав всех типов включений – водно-солевых и газовых, вскрывающихся при нагревании образца, а, следовательно, позволяет оценить соотношение воды и других газовых компонентов в природной системе.

2.5. Беспиролизная газовая хромато-масс-спектрометрия (GC-MS)

Валовый состав флюидных включений в кварце и сульфидах был определен методом беспиролизной газовой хромато-масс-спектрометрии (GC-MS) на хромато-масс-спектрометре Thermo Scientific (USA) DSQ II MS/Focus GC [Бульбак и др., 2020]. Свежесколотый образец объёмом до 0.06 см³ помещался пинцетом в специальное устройство, включенное онлайн в газовую схему хроматографа перед аналитической колонкой, затем прогревался при T=140-160°C в течение 133 минут в токе газа-носителя – гелия (чистота 99.9999%, начальное давление 45 кПа). Разделение газовой смеси на компоненты осуществлялось на капиллярной аналитической колонке Restek Rt-Q-BOND (неподвижная фаза – 100% дивинилбензол, длина – 30 м, внутренний диаметр – 0.32 мм, толщина неподвижной фазы – 10 мкм). Газовая смесь

вводилась через термостатируемый (270°С) кран (Valco, USA) в аналитическую колонку, скорость постоянного потока Не составляла 1.7 мл·мин⁻¹, температура GC/MS соединительной линии – 300°С; колонка выдерживалась 2 мин при T=70°С, затем нагревалась со скоростью 25°С·мин⁻¹ до температуры 150°С, а далее – со скоростью 5°С/мин⁻¹ до 290°С и удерживалась при этой температуре 100 мин. Масс-спектры ионизации электронным ударом по полному ионному току были получены на квадрупольном масс-селективном детекторе в режиме Full Scan. Старт анализа синхронизировался с моментом разрушения образца [Томиленко и др., 2021].

Ввод газовой смеси, извлеченной из образца при его одноактном ударном онлайн разрушении, осуществлялся В режиме В токе гелия без концентрирования, включая криофокусировку. Следует заметить, что в этом методе образец не подвергался пиролизу, а прогревался только для перевода воды в газовую фазу и удаления сорбированных поверхностью образца и прибора компонентов атмосферы. Поэтому анализировалась неизмененная газовая смесь, а не пиролизат, содержащий более окисленные соединения (H_2O_1 , СО, СО₂ и т.д.), вследствие протекания реакций между компонентами газовой смеси, газовой смесью и поверхностью накопителя, соединениями в газовой фазе и образцом. Перед "рабочим" анализом и после него проводились холостые онлайн анализы. Предшествующий анализ позволял контролировать выделение сорбированных поверхностью образца газов, в том числе и атмосферных компонентов, а по окончании этого процесса записывать бланк системы (вся аналитическая процедура без разрушения образца). По последующего определялась результатам анализа степень И полнота элюирования (последовательность выхода компонентов) тяжелых углеводородов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) с аналитической колонки при программировании температуры в термостате хроматографа [Томиленко и др., 2021].

Использованный для определения состава летучих компонентов GC-MS двух анализ объединяет достоинства независимых количественных аналитических методов идентификации индивидуальных соединений в газовой смеси. Хроматография посредством разделения газовой смеси на компоненты позволила для каждого из них определить специфичные времена удержания аналитической колонкой. Площадь пика в хроматограмме пропорциональна концентрации соответствующего вещества в газовой смеси [Томиленко и др., 2021]. Масс-спектрометрия предоставила набор масс-спектров для каждого соединения и информацию об его ионных и диагностических фрагментах. Идентификация каждого соединения выполнена путем интеграции обоих хромато-масс-спектрометрических методов. Интерпретация данных С идентификацией пиков и выделением из перекрывающихся пиков отдельных компонентов проводилась как с использованием программного обеспечения AMDIS (Automated Mass Spectral Deconvolution and Identification System) версии 2.73, так и в ручном режиме с коррекцией фона по библиотекам масс-спектров NIST 2020 и Wiley 12 с помощью программы NIST MS Search версии 2.4.

Относительные концентрации летучих компонентов в разделяемой смеси устанавливались методом нормировки: сумма площадей всех хроматографических пиков анализируемой смеси приравнивалась 100%, а по величине площади отдельного компонента определялось его относительное процентное содержание в анализируемой смеси. Площади пиков определены по алгоритму ICIS в хроматограмме с использованием Qual Browser 1.4 SR1 из пакета программ Хсаlibur. Данная высокочувствительная методика пригодна для обнаружения следовых содержаний индивидуальных летучих компонентов уже от десятков фемтограмм (10^{-15} г) [Бульбак и др., 2020; Томиленко и др., 2021].

2.6. Рамановская спектроскопия (КР-спектроскопия)

Исследуемые растворы относятся к сложным комплексным природным системам, и их состав сложно полностью восстановить микрометрическими исследованиями из-за слишком малого количества фазовых изменений, наблюдаемых при температурах от -180° C до $+600^{\circ}$ C. Поэтому для исследований индивидуальных включений использовалась КР-спектроскопия (спектроскопия комбинационного рассеяния света), с помощью которой осуществлялись качественные и количественные определения присутствующих во включениях газовых фаз системы C-O-H-N-S таких как: CO₂, CO, CH₄, C₂H₆, H₂S, N₂, H₂, C₆H₆ [Dubessy et al., 1989].

Раман-спектроскопия представляет собой недеструктивный метод анализа молекулярных соединений в составе твердых, жидких или газовых фаз, основанный на принципе рамановского рассеяния [Рёддер, 1987; Dubessy et al., 1989]. Характеристикой колебательного состояния вещества является энергетическая разница между падающим и рассеянным фотонами и выражается в волновом числе ($v = v^i/c$) по отношению к возбужденному излучению [McMillan et al., 1990].

Состав газовой фазы индивидуальных включений определялся на спектрометре Horiba LabRam HR800. Возбуждение проводилось твердотельным Nd YAG лазером с длиной волны 532 нм и мощностью 75 мВт. Регистрация спектра производилась полупроводниковым детектором Endor, охлаждаемым по методу Пелтье. Для локализации точки в анализируемом образце использована конфокальная система спектрометра на базе микроскопа OLYMPUS BX-41 с объективом (100х) с большой числовой апертурой. Анализ проводился в геометрии обратного рассеяния. Время накопления сигнала и размер конфокальной диафрагмы варьировали в зависимости от размеров анализируемой фазы (минимальный размер конфокального отверстия 30 нм (для объектов размером 5-10 мкм), максимальный размер – 300 нм (для объектов больше 100 мкм)). Спектры получены в диапазоне 100-4200 см⁻¹.

Большое преимущество метода состоит высокой в его очень чувствительности при качественном изучении включений даже субмикроскопических размеров (≥ 5мкм) без их вскрытия; а также в анализа индивидуальных фаз многофазовых включений. возможности Очевидно, что для количественного анализа требуются более крупные образцы. Точность измерений данного метода зависит от точности относительного сечения рассеивания для конкретного вещества (RRSCS) и от определения спектральной чувствительности спектра. Но, как и любой другой метод анализа, КР-спектроскопия при изучении флюидных включений имеет ряд ограничений. Например, при использовании очень высокого уровня излучения может происходить растворение или разрушение некоторых фаз во включении, интерференция минерала-хозяина, возникающая в результате флуоресценции и КР-рассеяния. При изучении высококонцентрированных фаз во флюидных включениях (например. капелек чистой жидкости. пузырьков газа. находящегося под высоким давлением, дочерних минералов) в большинстве случаев интерференция минерала-хозяина не оказывает существенных помех. И наоборот, анализ слабо концентрированных компонентов (например, газовых пузырьков, находящихся под атмосферным давлением, или присутствующих в малых концентрациях веществ) в растворах выполняется с большими трудностями, а иногда вообще невозможен. Ещё одно ограничение обусловлено отсутствием эффективных КР-пиков у большинства главных компонентов флюидных включений. В общем случае интенсивные пики свойственны полиядерным соединениям, таким как SO^{2-4} , HSO⁻⁴, H₂S, HS⁻, HCO⁻³, CH₄ и N₂. Главные ионы в растворах флюидных включений (К, Na, Mg, Ca и Cl) дают относительно слабые спектральные эффекты или вызывают косвенные нехарактерные изменения в спектрах воды и других полиядерных ионов, поэтому с помощью КР-спектров нельзя осуществить количественные определения этих ионов во флюидных включениях.

2.7. Изотопия серы

Изотопные данные о распределении величины δ^{34} S могут быть привлечены для комплексной геохимической характеристики золоторудных месторождений, установления источника оруденения, оценки роли вмещающих пород в процессе гидротермальной деятельности и метасоматоза. Известно, что в земной коре распространены четыре стабильных изотопа серы: ³²S (95.1), ³³S (0.74), ³⁴S (4.2) и ³⁶S (0.016). Изотопный состав серы выражается в величине δ^{34} S, которая представляет собой отклонение величины отношений ³⁴S/³²S в промилле в образце от величины этого отношения в троилитовой фазе метеорита Каньон-Дьябло из одноимённого каньона в Северной Америке (³⁴S/³²S=0.0450045) [Омото, Рай, 1982].

Изотопные исследования серы проводились на масс-спектрометре «Finnigan MAT Delta» в Институте геологии и геофизики СО РАН. Ha исследуемых месторождениях значения δ^{34} S определялись из пирита, пирротина, халькопирита, сфалерита и галенита. Точность метода определения составляет ±1 ‰. Для изотопного анализа под бинокулярным микроскопом отбирались монокристаллы сульфидов или их сростки с карбонатами и кварцем 0.5-0.25 размером MM. Отобранные пробы обрабатывались слабо концентрированной (10 %) соляной и азотной кислотами, затем тщательно промывались дистиллированной водой и сушились при температуре около 70^{0} С. Изотопный состав серы сульфидов определялся из соединения типа SO₂, образующегося при реакции сульфидов с окислителем (в данном случае CuO) при температуре 900-1000°С.

2.8. Изотопия углерода

В природе углерод имеет два стабильных изотопа – ¹²С (98.893 %) и ¹³С (1.107%). Содержание ¹³С в горных породах обычно характеризуется относительной величиной $\delta({}^{13}C/{}^{12}C)$ и выражается в промилле. В среднем углерод содержит 1.1 % углерода ¹³С. Все измерения и расчеты, связанные с

изотопией углерода, проводились с использованием международного стандарта PDB (Pee Dee Belemnite [Craig, 1957]) – отношения изотопов углерода белемнита из меловых отложений Южной Каролины. Для стандарта бралась величина ${}^{13}C/{}^{12}C = 0,0112372$ [Кузьмин и др., 2000]. Из выражения для $\delta({}^{13}C/{}^{12}C)$ следует, что при нулевом содержании тяжелого изотопа в смеси величина $\delta({}^{13}C/{}^{12}C)$ равна 1000, а при удвоенном количестве по сравнению со стандартом +1000. Таким образом, содержание тяжелого изотопа будет выше в том образце, в котором величина $\delta({}^{13}C/{}^{12}C)$ больше [Бажин, 2010].

Изотопный состав углерода анализировался из флюидных включений в кварце, содержащих углекислоту, метан и углеводороды, а также из жильных карбонатов. Для этого под бинокулярным микроскопом отбирались чистые без видимых примазок и минеральных включений зёрна кварца или карбоната размером 0.5-0.25 мм. Для определения изотопного состава углерод выделяли в вакуумной установке при температуре 1100°С, очищали диоксидом марганца, гидроперитом и хромовой смесью, схватывали в охлаждаемые жидким азотом ловушки и дистиллировали при температуре -55°С. Аналитические работы проводились в Институте геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск).

2.9. Изотопия гелия

Изотопно-геохимические исследования благородных газов дают диагностировать происхождение возможность достоверно минералообразующих флюидов, включая и рудообразующие. Выводы, получаемые при анализе отношения ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$, основываются на представлении о том, что изотоп ³He – мантийный (или первичный) был захвачен веществом Земли во время аккреции планеты, тогда как радиогенный изотоп ⁴Не постоянно образуется в литосфере при α-распаде тория и урана и других радиоактивных элементов.

Анализы изотопного состава гелия (³He, ⁴He) из флюидных включений в кварце выполнялись в лаборатории геохронологии и геохимии изотопов

Геологического института КНЦ РАН (г. Апатиты). Для анализа использовались чистые зёрна кварца (размер фракции 0.25-0.6 мм, навеска 1.5-2 гр.). Фракция механически измельчалась в запаянных вакуумированных стеклянных ампулах (эта методика подробно изложена в работах [Икорский, Каменский, 1998; Икорский и др., 2014]). Содержание и изотопный состав газа измерялись на статическом масс-спектрометре МИ-1201 с чувствительностью по гелию 5*10⁻⁵ А/торр и погрешностью определения концентраций 5 % [Икорский, Кущ, 1992; Нивин, 2008].

Интерпретация полученных данных основывалась на известных оценках концентраций и изотопных отношений гелия в метеорных водах с растворенным в них атмосферным воздухом, земной коре и литосферной мантии. Для перечисленных резервуаров принимались следующие оценки отношений ³He/⁴He: для метеорных вод – $1.4*10^{-6}$, для современной литосферной мантии величина (³He/⁴He) принята равной $12*10^{-6}$, для нижней мантии $182*10^{-6}$, дя континентальной коры – $0.02*10^{-6}$ [Tolstikhin, Marty, 1998; Tolstikhin et al., 2002]. Доля мантийного гелия ³He, показывающая глубинность источника, рассчитывалась по формуле [Халенёв, 2010]:

 $m(\%) = \frac{(3\text{He}/4\text{He})\text{в образце} - (3\text{He}/4\text{He})\text{в коре})}{(3\text{He}/4\text{He})\text{ в мантии}} * 100\%$

2.10. ⁴⁰Ar/ ³⁹Ar датирование

⁴⁰Ar/³⁹Ar метод датирования применялся для определения возраста золотого оруденения на месторождениях. Подробно методика изложена в работах [Лепезин и др., 2006, Травин, 2016]. Геологический возраст определялся по серициту, сингенетичному с золотоносным кварцем и сульфидами жил.

Вкратце суть метода состоит в том, что при ⁴⁰Ar/³⁹Ar датировании ⁴⁰К преобразуется в ³⁹Ar посредством бомбардировки нейтронами в ядерном реакторе при ступенчатом нагреве. Смысл ступенчатого нагрева состоит в

следующем: при нагревании минерала высвобождается возросшее количество Ar, и при таком увеличении с помощью масс-спектрометра замеряются изотопные соотношения ³⁹Ar и ⁴⁰Ar. Затем минерал снова подвергается нагреву до тех пор, пока не происходит расплавление и не высвобождается весь Ar. Возраст определяется при каждом увеличении количества Ar путем измерения ⁴⁰Ar/³⁹Ar. Общее количество высвободившегося газа для всех фракций используется для расчета «интегрированного» или «общегазового» возраста, который эквивалентен K-Ar возрасту. Возраст плато образца отражает последнее охлаждение минерала ниже его «температуры закрытия», когда аргон был полностью захвачен кристаллом. Простой плоский спектр может свидетельствовать о том, что минерал подвергался простому охлаждению без последующих вторичных событий или, что произошло полное смешение в результате более позднего термального события. Наоборот, сложные спектры свидетельствуют о сложной термальной истории.

Глава 3. Краткая геолого-минералогическая характеристика Богунайского, Герфедского и Панимбинского месторождений

Изучаемые золоторудные месторождения Богунайское, Герфедское и Панимбинское расположены на территории Енисейского кряжа (Рис. 1). В данной главе с использованием литературных данных рассмотрены основные геолого-минералогические характеристики месторождений.



Рис. 1. Местоположение золоторудных месторождений в структурах Енисейского кряжа [Полева, Сазонов, 2012]:

1 – Сибирская платформа; 2 – Западно-Сибирская плита; 3 – Канско-Тасеевская впадина; 4 – Иркинеевский авлакоген; 5-13 – Енисейский кряж: 5 – граница Енисейского кряжа; 6 – Ангаро-Канский выступ (Южно-Енисейский кряж); 7 – байкальская складчатая область (Заангарская часть Енисейского кряжа); 8 – оси антиклиналей тейской серии (нижний

протерозой); 9 – оси антиклиналей кординской свиты сухопитской серии (нижний рифей); 10 – региональные разломы: И – Ишимбинский, Т – Татарский, П – Приенисейский, Н – Нижнеангарский; 11 – массивы гранитоидов и фельдшпатоидных пород: 1 – Исаковский, 2 – Гареевский, 3 – Каламинский, 4 – Тейский, 5 – Чиримбинский, 6 – Гурахтинский (Ерудинский по Ф.П. Кренделеву), 7 – Лендахский, 8 – Киликейский, 9 – Гремихинский, 10 – Черноречинский, 11 – Аяхтинский, 12 – Татарский, 13 – Стрелковский, 14 – Чистопольский, 15 – Посольненский, 16 – Белогорский, 17 – Таракский, 18 – Нижне канский, 19 – Средне-Татарский массив сиенитов; 12 – палеовулкан Севернинский (трахиты, риолиты, микрограниты, микросиениты); 13 – золоторудные месторождения: 1 – Благодатное, 2 – Олимпиада, 3 – Советское, 4 – Александро-Агеевское, 5 – Пролетарское, 6 – Эльдорадо, 7 – Ведугинское, 8 – Панимбинское, 9 – Аяхтинское, 10 – Удерейское, 11 – Васильевское, 12 – Герфедское, 13 – Попутнинское, 14 – Богунайское, 15 – Кузеевское.

Богунайское месторождение

Богунайский рудный узел (РУ) находится в южной части Ангаро-Канского выступа, на юге Кузеевского зеленокаменного пояса. Кроме Богунайского РУ на выступе расположены Кузеевский и Посольнинский РУ [Заблоцкий и др., 2002; Корнев и др., 2003]. Территориально Богунайское месторождение расположено в междуречье Кана, Богуная и Сокарёвки, в нижнем течении p. Богунай, на юго-западном крыле Богунайской брахиантиклинали [Корнев и др., 2003]. Вдоль этой антиклинали протягивается Кузеевский глубинный разлом и оперяющие его дизъюнктивные нарушения, к которым приурочены очаговые зоны вулканизма золотоносного кузеевского коматиит-базальтового комплекса архейского возраста [Заблоцкий и др., 2002; Корнев и др., 2003].

Площадь Богунайского месторождения вытянута в субширотном направлении и составляет около 4 км² [Корнев и др., 2004]. Впервые золотоносные жилы месторождения открыты А.С. Хоментовским в 1934 г. при проведении геологосъемочных работ. Геологическое строение изучаемой площади и её золотоносность исследовали также Ю.А. Кузнецов [1941], Ю.И. Парфенов [1968], Ю.П. Бовин [1990 г.], В.В. Семеняко [1990], Т.Я. Корнев и др. [1991, 1994, 2002, 2004, 2005], К.А. Заболоцкий [2002], С.С. Сердюк [2004], А.Е. Верниковская [2002, 2004, 2006], В.А. Верниковский [2002, 2004, 2006],

И.И. Лиханов [2006, 2007, 2016, 2019], В.В. Ревердатто [2006, 2007, 2016], Н.В. Попов [2006, 2007, 2016], А.Д. Ножкин [2003, 2006, 2008, 2010, 2011, 2019], О.М. Туркина [2003, 2008, 2010, 2015, 2019], В.П. Сухоруков [2015] и многие др. По прогнозам ресурсы Богунайского РУ оценены в 158.2 т, а общие запасы в пределах рудного поля - чуть более 9.4 т. [Сердюк, 2004, 2010].

морфологическим признакам золотое оруденение относится к По кварцево-жильному (Центральный участок) и кварц-прожилковому типу в линейных минерализованных зонах на флангах Богунайского месторождения (Красноярская, Ивановская 30ны) березитах И в в пределах зоны Приенисейского глубинного (проявления Восточное, разлома Золотое, Артельное 2, 3). Также в пределах РУ известны аллювиальные россыпи золота по долине р. Богунай и в ее крупных левых притоках – руч. Артельные 1, 2, 3. За все время эксплуатации из россыпей бассейна р. Богуная добыто несколько сотен килограммов золота. Прогнозные ресурсы россыпного золота категории Р₂+Р₁ по р. Богунай с притоками оценены в 900 кг при содержании золота 600-1000 мг/м³. Согласно классификации рудных формаций, месторождение относено к золото-серебряно-кварц-сульфидной формации, и включает в себя 3 участка: Центральный; Правобережный участок с Красноярской и Ивановской минерализованными зонами, расположенный в южной части месторождения; Левобережный участок с продолжением Красноярской минерализованной зоны, жилами Фабричной, Школьной и другими (всего 10 жил) (Рис. 2). Основная масса кварцево-жильных образований сконцентрирована на трех участках месторождения: Центральном, Фабричном и Красноярской минерализованной зоне. Форма жил линзовидно-пластовая, прямолинейная, сложно-ветвистая. В целом, на месторождения кварцевые жилы приурочены к разрывным нарушениям в присводовой части Богунайской антиклинали [Сердюк, 2010]. Исследования кварца и сульфидов нами проведены, главным образом, из образцов Центрального участка и Красноярской минерализованной зоны (Рис. 2).

Кварцевые жилы **Центрального участка** имеют ССВ и СВ простирание с протяженностью 100–300 м и мощностью до 0.9 м. Основные рудные минералы представлены пиритом, сфалеритом, галенитом; второстепенные – халькопиритом, арсенопиритом, пирротином, самородным золотом, кубанитом, марказитом, магнетитом, касситеритом, молибденитом [Сазонов и др., 2007].



Рис. 2. Схема геологического строения Богунайского месторождения (составлена А.М. Сазоновым с использование материалов геологических служб рудника Богунай и ОАО «Красноярскгеолсъемка»). 1-3 – гнейсы: 1 – гранатовые, 2 – силлиманитовые и кордиеритовые, 3 – гиперстеновые; 4 – метагабброиды кимбирского комплекса (двупироксеновые породы); 5 – чарнокиты богунаевского комплекса; 6 – лейкократовые, аляскитовые граниты и гнейсо-граниты березовского (?) комплекса; 7 – крупнозернистые и пегматоидные гранитоиды архейского (?) и протерозойского возраста; 8 – артериты; 9 – дайки диабазов протерозойского возраста; 10 – нарушения: а – дизъюнктивы, б – милониты; 11 – рудные тела: а – кварцевые жилы, б – кварцево-сульфидные прожилково-вкрапленные зоны; 12 – элементы залегания метаморфической полосчатости; 13 – геологические границы: а – разновидностей гнейсов, гранитных тел, артеритов; б – тел чарнокитов

Жильная масса на 70 до 95 % состоит из кварца. Из других жильных минералов присутствуют кальцит, сидерит, серицит, хлорит. По содержанию сульфидов руды отнесены к убогосульфидным, вкрапленно-сульфидным. Золото на Центральном участке связано с сульфидами, оно мелкое, размер золотин 0.004-0.3 мм, форма волосовидная, крючковатая, комковатая и пластинчатая с пробностью 585. Золото в кварцевых жилах распределено крайне неравномерно, его содержание колеблется от 0.1 г/т до 100 и более г/т. Характерно наличие рудных столбов, которые приурочены к участкам выполаживания и изгибов жил, а также местам их сочленения [Корнев и др., 2001, 2002; Сердюк, 2010]. Помимо золота в промышленных рудах содержится серебро до 15.2 г/т, цинк до 2.6%, свинец до 0.075%.

Красноярская минерализованная зона расположена на южном фланге Богунайского месторождения, в СВ направлении, общей протяженностью до 2.4 км. Вмещающие породы представлены нижнепротерозойскими гиперстенгнейсами И биотитовыми И чарнокитами, гранатовыми интенсивно раздробленными, катаклазированными, беретизированными, пронизанными многочисленными кварцевыми и кварц-карбонатными жилами. Линзовидные кварцевые жилы (протяженность до десятков метров) сложены мелкосреднезернистым светло-серым и белым кварцем с небольшим количеством сульфидов (до 5 %). В целом, минеральный состав руд Красноярской минерализованной зоны аналогичен составу кварцевых жил Центрального участка Богунайского месторождения: в первичных рудах главными рудными минералами являются пирит, сфалерит, галенит. халькопирит, второстепенными – марказит, пирротин, самородное золото, магнетит, 2010]. ильменит, рутил [Сердюк, Из породообразующих минералов преобладают кварц, карбонаты, серицит, хлорит. Самородное золото на территории Красноярской минерализованной зоны встречается в срастании с сульфидами (пирит, сфалерит), а в кварц-карбонатных прожилках – в свободном состоянии в виде зерен изометричной формы, размерами 0.005-0.2

мм. До глубины 30-35 м минерализованная зона интенсивно окислена, сульфидная минерализация выщелочена или замещена гидроокислами железа. В зоне окисления встречаются ковеллин, халькозин, малахит, церуссит. Красноярская минерализованная зона характеризуется устойчивым аномальным содержанием золота. В её юго-западной и центральной частях участки с содержанием золота более 2 г/т чередуются с безрудными интервалами.

Стратиграфия. Богунайское рудное поле расположено в полосе развития нижнепротерозойских гранулито-гнейсов канского метаморфического комплекса с кузеевской и атамановской толщами [Легенда Енисейской серии..., 2002]. Согласно различным источникам [Бибикова и др., 1993; Бибикова и др., 2001; Ножкин и др., 2008, 2019; Туркина, Сухоруков, 2015] возраст канского комплекса 1776±8(1935±14-1778±22) млн. лет. В составе кузеевской толщи выделяются нижняя и верхняя пачки. Нижняя пачка мощностью 1700 м собой существенно гиперстеновые гнейсы представляет (первично вулканогенные образования), составляющие до 50 % объема, которые переслаиваются с кристаллическими сланцами. Они распространены в центральной части месторождения, а также в Ю-ЮЗ частях рудного узла. Верхняя пачка кузеевской толщи мощностью 1300-2000 м, слагающая большую часть площади Богунайского рудного узла, представляет собой гиперстеновые, гранат-биотитовые, гранатовые гнейсы и пироксен-плагиоклазовые ортосланцы [Сердюк, 2010]. В этих образованиях отмечаются повышенные содержания платины, палладия. А.К. Заблоцкий и В.В. Семеняко [Заблоцкий и др., 2000, 2002] считают, что породы кузеевской толщи имеют первично вулканическое происхождение, и лишь в верхах разреза возможно существование первично осадочных пород.

Интрузивные образования. На Богунае присутствуют магматические породы основного и кислого состава архейского и протерозойского возрастов. Проявления гранитоидного магматизма на Енисейском кряже связаны с
палеопротерозойскими, неопротерозойскими и раннепалеозойскими аккреционно-коллизионными событиями.

К архейским интрузиям основного состава относятся: кимбирский габброноритовый и богунайский ультраметаморфический комплексы. Кимбирский габбро-норитовый компекс представляет собой согласные и секущие пластовые тела габбро, габбро-норитов, анортозитов, залегающие среди отложений кузеевской толщи. В метабазитах установлены повышенные содержания платины и палладия [Корнев, 2003; Сердюк, 2010]. К архейскому богунайскому ультраметаморфическому комплексу относятся автохтонные И параавтохтонные линзовидные, линзовидно-пластовые тела чарнокитов И эндербитов, приуроченные к антиклинальным структурам. Чарнокиты и эндербиты имеют постепенные переходы с породами вмещающей кузеевской толщи, реже отмечаются секущие контакты без следов контактового воздействия с вмещающими породами [Легенда Енисейской серии..., 2002].

К интрузиям кислого состава отнесены архейский березовский, позднерифейский нижнеканский гранитный и позднерифейский токминский комплексы.

Архейский березовский комплекс включает в себя тела автохтонных и параавтохтонных биотитовых ортоклазовых гранитов и пегматитов, слагающих немногочисленные пластовые, линзовидно-пластовые тела мощностью 10-50 м и протяженностью до 400 м, плавно переходящие во вмещающие гнейсы кузеевской толщи.

К позднерифейскому нижнеканскому гранитному комплексу относится Нижнеканский массив, расположенный в 7 км юго-западнее Богунайского рудного поля. Его саттелитом является Богунайский гранитоидный массив, находящийся в 7-8 км к югу от рудного поля [Верниковская и др., 2004; Сердюк, 2010].

Метаморфизм и метасоматические преобразования. В пределах Богунайского рудного поля выделяется комплекс диафторированных пород

амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фаций метаморфизма [Сердюк, 2010]. Они образованы при наложении на гранулитогнейсовый комплекс процессов метаморфизма, связанных с протерозойскими тектоно-магматическими циклами. Вмещающие породы, вблизи кварцевых жил интенсивно серицитизацитизированы, хлоритизированы, окварцованы, пиритизированы. Мощность метасоматических преобразований составляет 15-20 см [Сердюк, 2010].

Вещественный состав руд. Главными минералами руд золоторудных тел месторождения являются кварц, мусковит (серицит), полевые шпаты, сфалерит, халькопирит, галенит, кальцит, сидерит. хлорит, пирит, пироксенами, Второстепенные минералы представлены амфиболами, силлиманитом, кордиеритом, графитом, реликтовым гранатом, рутилом, ильменитом, самородным золотом, кубанитом, молибденитом, магнетитом, пирротином, марказитом. К редким минералам жил относятся апатит, циркон, монацит, пильзенит, в незначительном количестве присутствуют арсенопирит, шеелит, вольфрамит, станин, касситерит, титаномагнетит и бравоит [Заблоцкий и др., 2000; Корнев и др., 2002].

Кварц, слагающий 95 % жильной массы руд, имеет молочно-белый до срастании светло-серого цвет. крупно-среднезернистое строение, в С карбонатами, слюдами, сульфидами и по трещинам в зоне окисления пропитывается гидроокислами железа. Мусковит, совместно с серицитом и хлоритом отмечается в агрегатах кварца, тяготея к зальбандам жил. Карбонаты составляют около 2 % жильной массы. Пирит образует в жильном кварце крупные (до 2 см и более) агрегаты или гнездовые скопления, часто раздроблен и цементируется кварцем со сфалеритом, халькопиритом, с внешней стороны обрастает поздним сфалеритом (Рис. 3). Сфалерит образует агрегаты до 1.5-2 см в длину, содержащие эмульсию и тонкие прожилки халькопирита, реже пирротина и галенита. Химический состав минерала отличается достаточно высоким содержанием железа.

Галенит встречается в виде крупных (до 3.0-5.5 см) агрегатов изометричной формы, ассоциирует со сфалеритом и халькопиритом. В составе галенит содержит значительные концентрации серебра, висмута и примесь селена.



Рис. 3. Крупнозернистые агрегаты раздробленного пирита, цементируемого кварцем (а) и халькопиритом с эмульсиями и срастаниями галенита (б) (образец Б-20). Q – кварц, Ру – пирит, Chpyr – халькопирит, Gn – галенит.

Пирротин обнаружен в виде реликтовых зерен внутри метакристаллов пирита, вероятно, он имел более широкое распространение на раннем этапе рудообразования, но впоследствии был замещен пиритом. Кубанит, марказит, молибденит, магнетит в составе руды попадаются спорадически и отличаются незначительными размерами [Корнев и др., 2003; Сердюк, 2010].

Самородное золото Богунайского месторождения в свободном виде встречается в жильном кварце, карбонатах и незначительная часть находится в тесном срастании с сульфидами (чаще всего со сфалеритом, пиритом) [Сердюк, 2010]. Распределение золота в рудных телах неравномерное, столбовое. Золото мелкое (размеры золотин от 0.01 до 0.3 мм), пластинчатой, комковатой, крючковатой формы, белого или беловато-жёлтого цвета. Помимо золота в рудах содержится серебро – 15.25 до 41.01 %, цинк – 2.62 %, свинец – 0.075 %, что соответствует пробности от 833 до 585 ‰ (в целом по месторождению 585‰). Также отмечается незначительная примесь ртути (до 0.12 мас. %). Руды разделяются на убого-сульфидные, вкраплено-сульфидные и сплошные сульфидные. Суммарные прогнозные ресурсы рудного золота Богунайского узла составляют 158.2 т. Ведущим типом оруденения является золото-сульфидный, прогнозные ресурсы которого не превышают 145 т. Ресурсы золото-кварцевого типа оруденения составляют 12.4 т металла [Сердюк, 2010]. Содержание золота в промышленных рудах колеблется от 5 до 100 г/т, в среднем по месторождению 8.5 г/т.

Объекты исследования. Для получения информации о физикохимических условиях формирования золотого оруденения на Богунайском месторождении были исследованы фракции сульфидов, кварца и серицита, петрографические шлифы и полированные с двух сторон кварцевые пластинки 14 образцов кварца из кварцевых жил штольни № 13 Центрального участка, 26 образцов кварца канавы № 26 Красноярской минерализованной зоны. Каменный материал для исследования предоставлен д.г.-м.н. А. М. Сазоновым (СФУ, г. Красноярск) и н.с. М.О. Хоменко (ИГМ СО РАН, г. Новосибирск).

Образцы из кварцевых жил Богунайского месторождения сложены серым и молочно-белым кварцем в различных соотношениях: в одних образцах преобладает серый кварц, в других – молочно-белый. Серая окраска кварца, скорее всего, обусловлена обилием тёмных газовых флюидных включений или наличием мелких чёрных углеродистых чешуек.

Герфедское месторождение

Золоторудное месторождение Герфедское расположено в Партизанском рудном узле Южно-Енисейского района Красноярского края. Оно открыто в 1890 г. при проходке водозаводной канавы, вскрывшей кварцевую жилу с видимым золотом. В литературе месторождение впервые упоминается в 1896 г. И.А. Азачевским. Партизанский рудный узел является одним из наиболее богатых на Енисейском кряже: на нем золотодобыча ведется в течение более полутора века. В пределах этого РУ локализуются месторождения,

относящиеся к различным золоторудным формациям: малосульфидная золотокварцевая, золото-кварц-сульфидная, золото-сульфидная, золото-кварцантимонитовая, золотоносных кор выветривания [Ли, Нелюбов, 1970; Ли и др., 1979]. Площадь «Жилы Магистральной» или Герфедского рудного поля включает в себя Герфедское и Николаевское месторождения малосульфидной золото-кварцевой формации, а также ряд однотипных с ними рудопроявлений -Ермаковское, Верхнеборовое, Дорожное, Магнитное.

Рудное поле образует линейную полосу, протягивающуюся в меридиональном направлении от верхнего течения р. Бол. Мурожной на юге до верховий р.Удерея на севере более чем на 10 км; в крайней южной части ее расположено Герфедское месторождение, а в северной – Николаевское (Рис. 4).



Рис. 4. Геолого-структурная схема размещения месторождений и рудопроявлений в Герфедском рудном поле [Ли, Нелюбов, 1970]. *1* — филлитовидные сланцы удерейской свиты; *2* — филлиты и слоистые алевролитовые сланцы горбилокской свиты; *3* — филлиты и песчаники с линзами порфиритов и туффитов кординской свиты; *4* — мраморизованные известняки пенченгинской свиты; *5* — граниты; *6* — ортоамфиболиты; *7* — разрывные нарушения; *8* — контур невскрытой части гранитной интрузии по гравиметрическим

данным; 9 — месторождения золота; 10 — рудопроявления золота; 11 — золото-сурьмяное месторождение.

Вмещающие породы. Рудные горизонты Герфедского месторождения локализуются на контакте отложений пенченгинской и кординской свит раннего и позднего протерозоя, соответственно. В нижней части пенченгинской свиты вскрываются кварциты и кварцитовидные песчаники, перекрывающиеся мраморизованными известняками мощностью 30-50 м, а также амфиболовые, амфибол-хлоритовые и биотит-хлоритовые сланцы с прослоями филлитов. Средняя часть пенченгинской свиты сложена хлоритовыми сланцами с прослоями черных филлитов и редкими отложениями мелкозернистых песчаников. Верхи свиты представлены горизонтом хлоритовых сланцев с линзами известняков мощностью до 250 м [Сердюк, 2010].

На границе с согласно перекрывающими отложениями кординской свиты развит горизонт зеленоватых кварц-хлоритовых сланцев, переслаивающихся с черными филлитами, мощностью 20 м. Непосредственно контактируют с жилой Магистральной темно-серые кварц-хлорит-серицитовые и кварцсерицитовые сланцы, иногда с линзовидными обособлениями кварца, темносерыми до чёрных углеродистых сланцев и серыми измененными мелкозернистыми эффузивами. Вскрытая мощность пенченгинской свиты составляет 1100 м [Сердюк, 2010].

В составе перекрывающей кординской свиты выделяют черные и темносерые филлиты, песчаники с линзами туффитов и порфиритов. Филлиты, тяготеющие к низам свиты, несут интенсивную сульфидную минерализацию в виде вкрапленности, гнезд и прожилков. Преобладают выделения пирротина (80-90%), в меньшей степени пирита (10-20%). Здесь же развиты прожилки плотного белого и светло-серого кварца, ориентированные под углом к слоистости породы, образование которых происходило на раннем этапе. От кварцитов пенченгинской свиты и вышележащих вулканогенно-терригенных отложений средней подсвиты эта сланцевая толща отличается своей темной

окраской и микрозернистой структурой. Общая мощность свиты составляет около 1400-1700 м [Ли, Нелюбов, 1970; Ли и др., 1985].

Интрузивные образования. В структурном отношении Герфедское рудное поле расположено в восточной присводовой части Татарского антиклинория, осложненного складками более порядков высоких субширотного простирания. Разрывные нарушения развиты здесь слабо. На площади развития пенченгинской свиты, по периферии Татарского антиклинория распространены раннепротерозойские интрузии индыглинского комплекса, представляющие собой согласные с вмещающими породами силлы и секущие дайки измененных диабазов и габбро-диабазов, протяженностью несколько километров и мощностью до сотен метров [Ли, Даценко, 1970]. Внедрение пород комплекса происходило одновременно с проявлением основной фазы складчатости.

Метаморфические породы пенченгинской свиты и залегающие в них тела и дайки диабазов прорваны Татарской гранитоидной интрузией. С её становлением многие исследователи связывают богатое золотое оруденение. Массив имеет овальную форму, вытянутую в меридиональном направлении на 27 км при ширине от 4 до 11 км. Он приурочен к ядру Татарского антиклинория и сложен гранитами, гранодиоритами, диоритами и сиенитами, относящимися к татаро-аяхтинскому гранитоидному комплексу [Ли, Даценко, 1970; Ли, Нелюбов, 1970]. Возраст Татарского массива анорогенных гранитов, определённый U-Pb- методом по цирконам: 675-630 млн. лет [Верниковский и др., 2006] и 630-625 млн. лет [Ножкин и др., 2000].

Вещественный состав руд. В минеральном составе рудных жил присутствует хлорит (29%), кварц (21%), серицит (18%), углеродистое вещество (11%), в виде примесей отмечаются карбонаты (кальцит (9%), реже сидерит), рудные минералы (4%) [Сердюк, 2010]. Встречаются также альбит, флюорит, рутил, ильменит. Золото мелкое, редко видимое, распределение по жилам крайне неравномерное, связанное с секущими кварцевыми жилами и,

особенно, с участками пересечения тектонических нарушений субмеридионального и широтного простираний (Рис.5).

Секущие жилы различаются по содержанию золота. В одних жилах содержание золота не превышает 1 г/т, а в других – его более чем 10 г/т. Крупные видимые выделения золота приурочены к местам скопления крупных агрегатов пирротина, пирита и халькопирита среди крупнозернистого кварца.



Рис. 5. Золото-сульфидная и сульфидная минерализация на Герфедском золоторудном месторождении. а – золото-сульфидные прожилки, сложенные интерстиционнопрожилковым самородным золотом и зернами пирита в кварце; б, в – агрегаты пирита с самородным золотом, расположенным по границам с кварцем; г – кристаллы пирита с халькопиритом, заполняющим интерстиции в кварце (образец Г-406-199.6). Ру – пирит, Au – золото, Q – кварц, Chpyr – халькопирит.

В отдельных пробах содержание золота достигает нескольких десятков и даже сотен г/т. В кварцитах плитообразных тел меридионального простирания уровень содержания золота редко превышает 1-2 г/т [Ли и др., 1985; Сердюк, 2010].

Содержание сульфидов обычно менее 5-7 %, на отдельных участках доходит до 50 % объема минеральной массы. По простиранию Магистральной

жилы сульфидная минерализация распределена неравномерно: наибольшее её распространение наблюдается в центральной, в меньшей степени – в южной части месторождения. На нижних горизонтах месторождения отмечается концентрация арсенопирита, пирротина и пирита, а в верхних частях разреза присутствуют халькопирит, сфалерит и галенит [Ли, Нелюбов, 1970].

Метаморфогенно-метасоматические В изменения. пределах месторождения широко развиты метасоматические изменения пород: окварцевание, сульфидизация, альбитизация, карбонатизация. Окварцевание представлено мельчайшими прожилками мелкозернистого полупрозрачного кварца мощностью до 1-2 см. Максимальная мощность зоны окварцевания достигает 100 м и тяготеет к лежачему боку жилы Магистральной, где вместе с крупными кварцевыми жилами образует рудные столбы, обогащенные золотом [Сердюк, 2004]. Сульфидизация проявлена в виде обильной вкрапленности кристаллов кубической формы и скоплений неправильных очертаний. Альбитизация В основном В кварцево-хлоритовых развита сланцах пенченгинской свиты. Количество альбита составляет 5-10 %. Карбонатизация проявлена в виде крупных выделений карбонатов поздней генерации, слагающих маломощные разноориентированные прожилки [Сердюк 2004; 2010].

В целом Магистральная жила представляет собой систему меридионально ориентированных субсогласных с вмещающими породами седловидных жил, морфология которых в значительной мере усложняется наличим секущих оперяющих жил, которых более 200, мощностью от 1 до 10.5 м. Длина оперяющих жил не превышает 200 м. Различают 2 группы секущих жил: западсеверо-западного простирания, ориентированных под прямым углом к меридиональным жилам и С-СВ простирания, ориентированных под острым углом к контакту залежей с меридиональным простиранием [Ли, 1997; Сердюк, 2010].

На Герфедском месторождении нами было изучено 2 образца кварца из субсогласных кварцитов и 5 образцов кварца, отобранного из секущих и оперяющих жил.

Кварциты жилы Магистральной сложены серым мелкозернистым кварцем (образцы: Г-393-45.5, Au = 2.01 г/т; Г-393-51.9 Au = 1.06 г/т). Серый цвет кварца обусловлен обилием твёрдых углеродистых частичек чёрного цвета разнообразных размеров, которые нередко присутствуют и во флюидных включениях. Кварциты имеют пятнистую, серую до синеватой окраску с трещиноватостью. неоднородно проявленной Они пронизаны серией субпараллельных тонких (до 10 см мощности) прожилков белого и светлосерого кварца. Микроструктура кварцитов сотовая, со средним размером зерен 0.1-0.2 мм. Морфология крупных зерен (1-2 мм), образованных за счёт перекристаллизации мелких, причудливая, с извилистыми границами. Помимо сульфидов в кварцитах развиты хлорит, мусковит, альбит, графит, апатит, циркон, бадделеит, рутил.

Секущие и оперяющие жилы и прожилки залегают несогласно с вмещающими породами и с кварцитами жилы Магистральной, сложены они крупнозернистым молочно-белым и светло-серым кварцем с голубоватым оттенком [Гибшер и др., 2011]. Жилы содержат однотипный набор сульфидов в виде гнёзд и прожилков, но различаются по содержанию золота. В одних жилах содержание золота не превышает 1 г/т (слаборудный) (образцы: Г-404-144.7, Au=1.03 г/т; Г-393-53.7, Au=1.04 г/т), в других отмечается видимое золото, с содержаниями по данным пробирного анализа от первых до сотен граммов и иногда кг/т жильного кварца (образцы: Г-406-199.6 Au=9.10 г/т; Г-406-199.8 Au=9.10 г/т; Г-408-86.9 Au=2.83 г/т) [Гибшер и др., 2011]. Для них характерно наличие пустот с щетками друзовидного полупрозрачного кварца, зонок катаклаза и пластических дислокаций. В приповерхностной зоне этот кварц интенсивно окрашен гидрооксидами железа.

Панимбинское месторождение

Панимбинское месторождение, открытое в 1983 году, расположено в Восточного золотоносного Енисейского центре пояса кряжа, В Панимбинском золоторудном В верховьях Панимба узле p. на водоразделе руч. Михайловского и руч. Золотого, в 95 км на ЮЮВ от поселка Северо-Енисейский [Сердюк и др., 2010] (Рис. 6).



Рис. 6. Схема геологического строения Панимбинского рудного узла [Сазонов и др., 2016] (по материалам М.В. Крысина, 1988 г. с изменениями А.А. Плеханова и А. Б. Бородушкина, 2005 г.). Условные обозначения: 1 – современные отложения: аллювиальные суглинки, пески, галечники; верхний протерозой (2-6): 2 – тунгусикская серия, потоскуйская свита: сланцы кварц-серицитовые; сухопитская серия (3-6), удерейская свита (3,4): 3 среднеудерейская подсвита (а - в): а – сланцы кварц-серицит-хлоритовые; б – сланцы кварцсерицитовые, кварц-серицит-хлоритовые; В _ сланцы серицит-кварцевые; 4 нижнеудерейская подсвита: сланцы кварц-серицитовые, кварц-биотитовые; 5 – горбилокская свита (а, б): а – сланцы серицит-хлорит-кварцевые; б – сланцы кварц-серицит-хлоритовые; 6 - кординская свита: углеродистые кварц-серицит-хлоритовые, кварц-мусковит-биотитовые, кварц-мусковит-андалузитовые сланцы, плагиоклаз-цоизит-амфиболовые сланцы; 7 _

нижний протерозой, тейская серия, пенченгинская свита, нижняя подсвита: метаалевролиты, известковистые кварциты, мраморизованные кварциты, известняки; Интрузивные породы: 8 – татарско-аяхтинский комплекс: а – третья фаза, плагиограниты, кварцевые сиениты, диориты; б – вторая фаза, гнейсовидные гранитоиды: мелко- среднезернистые граниты, гранодиориты, плагиограниты, биотитовые двуслюдяные; 9 – Текстуры-структуры магматических пород: а – граниты, плагиограниты, гранодиориты биотитовые, редко роговообманково-биотитовые, роговообманково-пироксеновые; б – граниты, плагиограниты, гранодиориты мелко-, среднезернистые биотитовые, двуслюдяные, гнейсовидные; 10 – Геологические границы: а – достоверные; б – предполагаемые; 11 – Тектонические нарушения: а – установленные; б – предполагаемые; в – скрытые под аллювиальными отложениями; 12 – Рудопроявления (а - г): а – золото-сульфидное; б – золото-кварцевые; в – мышьяка; г – андалузитовые сланцы. Рудопроявления золота: 1 – Тавлик; 2 – Михайловское; 3 – руч. Золотого; 4 – Правобережное; 5 – Панимбинское.

Рудное поле Панимбинского месторождения объединяет участок руч. Золотого, участок Михайловский, проявления Тавлик, Правобережное. Рудные зоны расположены в юго-западном крыле Центрального антиклинория Енисейского кряжа в 1.5-2 км от выходов гранитов на юге Чиримбинского интрузива.

В результате работ, проведённых с 1983 по 2007 гг. на участке Михайловском геологическими партиями «Красноярскгеология» и ЗДК «Полюс», детализировано его геологическое строение, выделены 4 рудных тела с суммарными прогнозными ресурсами – 22 т [Сердюк, 2010]. В 2015 г. компанией «Полюс Красноярск» месторождение Панимба поставлено на государственный баланс с запасами по категории С2 около 76 т, и является первоочередным объектом для эксплуатационных работ [Сильянов и др., 2018].

Панимбинский рудный узел относится к Енашиминско-Чиримбинскому поясу, в пределах которого локализованы практически все месторождения и перспективные проявления так называемого олимпиадинского структурного типа: Олимпиадинское, Тырадинское, Ведугинское, Западное, Тавлик, Михайловское и др. [Сазонов и др., 2010]. Для этого типа оруденения характерны седловидные, линзовидные и S-образные метасоматически измененные вкрапленно-прожилковые рудные залежи в синклиналях и антиклиналях. Еще обращает на себя внимание значительный вертикальный размах оруденения такого типа, составляющий не менее 600-1000 м [Сердюк, 2002].

Панимбинское месторождение приурочено к экзоконтактовой зоне биотитовых гранитов Чиримбинского массива (возраст 760-720 млн. лет [Верниковская и др., 2002]). Зона сложена мраморами, кварцитами и сланцами кординской свиты, содержащими мелкие тела скарнов и скарноподобных кварц-биотит-эпидотовых пород [Петров, 1973; 1974; Сердюк, 2010]. В структурном плане рудопроявление находится на восточном крыле Панимбинской антиклинали и с трёх сторон (севера, запада и востока) ограничено разрывными нарушениями: с запада - субмеридиональное нарушение Михайловское, с востока – северо-восточное нарушение руч. Золотого и с севера субширотное нарушение.

Вмещающие породы. Площадь рудопроявления сложена метаморфическими породами эпидот-амфиболитовой фации регионального метаморфизма кординской свиты нижнего протерозоя, граничащими с отложениями пенченгинской свиты нижнего протерозоя по тектоническому нарушению Михайловскому. Основной рудный потенциал Панимбинского месторождения сосредоточен в метаморфогенно-осадочных образованиях кординской свиты.

Промышленная золоторудная минерализация представлена зонами прожилкового и кварцево-жильного типа малосульфидно-золото-кварцевой формации. Протяженность кварцево-жильных зон по простиранию колеблется от 140 до 540 м, при мощности от 6 до 20 м. Главный жильный минерал рудных тел – кварц, представленный прозрачными, светло-серыми и молочно-белыми разностями. Наиболее широко распространенными сульфидными минералами руд являются пирротин, пирит, арсенопирит, где последний является основным золотосодержащим минералом (Рис.7). В качестве постоянных минераловспутников распространены халькопирит И лёллингит. В подчиненном количестве в рудах присутствуют полиметаллическая и сопровождающая

золотое оруденение висмут-теллуридная минерализация, характерная для метасоматитов из зон грейзенизации (хедлейит Bi₂Te, самородный висмут и мальдонит Au₂Bi) [Савушкина, 2008].

По данным пробирного анализа содержание золота в рудах крайне неравномерное: от 32.2 г/т до 0.1 г/т.



Рис. 7. Срастание пирротина и пирита в жильном кварце Панимбинского золоторудного месторождения (образец Пн 12). Ругг – пирротин, Ру – пирит, Q – кварц.

Преобладающая часть продуктивного золота в виде мономинеральных прожилков, вкрапленников, интерстиций присутствует в жильном кварце, слюдах, в сульфидах (арсенопирите, пирротине и пирите) (Рис.8), а также в приконтактовых зонах кварцевых прожилков и вмещающих пород [Савушкина, 2008]. Пробность золота по участку меняется от низкопробного к высокопробному (625-937 ‰) [Петровская, 1973].



Рис. 8. а-б – микровключения самородного золота в кварце Панимбинского месторождения (образец Пн 3). Аu – золото, Q – кварц, Ру – пирит, Chpyr – халькопирит.

Вмещающие породы и руды Панимбы характеризуются различной степенью метасоматических преобразований, проявленных в полистадийном развитии пирротин-хлоритовых тектонических бластомилонитов. Синрудные сдвиговые нарушения способствовали интенсивной мусковитизации пород, обрамляющих зоны смятия, а также образованием жильных комплексов турмалин-кварцевого и хлорит-турмалин-кварцевого составов. Пострудная метасоматическая переработка выражена в окварцевании, мусковитизации карбонатизации (грейзенизации), хлоритизации, И графитизации рудовмещающих пород. Благоприятным признаком повышенной золотоносности метасоматитов является высокая степень насыщенности их сульфидами (достигающая 10 %) [Забияка, 2003; Сильянов и др., 2018].

Панимбинском месторождении нами Ha были изучены образцы кварцевых жил из коллекции д.г.- м.н. А.М. Сазонова (23 шт.). Просмотр петрографических шлифов осуществлялся на образцах серого, молочно-белого При этом выявилась невозможность выделить прозрачного кварца. И конкретные генерации кварца из-за отсутствия чётких границ между серым и белым кварцем. При изучении петрографических шлифов представлялась возможность выделить лишь заключительную последнюю генерацию кварца IV по классификации Л.В. Ли [Ли и др., 1970], которая слагает кварц-карбонатные маломощные прожилки, секущие как серый, так и белый кварц. Крупные зерна обрамляются прозрачного кварца часто мелкозернистым прозрачным гранулированным кварцем, который не содержит ни минеральных, ни флюидных включений. Флюидные включения в кварцево-жильных телах месторождения Панимба изучались в образцах, собранных из скважин № 63, 66, 194 – участка Михайловского и 145, 191 – участка Золотого [Гибшер и др., 2017].

Глава 4. Характеристика флюидных включений

Богунайское месторождение

При визуальном изучении двусторонне-полированных пластин из рудного кварца были обнаружены следующие типы флюидных включений:

1 – Существенно водные включения (Рис. 9 а). Включения представлены двухфазными газово-жидкими образованиями (\mathcal{K}_{H2O} + Γ). Соотношение жидкой и газовой фазы для этого типа меняется от 90:10 до 30:70, соответственно. В некоторых двухфазных газово-жидких включениях CO₂ не обнаруживалось, но при охлаждении в них кристаллизовался газогидрат CO₂ (CO₂·3/4H₂O), который плавился в интервале температур от +2.0 до +9.3°C, что указывает на присутствие CO₂, растворенной в водной фазе флюидных включений.

2 - Углекислотно-водные включения (Рис. 9 б, в, г). Этот тип включений является самым распространенным для большей части исследованных образцов. По фазовому составу эти включения при комнатной температуре подразделяются на трехфазные (водно-солевой раствор + жидкая углекислота + газ) (Ж_{H2O}+Ж_{CO2}+Г_{CO2}), однофазные жидкие (сжиженный газ) (Ж_{CO2}) и газовые (Г_{CO2}).

Соотношение водной и углекислотной фаз в трехфазных включениях меняется в широких пределах – от 20:80 до 60:40, соответственно. При понижении температуры в жидких включениях происходит гетерогенизация законсервированных растворов с появлением газового пузырька, а в газовых - происходит конденсация жидкости с образованием фазы сжиженного газа. В некоторых включениях при понижении температуры ниже 0 °C у стенок вакуоли появляется тонкая каёмка водного раствора.

3 – *Трёхфазные водно-солевые включения*. В таких включениях, кроме газового пузырька и водного раствора, присутствует дочерний кристаллик соли (Рис. 9 д).





Рис. 9. Флюидные включения в рудном кварце Богунайского месторождения: а – двухфазное существенно водное включение, б – трехфазное углекислотно-водное включение, в, г – однофазные жидкие (в) и газовые (г) углекислотные включения, д – трехфазное водносолевое включение. Ж – жидкость, Г – газ, КР – кристалл.

Герфедское месторождение

а. Флюидные включения в кварце кварцитов (Г-393-45.5, Г-393-51.9). В зернах кварца присутствуют мельчайшие флюидные включения, размером от 3 до 5 микрон и реже 7-10 микрон (Рис. 10). Округло-удлиненные включения либо равномерно рассеяны по всему зерну кварца, либо образуют группы из 515 включений, не приуроченные к залеченным трещинам. Такие включения отнесены к первичным и первично-вторичным образованиям.

По фазовому составу включения разделяются на два типа (Рис. 10а):

1-Однофазные углекислотные включения (Рис. 10а-1):

 однофазные жидкие (сжиженный газ) (Ж_{CO2}), при понижении температуры в которых происходит гетерогенизация законсервированных растворов с появлением газового пузырька;

- однофазные газовые (Г_{СО2}), в которых при охлаждении происходит конденсация с образованием фазы сжиженного газа.

2 – *Существенно водные включения* (Рис. 10а-2), представлены двухфазными водно-солевыми (Ж_{H2O}+Г) и водно-углекислотными (Ж_{H2O}+Г_{CO2}) включениями. Соотношение жидкой и газовой фаз меняется от 80:20 до 30:70, соответственно.

б. Флюидные включения в кварце оперяющих жил с низким содержанием золота (образцы Г-404-144.7 и Г-393-53.7):

- Существенно водные включения (Ж_{H2O}+Г) с различным соотношением жидкости и газа (от 80:20 до 40:60). Находясь внутри кварцевых зёрен вне залеченных трещин, такие включения образуют группы из 5-10 штук и относятся к первичным образованиям. Размер округло-угловатых вакуолей колеблется от 5 до 15 микрон. Иногда в таких включениях присутствуют ксеногенные фазы в виде прозрачных кристалликов или твёрдых частичек чёрного цвета (Рис. 10б-2).

- Трёхфазные азот-метан-углекислотно-водные включения $(\mathcal{K}_{H2O} + \mathcal{K}_{CO2+CH4+N2} \pm \Gamma)$ и однофазные жидкие $(\mathcal{K}_{CO2+CH4+N2})$ и газовые $(\Gamma_{CO2+CH4+N2})$ включения, которые образуют цепочки, не выходящие за пределы отдельных кварцевых зерен (они отнесены нами к первично-вторичным образованиям (Рис. 10б-1, 2)).



Рис. 10. Типы флюидных включений в кварцевых жилах Герфедского золоторудного месторождения. *а* — кварциты, Au < 1—2 г/т; *б*, *в* — оперяющие кварцевые жилы: *б* — Au < 1 г/т, *в* — Au = 2.8—9.1 г/т. Ж – жидкость, Γ – газ.

в. Флюидные включения в кварце оперяющих жил с высоким содержанием золота (обр. Г-406-199.6, Г-406-199.8 и Г-408-86.9):

- *Существенно водные включения* (Ж_{H2O}+Г), в которых соотношение водной и газовой фазы колеблется от 20:80 до 50:50 (Рис. 10в-1,2);

Двухфазные углекислотно-метан-азотно-водные включения однофазные $(\mathcal{K}_{H2O} + \mathcal{K}_{CO2+CH4+N2})$ азот-метан-углекислотные жидкие И (сжиженный газ) (Ж_{СО2+СН4+N2}) и газовые (Г_{СО2+СН4+N2}) включения. Содержание воды в двухфазных включениях колеблется от 20 до 30%. В однофазных включениях воду при комнатной температуре под микроскопом не удается обнаружить, хотя её присутствие в виде пленки не исключается. Размер этих включений колеблется от 10 до 20 микрон, а форма вакуолей чаще всего округло-угловатая. Выделенные типы включений встречаются в кварцевых зёрнах как совместно, образуя группы из 5-15 включений, так и обособленно. В одних зернах кварца преобладает существенно водные включения ($\mathcal{K}_{H2O}+\Gamma$), а в включения $(\mathcal{K}_{H2O} +$ углекислотно-метан-азотные $\mathcal{K}_{CO2+CH4+N2},$ других _ Ж_{СО2+СН4+N2}, Г_{СО2+СН4+N2}). Чёрные частички углеродистого вещества размером до 5 микрон также присутствуют в некоторых флюидных включениях.

Панимбинское месторождение

Для кварца месторождения Панимба характерен примерно тот же набор флюидных включений, что и для предыдущих месторождений (Рис. 11).

1 - Существенно водные включения (Ж_{H2O}+Г) (Рис. 11а) с соотношением объёмов жидкости и газа от 70:30 до 20:80, соответственно. Чаще всего это мелкие, размером до 5 мкм, первичные и первично-вторичные включения. По трещинам располагаются более крупные – однофазные водные включения неправильной формы, размер которых достигает 12-15 мкм. Редко в сообществе с существенно водными включениями фиксируются однофазные тёмные популяции включений (первичные и первично-вторичные).

2 – *Трёхфазные водно-солевые включения* (Ж_{H2O}+Г+КР) (Рис. 11б), где присутствует дочерний кристаллик соли кубического габитуса. Во время медленного нагревания пузырек и кристаллик уменьшаются в размерах почти пропорционально друг другу. Во многих включениях растворение соли происходило раньше исчезновения пузырька газа, опережая его на 10-15°С, а в отдельных случаях и позже гомогенизации газа на 10-15°С.



Рис. 11. Типы флюидных включений в кварце золоторудного Панимбинского месторождения (Енисейский кряж) (Ж – жидкость, Г – газ, КР – кристалл).

3 – Углекислотно-водные включения (Ж_{H2O}+Ж_{CO2}), (Ж_{H2O}+Г_{CO2}) (Рис. 11в, г). В таких включениях соотношение углекислотной (газовой или плотной 56

жидкой) и водной фаз варьирует от 90:10 до 20:80, соответственно. Размер включений колеблется от 3-10-20 до 50 микрон. Форма неправильная, округлая, изометричная, продолговатая, а крупные включения имеют амёбовидную форму. Встречаются также включения формой в виде кристаллографической огранки кварца (форма отрицательного кристалла) размером, не превышающим 10-12 мкм. По данным КР-спектроскопии такие вакуоли заполнены углекислотой.

4 – Однофазные азот-метан-углекислотные включения (Рис. 11д).

- однофазные жидкие (Ж_{СО2±СН4±N2});

- однофазные газовые ($\Gamma_{CO2\pm CH4\pm N2}$).

Включения такого типа образуют большие скопления в зернах кварца, а также концентрируются по трещинам в нём. Эти включения при просмотре под микроскопом обычно темного цвета и, в отличие от других типов включений, имеют крупные размеры – до 20-25 микрон.

Глава 5. Результаты исследований

5.1. Температура и давление минералообразования

Богунайское месторождение. Результаты проведённых микротермометрических исследований в кварце кварцевых жил Богунайского месторождения приведены в таблице 1. На месторождении минералообразование происходило при температурах от 110 до 350°C. При этом максимальное количество определений зафиксировано в двух интервалах: первый интервал от 125 до 175°C и второй – от 225 до 350°C (Рис. 12).



Рис 12. Гистограмма температур гомогенизации флюидных включений в кварце Богунайского золоторудного месторождения

Первый характерен для существенно водных включений ($\mathcal{K}_{H2O}+\Gamma$), гомогенизирующихся в жидкую фазу. Они, вероятнее всего, являются вторичными образованиями, приуроченные, как правило, к залеченным трещинам, секущим границы кварцевых зерен. Во втором температурном интервале (от 225 до 350°С) гомогенизировались в жидкую фазу первичные и первично-вторичные существенно водные ($\mathcal{K}_{H2O}+\Gamma$) и углекислотно-водные

(Ж_{H2O}±Ж_{CO2}+Г) включения. Вторичные трехфазные водно-солевые включения гомогенизировались в жидкую фазу в интервале температур от 220 до 290°С.

В углекислотно-водных включениях ($\mathcal{K}_{H2O}\pm\mathcal{K}_{CO2}+\Gamma$), содержащих помимо CO₂, метан, плавление твердой углекислоты происходило при -58.1°C, а температура частичной гомогенизации находится в диапазоне от +10.0 до +31.0°C, гомогенизация при этом происходила либо в жидкую, либо в газовую фазу. Плотность в системе CO₂-CH₄ в этом интервале температур меняется от 0.14 до 0.82 г/см³. В сингенетичных газово-жидких включениях температура полной гомогенизации колеблется в интервале от 250 до 350°C при гомогенизации в жидкую фазу.

При полученных параметрах, используя программу Isochor [Bakker, 2001], рассчитанное давление рудообразующего флюида при формировании кварцевых жил Богунайского золоторудного месторождения изменялось в интервале от 0.1 до 1.6 кбар (Табл. 8).

Таблица 1. Результаты микротермометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце Богунайского золоторудного месторождения

№ образца*	Генерация и фазовый состав включений**	Т гом., ° С***	n	эвтектики	плавления льда	плавления газгидрата	Соленость, мас.% NaCl-экв.				
Центральный участок, штольня №13											
	П, І	220-320	37	-28.9÷ -32.5	-1.7÷-5.0	-	4.0-9.0				
T-99/1-3	П, II-a	240-310	45	-20.0÷-33.4	-1.5÷-4.6	+2.4++3.5	3.0-12.7				
	B, I	130-220	29	-19.0÷-23.8	-0.2÷-1.0	-	0.3-2.0				
	П, І	210-330	21	-30.0÷-32.8	-6.0÷-9.0	-	10.0-13.5				
13-23	ПВ, II-a	280-305	13	-29.3÷-32.5	-7.0÷-9.0	+2.0++2.5	11.0-13.5				
	B, I	110-180	15	-18.5÷-22.0	-0.5÷-0.7	-	1.0-1.5				
	ПB, I	250-350	13	-31.9÷-33.0	-8.5÷-15.0	-	13.0-19.0				
13-39	ПВ, II-a	280-300	3	-29.0÷-30.2	-3.0÷-3.5	-	6.0-6.8				
	B, I	170-200	8	-19.5÷-21.0	-0.3÷-0.7	-	0.6-1.5				
	П, І	260-340	5	-31.5÷-32.0	-9.0÷-12.8	-	13.3-17.3				
13-45	ПВ, II-a	290-300	4	-28.7÷-29.9	-	+9.1÷+9.3	1.8-1.4				
	B, I	140-160	7	-19.5÷-21.0	-0.6÷-0.7	-	1.2-1.5				
	П, І	270-300	13	-28.0÷-31.5	-9.0÷-11.5	-	13.5-16.2				
13-65	ПВ, II-a	280-310	11	-30.4÷-33.0	-1.5÷-4.5	-	3.0-8.5				
	B, I	190-210	7	-22.5÷-23.0	-0.5÷-0.8	-	1.0-1.6				
	ПB, I	220-330	9	-28.1÷-31.5	-7.0÷-13.0	-	11.0-18.0				
13-66	ПВ, II-а	260-300	15	-29.0÷-32.0	-	+6.8÷+9.3	6.1-1.4				
	B, I	130-190	11	-18.6÷-20.3	-0.5÷-1.5	-	1.0-3.0				
		Кра	сноярская	я минерализованна	я зона, канава № 20	6					
	ПB, I	260-310	16	-31.0÷-33.5	-2.5÷-4.0	-	5.0-8.0				
Б-1(2)	ПВ, II-a	290-325	15	-28.0÷-30.3	-	+2.0++4.5	9.8-13.2				
	B, I	130-190	11	-19.5÷-21.0	-0.3÷-0.5	-	0.6-1.0				
Б-2(4)	П, І	250-290	5	-29.0÷-31.4	-3.2÷-4.0	-	6.0-8.0				
Б-2(4)	П, II-a	260-320	11	-30.5÷-32.5	-1.5÷-3.0	-	3.0-6.0				
	B, II	120-210	8	-18.3÷-21.5	-0.2÷-0.5	-	0.3-1.0				

	Генерация и						
№ образца*	фазовый состав включений**	Т гомоген., ° С***	n	эвтектики	плавления льда	плавления газгидрата	Соленость, мас.% NaCl-экв.
	П, І	230-330	14	-27.5÷-28.5	-3.0÷-5.5	-	6.0-9.5
F 6(21)	П, II-a	250-310	11	-29.3÷-31.5	-3.0÷-4.5	-	6.0-8.5
D-0(21)	B, I	110-180	7	-21.0÷-22.5	-0.5÷-1.5	-	1.0-3.0
	B, III	230-280	9	-57.6÷-60.5	+15.0++21.0	-	45.0-49.0
	ПB, I	280-340	5	-30.1÷-32.5	-6.0÷-8.0	-	10.0-12.5
Б-11(46)	ПВ, II-а	290-310	8	-30.5÷-31.5	-1.0÷-4.0	-	2.0-8.0
	B, I	120-190	13	-21.5÷-22.3	-0.2÷-0.5	-	0.3-1.0
Б-18	П, І	210-280	8	-29.5÷-31.8	-8.5÷-10.0	-	13.0-15.0
	ПВ, II-a	270-290	16	-28.5÷-33.5	-2.8÷-7.0	+4.1	5.5-10.4
	B, I	150-180	17	-20.5÷-23.5	-0.1÷-0.5	-	0.2-1.0

Примечание: * цифра в скобках – расстояние (м) от устья штольни № 13, расстояние (м) от северного фланга к южному по канаве № 26. Остальные образцы взяты с рудного двора; ** генерация флюидных включений: П-первичные, Ввторичные, ПВ-первично-вторичные (мнимовторичные); Фазовый состав включений: І -водный (Ж_{H2O}+Г), ІІ -водноуглекислотный (Ж_{H2O}+Ж_{CO2}+Г), ІІІ -водно-солевой (Ж_{H2O}+Г+кристалл); *** - все включения гомогенизировались в жидкость, п- количество определений; «-» - не обнаружено.

Герфедское месторождение. Данные ПО микротермометрии индивидуальных флюидных включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения приведены в таблице № 2. Общий интервал температур гомогенизации первичных и первично-вторичных включений от 200 до 400 °C. зависимости от плотностей содержимого включений гомогенизация В происходила в жидкую или газовую фазы. В кварце кварцитов первичные и первично-вторичные включения гомогенизировались в жидкую фазу в интервале температур 120 - 230 °C, с максимумом определений в диапазоне 150-200°C Гомогенизация (Рис. 13). вторичных газовых включений происходила в узком высокотемпературном диапазоне от 290 до 350 °C.

Для первичных включений *оперяющих жил с низким содержанием золота* температуры гомогенизации менялись от 200 до 300°С. При этом максимальное количество гомогенизаций, как в жидкую, так и в газовую фазы, происходило при температурах от 250-300 °С (Рис. 13). Для первичных включений кварца из *оперяющих жил с высокой концентрацией золота* характерен более высокотемпературный интервал: 200-400 °С, с максимумом гомогенизаций в интервале 300-350 °С. В процессе нагревания 90% флюидных включений гомогенизировались в жидкую фазу, остальные - в газовую при 300-350 °С (Рис. 13).

Давление флюида во время продуктивной стадии минералообразования на Герфедском месторождении изменялось от 0.1 до 2.5 кбар при температурах от 200 до 400°C. В кварце вмещающих кварцитов обнаружено и проанализировано всего несколько включений, содержащих углекислоту.

Температура плавления твердой углекислоты в них менялась от -56.7 до -70.0°С с температурой частичной гомогенизации от +5.0 до +25.3°С при гомогенизации в газовую фазу. Плотность в системе CO₂–CH₄ при этих температурах оказалась от 0.11 до 0.24 г/см³, соответственно.



Рис. 13. Гистограммы температур гомогенизации первичных и первично-вторичных флюидных включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения (n – число определений).

При полученных параметрах, используя программу Isochor [Bakker, 2001], рассчитанное давление рудообразующего флюида в кварцитах составило 0.1-0.5 кбар.

Во флюидных включениях из кварца оперяющих жил с Au<1г/т плотность законсервированного флюида из смеси CO₂ с CH₄ составила значения от 0.3 до 0.80 г/см³. Температура гомогенизации сингенетичных газово-жидких включений изменялась от 260 до 300 °C. Давление флюида при этих параметрах менялось в более широком интервале от 0.5 до 2.0 кбар.

В золотоносных оперяющих жилах смесь углекислоты с метаном во флюидных включениях гомогенизировалась только в жидкую фазу в интервале от -23.6 до +10.7 °C, что соответствует плотности 0.74-1.05 г/см³. При этом температуры общей гомогенизации в сингенетичных газово-жидких включениях составили значения 290-340 °C. Соответственно, флюид с такими параметрами мог функционировать при давлениях от 1.1 до 2.5 кбар (табл. 2).

Тип кварцевых жил	№ образца	Генерация включений	Т _{общ.гом,} ∘с	Т эвтектики,°С	Соленость, мас.%, NaCl- экв.	Т _{плавления} CO2±CH4±N2, °C	Т _{част. гом.} °С	Вид гомоген	Плотность, г/см3	Давление, кбар
Кварциты, Au < 1-2 г/т	Г-393-51.9	П, ПВ	140 - 230	-18,5 ÷ -21,3	1 - 6	-56,7 ÷ -57,0	$+25,3 \div +7.2$	Г	0,19 -0,11	0,1-0,5
		В	310-330	-	-	-66,3 ÷ -69,0	-	-	-	-
	Г 202 45 5	П, ПВ	140 - 225	-18,0 ÷-20,5	0.5-7	-56,8 ÷-57.0	$+19.5 \div +5.0$	Г	0.24-0.11-	0.1-0.5
	1-393-43.3	В	290-350	-	-	-58,3 ÷-59.4	$+20.0 \div +8.0$	Γ	-	-
Оперяющие, Au < 1 г/т	Γ-404-	П	200 - 260	-18.3 ÷ -21.5	3-10	-66,0 ÷-73.0	-54.0 ÷ -57.9	Г	-	-
	144.7	ПВ	260 - 300	-22.3 ÷ -26.5	6-9	-56,9 ÷-77.5	-46.9 ÷ -4.5	Г, Ж	0.03-0.8	0.5-2.0
	Г 202 52 7	П	200-300	-19.0 ÷-22.1	1.5-8.8	-65,7 ÷-68.7	-40.4 ÷ -53.9	Г	-	-
	1-393-33.7	ПВ	250-300	-	-	-56,9 ÷-78.3	$-2.5 \div +1.0$	Г, Ж	0.8-0.4	0.5-1.1
Оперяющие, Au=2.8 - 9.1г/т	Γ 409 96 0	П	210-330	-28.7 ÷-30.1	4.5-10.5	-56,8÷-60.3	$+6,0 \div +10.8$	Ж	0.9-0.86	1.1-1.7
	1-408-80.9	ПВ	200-350	-27.3 ÷ -28.7	8-16	-57,1 ÷-59.8	+10,7 ÷ -22.3	Ж	0.86-1.04	1.5-2.4
	Г-406-	П	200-390	-27.8 ÷ -31.5	6-10	-56.7 ÷-65.8	+14,8 ÷ -24.4	Ж	0.74-1.05	1.7-2.2
	199.6	ПВ	230-400	-29.1 ÷- 32.0	13-22	-56,9 ÷-66.0	+22,8 ÷ -25.0	Ж	0.75-1.05	1.5-1.9
		П	200-370	-29.3 ÷ -30.8	6-10	-57,0 ÷-65.8	+5,8 ÷ -24.0	Ж	0.9-1.05	2.1-2.5
	Г-406-	ПВ	200-390	-27.1 ÷ -29.8	15-20	-56,9 ÷-63.0	+19,2 ÷ -25.0	Ж	0.77-1.05	1.4-1.9
	199.8	ПВ	310-330	-41.0 ÷ -45.0	22-23.3	-	-	-	-	-

Таблица 2. Результаты исследования индивидуальных флюидных включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения.

Примечание: генерация включений: П-первичные, В-вторичные, ПВ-первично-вторичные. Вид гомогенизации: Г-в газовую фазу, Ж - в жидкую фазу. Прочерк – не определялось.

Панимбинское месторождение. Результаты микротермометрических исследований флюидных включений в кварце месторождения Панимба представлены в сводной таблице (Табл. 3).

Температуры гомогенизации для первичных и первично-вторичных существенно-водных (\mathcal{K}_{H20} + Γ) и углекислотно-водных включений (\mathcal{K}_{H20} + \mathcal{K}_{CO2} ; \mathcal{K}_{H20} + Γ_{CO2}) колеблются в интервале от 180 до 410 °C, при этом максимальное количество определений выявлено в интервале от 250 до 320 °C [Гибшер и др., 2017]. Гомогенизация происходила в жидкую и газообразную фазы, в зависимости от плотности содержимого вакуолей, и в редких случаях с критическими явлениями (с исчезновением границы газ-жидкость). В области температур 250-300 °C наблюдается перекрытие значений температур гомогенизации в жидкую и газовую фазы, что характерно для включений, захваченных при вскипании и сепарации гомогенного флюида.

Плотность флюида определялась по температурам частичной гомогенизации углекислоты или сжиженной смеси ($CO_2+CH_4+N_2$) и типу гомогенизации. Частичная гомогенизация во включениях кварца происходила в жидкую и газовую фазы в широком диапазоне температур от -117.5 до +24.3 °C, а плавление твердой углекислоты в интервале от -56.6° до -68.7 °C. При данных параметрах плотность в системе менялась от 0.45 до 1.03 г/см³ (Табл. 3). *Давление флюида* при минералообразовании изменялось в интервале от 0.2 до 2.3 кбар, при температурах гомогенизации двухфазных существенно водных включений ($\mathcal{K}_{H2O}+\Gamma$), сингенетичных однофазным ($CO_2\pm CH_2\pm N_2$), в интервале от 230 до 310 °C.

№ образца*	Генерация вкл.**	Тобщ. гом., ⁰ С	Вид гом. ***	Тэвтектики, ⁰ С	Т пл.льда, ⁰С	Соленость, мас %- NaCl-экв	Т пл. CO ₂ , ⁰ C	Т част.гом. СО ₂ , ⁰ С	Вид гом. ***	р, кбар	d, г/см ³
Π., 1	П	265-300	г,ж	-40.034.4	-6.82.6	10.6-5.2	-56.959.0	-8.3+24.3	ж		
IIH I	В	110-180	ж	-3222	-2.40.5	5.0-1.0	-	-	-	-	-
Пл 2	Π	180-350	ж	-40.038.0	-22.010.0	23.3-15	-5866	-2517	ж		
11H 5	В	100-190	ж	-27.025.0	-14.39.5	18-14	-	-8183.1	ж	-	-
Пн 4	Π	290-350	Ж, Г	-37.040.0	-10.08.0	15-12.5	-6065	-9092	ж	-	-
Пн 5	Π	255-360	ж	-27.228.0	-3.0÷-1.5	6.0-3.0	-5760	-8817	г,ж		-
Пн б	Π	210-340	ж	-35.039.0	-10.59.0	15.5-13.5	-	-8375	г,ж	-	-
Пн 8	В	100-190	ж	-	-	-	-56.657.4	-3.312.5	ж	0.2-0.3	0.95- 1.01
	П	180-265	ж	-3747.9	-17.63.5	20.7-7.0	-	+8.2+14.6	ж		
Пн 10	В	135-190	ж, г, гж	-33.535	-1.50.3	3.0-0.6	-	-	-	-	-
Пн 12	П, ПВ	180-300	ж, г	-3537	-12.010.0	16.5-15	-56.661.2	-4.318.3	ж	0.2-0.3	0.98- 1.03
Пн 13	П	180-200	ж	-3437	-6.01.2	10-2.5	-5762.2	+16.182.1	г, ж		
Пн 17	П, ПВ	180-210	ж	-32.545.0	-18.08.5	21-13	-57.667.4	+1162.2	ж	1.2-2.3	0.46- 0.94
Пн 18	П, ПВ	-	-	-	-	-	-6062.5	+3.547.7	ж	-	-
Пн 19	П	220-410	ж	-26.335	-2.01.8	4.5-3.6	-57.068.7	+13.131.0	г, ж, гж	-	-
	В	145-200	ж	-	-	-	-60.065.1	-5.7117.5	г,ж	-	-
Π., 20	П, ПВ	240-305	ж	-21.537.5	-6.80.2	10.5-0.5	-56.658.5	-9+11.5	ж	0517	0.85-
Пн 20	В	170-200	ж	-2629	-3.50.6	7.0-1.1	-	-	-	0.3-1.7	0.98

Таблица 3. Результаты микротермометрических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце Панимбинского золоторудного месторождения

Примечание: * - Пн 1 – скв. 63; Пн 3-Пн 6, Пн 8 – скв.145; Пн10, Пн 12, Пн13, Пн17-Пн 19 – скв. 191; Пн 20 – скв. 194.

генерация флюидных включений: П - первичные, В - вторичные, ПВ - первично-вторичные; *гомогенизация: ж - в жидкую фазу, г – в газовую фазу, гж – с критическими явлениями. Прочерк - не определялось.

5.2. Состав и соленость водной фазы флюидных включений в кварце

Богунайское месторождение. Определено, что в растворе первичных и первично-вторичных существенно водных ($\mathcal{K}_{H20}+\Gamma$) и углекислотно-водных ($\mathcal{K}_{H20}\pm\mathcal{K}_{C02}+\Gamma$) флюидных включений преобладает хлорид магния, на что указывают температуры эвтектики в интервале от -27.5 до -33.5 °C. Солёность флюида в существенно водных включениях меняется в интервале от 3.0 до 19.0 мас. %, NaCl-экв., о чем свидетельствуют температуры плавления льда в интервале от -1.5 до -15 °C (Табл. 1). В углекислотно-водных включениях концентрация солей составляет интервал от 1.4 до 13.5 мас. %, NaCl-экв. Соленость в таких включениях вычислялась по температуре плавления газгидрата, который плавился в интервале от +9.3 до +2.0 °C (Табл. 1).

Во вторичных трехфазных водно-солевых флюидных включениях был отмечен флюид, обогащенный хлоридами натрия, кальция и, возможно, железа. Температура эвтектики хлоридов кальция и железа в системах H₂O-CaCl₂·6H₂O и H₂O-FeCl₃·6H₂O составляет -49.8 и -55.0 °C, соответственно [Киргинцев и др., 1972]. На наличие хлорида Na указывают кристаллики кубического габитуса, которые плавятся в интервале температур от 230 до 280 °C, чаще всего вблизи температур общей гомогенизации, опережая её на 5-10 °С [Рябуха и др., 2015]. Соленость такого флюида составляет 35-40 мас. %, NaCl-экв. На наличие хлоридов Са и Fe указывают низкие температуры эвтектики водного раствора в интервале температур от -57.6 до -60.5 °C, а также дендритовидная форма кристалликов, которые плавились в интервале от +15.0 до +21.0 °C (Табл. 1). Плавление льда в водной фазе этих включений происходило в интервале температур от -32.5 до -42.5 °C, что позволило оценить соленость в эквиваленте CaCl₂, которая превышает 45 мас. %, NaCl-экв. Некоторые включения (Ж_{H20}+Г+Кр.) при понижении температуры до -150°С полностью не замерзали. Согласно исследованиям синтезированных флюидных включений в системе

NaCl-CaCl₂-H₂O [Vanko et al., 1988; Zwart, Touret, 1994], это может быть связано с метастабильностью фаз в высокосоленом флюиде.

Кроме того, в составе водной фазы флюидных включений, помимо хлоридов Na, Mg, Ca и Fe, методом масс-спектрометрии с индуктивносвязанной плазмой (ICP-MS), определены лантаноиды (Табл. 4). Для проанализированных образцов характерна идентичная форма геохимических спектров содержаний РЗЭ (Рис.14). Отмечается преобладание лёгких элементов над тяжёлыми, на что указывают отношения La/Yb в интервале от 23.3 до 56.9. Суммарная концентрация редкоземельных элементов колеблется от 2.2 до 10.7 г/т. Значение европиевой аномалии (Eu/Eu*) составляет интервал от 0.4 до 1 и не превышает 1. Такие отрицательные европиевые аномалии характерны для флюидов корового происхождения [Taylor, McLennan, 1985; Винокуров и др., 1999; Кравцова, Алмаз, 2006; Tomilenko et al., 2010].



Геохимические спектры содержаний РЗЭ, нормированных по хондриту [Sun & McDonough, 1989], во флюидных включениях в кварце Богунайского золоторудного месторождения (1 – Т-99-1/1, 2 – Т-99-1/2, 3 – Т-99-1/3; см. табл. 4).

$D_{\pi} = 10^{-2} = 10^{-2}$	№ образца							
Элемент, п. 10, 171	T-99-1/1	T-99-1/2	T-99-1/3					
La	49	242	205					
Се	106	508	421					
Pr	10	54	41					
Nd	31	159	125					
Sm	4.8	23	18					
Eu	1.5	20.7	6.0					
Gd	3.5	19.0	14.0					
Tb	0.7	3.9	2.3					
Dy	3.9	20	10					
Но	0.8	3.1	2.0					
Er	2.0	8.7	3.8					
Tm	0.3	1.1	0.5					
Yb	2.1	7.6	3.6					
La/Yb	23.3	31.8	56.9					
Eu/Eu*	0.4	1.0	0.4					
Eu/Sm	0.3	0.9	0.3					
Eu*	4.2	21	16					
ΣΡ3Э, г/т	2.2	10.7	8.5					

Таблица 4. Содержание лантаноидов во флюидных включениях в кварце Богунайского золоторудного месторождения

Примечание: Eu*=(Sm+Gd)/2 Элементы определены методом массспектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Аналитики: О.А. Козьменко, И.В. Николаева, С.В. Палесский

Интересно отметить, что величины отношений La/Yb, Sm/Nd, Eu/Sm и Eu/Eu*, определенные нами во флюидных включениях из кварцевых жил Богунайского месторождения, оказались достаточно близкими таковым в гранитоидах Нижнеканского массива [Верниковская и др., 2004].

Герфедское месторождение. Водно-солевая система флюидов на Герфедском месторождении наиболее близка системе H₂O-NaCl. Концентрации солей ниже эвтектической определялись по температуре плавления льда, затем идентифицировались по диаграмме системы H₂O-NaCl и выражались в эквивалентных концентрациях NaCl.

Минимальная соленость на месторождении отмечается в кварцитах, при этом, в очень мелких первичных включениях (3-5 микрон) сложно было зафиксировать температуру эвтектики. В кварце кварцитов температура эвтектики водной фазы флюидных включений изменялась в достаточно узком интервале от -18.0 до -21.3 °С и близка водно-солевой системе NaCl-H₂O. При температуре плавления последнего кристалла в водно-солевом растворе включения от -0.3 до -3.5 °C, соленость менялась от 0.5 до 7 мас. %, NaCl-экв. (Табл. 2; рис. 15).



Рис. 15. Состав-солёность водной фазы флюидных включений незолотоносных (кварциты и оперяющие кварцевые жилы с Au<1 г/т) и золотоносных (оперяющие с Au=2.8-9.1 г/т) кварцевых жил Герфедского золоторудного месторождения

В оперяющих жилах с низким содержанием золота температура плавления льда составила интервал от -0.5 до -6.0 °C при солености от 1,5 до 10 мас.% NaCl. Температура эвтектики менялась от -18.3 до -22.1°C (Табл. 2; рис. 15). Во флюидных включениях в кварце оперяющих жил с высоким содержанием золота температура плавления льда варьировала от -2.0 до -8.0 и от -12.0 до 21.5 °C при солености от 4.5 до 23.3 мас. %, NaCl-экв.. Для водной фазы включений характерны низкие температуры эвтектики и плавления льда. Выделены две группы включений с разными температурами: первая имела температуру эвтектики в интервале от -27.3 до -32.0 °C и лёд плавился при -3.0 до -16.0°C. Во второй группе включений температура эвтектики составляла от -
41.0 до -45.0°С, с температурой плавления льда от -18.5 до -21.5°С. По своим характеристикам водный раствор первой группы включений близок к водносолевой системе с хлоридом магния, а второй – с хлоридом кальция. Соленость растворов при этом составляла 6.0-20.0 мас. % и 22.0-23.3 мас. %, NaCl-экв., соответственно (Табл. 2; рис. 15).

Что касается редкоземельного состава: В кварцитах Герфедского месторождения отмечены небольшие вариации содержаний всех лантаноидов (РЗЭ) и их суммарной концентрации (ГРЗЭ), которая колеблется от 0.035 до 0.117 ppm. То же самое отмечалось и в оперяющих кварцевых жилах с высоким содержанием золота ($\Sigma P33 = 0.020$ до 0.117 ppm). А для кварцевых жил с Au <1 г/т были характерны широкие вариации содержаний всех РЗЭ: суммарная от 0.026 до 2.714 концентрация менялась ppm (Табл. 5). Для проанализированных образцов кварца характерно отчетливое преобладание легких РЗЭ над тяжёлыми, в частности выражающееся величиной отношения La/Yb. Последнее достигало наибольших значений (от 5.0 до 173.3) в оперяющих кварцевых жилах с низким содержанием золота. Для оперяющих жил с высоким содержанием золота величина отношения менялась от 5.5 до 30.0, а для кварцитов отношение La/Yb определено еще в более узком интервале (от 1.0 до 5.25) (Табл. 5). Во всех типах кварца были выявлены слабые отрицательные аномалии европия (Eu/Eu*=0.1 до 0.4) и тербия (Рис. 16). Известно. что такие значения характерны для флюидов корового происхождения [Taylor, McLennan, 1985; Tomilenko et al., 2010].



Рис. 16. Геохимические спектры содержания РЗЭ, нормированных по хондриту [Sun & McDonough, 1989], во флюидных включениях в кварце из кварцевых жил Герфедского золоторудного месторождения: 1 – кварциты, Au<1-2 г/т; 2 – оперяющие, Au<1 г/т; 3 – оперяющие, Au=2.8-9.1 г/т

По результатам определения концентраций щелочных и щелочноземельных элементов видно, что флюиды оперяющих золотоносных кварцевых жил обогащены К, Na и Ca, а также Fe (Табл. 6). Этими же элементами и Sr обогащены флюиды оперяющих жил с низким содержанием золота, а кварциты обеднены Li и Cs при близких содержаниях Na и K. Выявлены более широкие интервалы отношений Rb/Sr, Na/K и Fe/Mg в оперяющих золотоносных жилах, которые превышали в несколько раз величины этих отношений в кварцитах и слабозолотоносных оперяющих жилах (Табл. 6).

					Типы	кварцевых жи.	П				
Элементы,	квар	оциты, Au<1-2	г/т	оперяющи	e, Au<1 г/т	оперяющие, Au=2.8-9.1 г/т					
n·10 ⁻²	Г-393-45.5-а	Г-393-45.5-б	Г-393-51.9	Г-393-53.7	Г-404- 144.7	Г-406-199.6	Г-406-199.8-а	Г-406-199.8-б	Г-408-86.9-а	Г-408-86.9-б	
La	2,1	0,5	0,6	0,5	52,0	0,6	0,5	2,2	2,1	0,5	
Ce	4,3	1,1	1,1	0,9	114,0	0,9	1,1	4,1	4,0	0,8	
Pr	0,6	0,2	0,1	0,1	17,0	0,1	0,2	0,6	0,6	0,2	
Nd	2,2	0,6	0,5	0,4	63,0	0,3	0,5	1,9	2,4	0,4	
Sm	0,4	0,2	0,2	0,1	11,0	0,04	0,1	0,6	0,5	0,1	
Eu	0,1	0,07	0,02	0,06	2,7	0,01	0,03	0,04	0,1	0,03	
Gd	0,6	0,5	0,2	0,2	8,3	0,01	0,07	0,5	0,5	0,1	
Tb	0,06	0,09	0,03	0,02	0,7	Н.П.О.	0,01	0,1	0,05	0,01	
Dy	0,5	0,7	0,2	0,1	1,8	0,02	0,05	0,7	0,2	0,07	
Но	0,08	0,1	0,06	0,02	0,2	Н.П.О.	0,01	0,1	0,04	0,01	
Er	0,3	0,4	0,2	0,08	0,4	0,02	0,03	0,4	0,1	0,03	
Yb	0,4	0,5	0,3	0,1	0,3	0,02	0,03	0,4	0,2	0,04	
Lu	0,05	0,07	0,03	0,02	0,05	Н.П.О.	Н.П.О.	0,05	0,03	0,01	
Eu/Eu*	0,2	0,2	0,1	0,4	0,3	0,4	0,4	0,1	0,2	0,3	
Eu/Sm	0,25	0,35	0,1	0,6	0,24	0,25	0,3	0,07	0,2	0,3	
La/Yb	5,2	1,0	2,0	5,0	173,3	30,0	16,7	5,5	10,5	12,5	
Eu*	0,5	0,35	0,2	0,15	9,65	0,025	0,085	0,55	0,5	0,1	
ΣLa, г/т	0,117	0,05	0,0354	0,026	2,71	0,020	0,026	0,117	0,108	0,023	

Таблица 5. Содержание лантаноидов во ф	флюидных включениях в кварце Герфедского золоторудного месторождения
--	--

Примечание: Eu*=(Smn+GdNn)/2; н.п.о - ниже предела обнаружения. Лантаноиды определены методом ICP-MS в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Аналитики: О.А. Козьменко, И.В. Николаева, С.В. Палесский.

					Типы ке	зарцевых жил					
Элемент,	кварі	циты, Au<1	-2 г/т	оперяюц	цие, Au<1 г/т	оперяющие, Au=2.8-9.1 г/т					
n·10 ⁻²	Г-393-45.5-	Г-393-	Г 202 51 0	E 202 52 7	Γ 404 1447	Г 406 100 6	Г-406-199.8-	Γ-406-199.8-	Г-408-86.9-	Γ-408-86.9-	
	a	45.5-б	1-595-51.9	1-393-33.7	1 -404-144./	1 -400-199.0	а	б	a	б	
Li	0.1	-	0.1	-	0.1	0.3	0.4	0.2	0.1	0.1	
Na	35.6	8.6	53.5	644.5	193.0	34.9	28.5	277.0	58.9	36.5	
Κ	18.4	8.7	51.2	128.5	75.8	20.8	12.9	254.0	32.3	60.8	
Rb	4.2	1.4	8.3	5.3	16	4.3	2.4	63.0	8.1	13.0	
Sr	24.0	25.0	14.0	175.0	44.0	9.5	20.0	15.0	23.0	18.0	
Cs	0.3	0.2	0.7	1.1	0.8	0.7	1.5	1.8	1.1	1.1	
Ca	136.73	188.3	62.28	89.79	110.5	118.97	76.05	116.33	62.05	14.74	
Mg	4.05	4.4	3.9	3.55	18.3	5.15	3.05	8.95	4.55	4.75	
Fe	6.7	4.8	28.4	130.5	547.5	43.3	95.65	239.0	126.5	25.6	
Na/K	1.9	1.0	1.04	5.0	2.6	1.7	2.2	1.0	1.8	0.6	
Rb/Sr	1.18	0.06	0.6	0.03	0.4	0.4	0.12	4.2	0.4	0.7	
K/Rb	4.38	6.21	6.17	24.25	4.74	4.84	5.38	4.03	3.99	4.68	
Ca/Mg	34	43	16	25	6	23	25	13	14	3.0	
Fe/Mg	1.6	1.1	7.3	37	30	8.4	31.4	26.7	27.8	5.4	
Σ , ppm	2.06	2.41	2.22	11.48	10.06	2.37	2.4	9.75	3.16	17.2	

Таблица 6. Содержание щелочных и щелочноземельных элементов во флюидных включениях в кварце из кварцевых жил Герфедского золоторудного месторождения

Примечание: прочерк - не определялось. Элементы определены методом ICP-AES в институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск, Аналитики: О. А. Козьменко, И. В. Николаева, С. В. Палесский.

Панимбинское месторождение. В золотоносном кварце Панимбинского месторождения температура эвтектики водной фазы флюидных включений менялась в диапазоне от -21.5 °C до -55.0 °C, что указывает на раствор с хлоридами Na, Mg и Ca (Табл. 3; Рис.17) [Гибшер и др., 2017].



Соленость, мас. %, (NaCl-экв)

Рис. 17. Состав-солёность водной фазы флюидных включений Панимбинского золоторудного месторождения.

Температура плавления льда составила интервал от -0.2 до -18.0 °C, что соответствует солености водно-солевого раствора от 0.5 до 21 мас. %, NaCl-экв. В среднем соленость флюидов в кварцевых жилах составляет около 11 мас. % NaCl-экв. В отдельных углекислотно-водных включениях при положительных температурах, после исчезновения льда образуются кристаллы газогидрата. Их плавление происходило при температурах от +13.5 до +21.3°C.

В трехфазных водно-солевых включениях (Ж_{H2O}+Г+КР) присутствует кристалл кубического габитуса (галита). Во время нагревания включений кристаллик галита исчезал при температурах выше или ниже, чем исчезновение пузырька газа на 5-10 °C или при той же самой температуре. Плавление соли

происходило при температурах от 165 до 210°С. Соленость водного раствора в них более 30-40 мас. %, NaCl-экв [Гибшер и др., 2017].

5.3. Газовый состав флюидных включений

Богунайское месторождение. Состав газовой фазы флюидных включений в кварце Центрального участка и Красноярской минерализованной зоны Богунайского месторождения исследовался с помощью газовой хроматографии, КР-спектроскопии и газовой хромато-масс-спектрометрии.

По Газовая хроматография. данным газовой хроматографии на Центральном участке и в Красноярской зоне содержание (в г/т) СО₂ составляло 80-310 и 40-310 г/т, H₂O – 940-2100 и 880-2200 г/т, CH₄ – 2-14 и 2-10 г/т, соответственно (Табл. 7), при этом молекулярный азот обнаружен не был. Отношение CO₂/CO₂+H₂O во флюидах Центрального участка колеблется от 0.04 до 0.17, а СО₂/СН₄ - от 14 до 110. Похожие величины этих отношений определены И BO флюидах Красноярской минерализованной 30НЫ: CO_2/CO_2 +H₂O меняется в интервале от 0.03 до 0.15, а CO_2/CH_4 – от 12 до 110. Прослежена прямо пропорциональная связь доли СО₂ во флюиде и содержания золота в кварцевых жилах. Так, в кварцах с содержанием золота (г/т) 0.68; 1.5; 2.84; 4.0; 5.39 повышается и доля углекислоты (CO₂/CO₂+H₂O) во флюиде от 0.1; 0.11; 0.12; 0.13; 0.15, соответственно. В среднем флюидонасыщенность кварцевых жил обоих участков также близка и составляет 1793 г/т – на Центральном участке и 1752 г/т – на Красноярском.

Таблица 7. Состав флюидных включений в кварце кварцевых жил и вмещающих гранулитах Богунайского золоторудного месторождения (по данным газовой хроматографии)

No ofreewox	Соде	ержание	, г/т	Суммарное		CO /CU
л⊍ ооразца*	CO ₂	H ₂ O	CH ₄	содержание газов, г/т	$CO_2/CO_2+\Pi_2O$	$CO_2/C\Pi_4$
K	Сварц к	варцевь	ых жи ј	1 Центрального участка	, штольня № 13	
13-(23)	210	1300	10	1520	0.14	21
13-(38)	120	1700	6	1826	0.07	20
13-(39)	80	1900	4	1984	0.04	20
13-(44)	140	1300	10	1450	0.10	14
13-(45)	180	1700	9	1889	0.10	20
13-(47)	220	1800	5	2025	0.14	44
13-(48)	240	2100	7	2347	0.10	34
13-(49)	310	2100	4	2414	0.13	80
13-(50)	290	1500	4	1794	0.16	72
13-(58)	120	940	2	1062	0.11	60
13-(61)	160	1200	2	1362	0.12	80
13-(65)	270	1300	14	1584	0.17	19
13-(66)	220	2000	2	2222	0.10	110
13-(68)	120	1500	3	1623	0.07	40
	Квари	кварце	вых ж	ил Красноярской зоны,	канава № 26	
Б-1	190	1400	6	1596	0.12	32
Б-2	190	1200	4	1394	0.14	48
499001	170	960	5	1135	0.15	34
1992601	120	880	5	1005	0.12	24
1992602	120	1100	6	1226	0.10	20
Б-1-2 (2)	180	1300	6	1486	0.12	30
Б-2-4 (4)	190	1600	8	1798	0.11	24
Б-4 (11)	110	1300	4	1414	0.08	28
Б-5 (20)	90	1500	4	1594	0.06	22
Б-6 (21)	40	1200	2	1242	0.03	20
Б-7 (30)	220	1900	4	2124	0.10	55
Б-8 (33)	60	980	2	1042	0.06	30
Б-9 (40)	170	1600	8	1778	0.10	21
Б-10 (43)	310	2100	4	2414	0.13	78
Б-11 (46)	190	1600	8	1798	0.11	24
Б-12 (46.5)	90	1300	3	1393	0.06	30
Б-13 (56)	80	1400	5	1485	0.05	16
Б-14 (66)	60	1200	5	1265	0.05	12
Б-16	250	1800	10	2060	0.12	25
Б-17	200	2200	2	2402	0.08	100
Б-18	290	2000	3	2293	0.13	97
Б-21	160	3600	4	3764	0.04	40
Б-22	220	2000	2	2222	0.10	110
Б-23	170	2100	6	2276	0.08	28
Б-24	250	1700	6	1956	0.13	42
Б-25	80	1300	3	1383	0.06	27
_	-	Ī	Тороли	ы** Красноярской зоны		
Б-1-2 (2)	237	2500	7.0	2744	0.09	33.9
Б-2-4 (4)	86	2400	2.0	2488	0.03	43.0
Б-4 (11)	104	2000	1.0	2105	0.05	104.0

Б-5 (20)	142	2300	0.8	2443	0.06	177.5
Б-6 (21)	51	1740	0.1	1791	0.03	510.0
Б-7 (30)	258	10600	2.0	10860	0.02	129.0
Б-8 (33)	174	14100	0.7	14275	0.01	248.6
Б-8-а (33.5)	132	12700	0.8	12833	0.01	165.0
Б-9 (40)	206	2800	4.0	3010	0.07	51.5
Б-10 (43)	251	7200	1.0	7452	0.03	251.0
Б-11 (46)	230	2300	2.0	2632	0.09	115.0
Б-12 (46.5)	182	4300	0.8	4483	0.04	227.5
Б-13 (56)	78	3400	3.0	3481	0.02	26.0
Б-13-а (56.5)	73	3100	2.0	3175	0.02	36.5
Б-14 (66)	72	2500	0.6	2573	0.03	120.0

Примечание: * цифра в скобках: расстояние (м) от устья штольни № 13; расстояние (м) от северного к южному флангу по канаве № 26. Остальные образцы взяты с рудного двора.

** породы Красноярской зоны: окварцованный гранулиты № Б-1-2 ÷ Б-6, Б-9, Б-11 ÷ Б-14; березиты № Б-7 ÷ Б -8-а, Б-10. Температура газовыделения 600 °С. навеска 300 мг, № не обнаружен.

Раман-спектроскопия. Исследование газовой фазы индивидуальных флюидных включений в кварце методом КР-спектроскопии, как и хроматографией, показало, что во флюиде включений присутствуют CO₂ и CH₄ при полном отсутствии N₂. Содержание CO₂ меняется от 92.2 до 100 мол. %, а CH₄ – от 0.0 до 7.8 мол. %. Коэффициент CO₂/CH₄ меняется в широком диапазоне: от 49 до 499 (Табл. 8).

Таблица 8. Микротермометрические характеристики и состав индивидуальных флюидных включений в кварце Богунайского золоторудного месторождения (по данным микротермометрии и КР-спектроскопии)

	Т	Т		D	Сод	ержани мол.%	ie,	_		
№ образца	гом, °C	пл.СО _{2,} °С	Т гом СО ₂ , °С	Вид гомоген.*	CO_2	CH ₄	N ₂	CO ₂ /CH ₄	**d, г/см ³	р, кбар
T-99-1/1	280	-56.7	21.0	Г	100	0.0	0.0	-	0.20	0.2
T-99-1/2	300	-57.0	19.5	Г	99.5	0.5	0.0	199	0.19	0.2
T-99-1/3	260	-56.9	23.0	Г	99.3	0.7	0.0	142	0.22	0.2
T-99-1/4	310	-56.8	16.0	Г	99.8	0.2	0.0	499	0.17	0.2
T-99-1/5	260	-57.5	10.0	Г	98.5	1.5	0.0	66	0.14	0.1
T-99-1/6	290	-57.5	19.0	Г	99.1	0.9	0.0	110	0.19	0.2
13-39/1	270	-58.1	28.0	Г	92.2	7.8	0.0	12	0.29	0.3
13-39/2	250	-57.1	27.5	Г	98.6	1.4	0.0	70	0.28	0.3
13-39/3	300	-57.1	28.5	Г	97.7	2.3	0.0	42	0.3	0.3
13-39/4	280	-56.8	28.3	Г	100	0.0	0.0	-	0.3	0.3

13-39/5	290	-56.9	27.5	Г	100	0.0	0.0	-	0.28	03
13-45/1	340	-56.8	27.5	ж	99.6	0.4	0.0	249	0.20	1.0
13-45/2	270	-56.7	29.0	ж	100	0.0	0.0	-	0.63	0.8
13-45/3	310	-56.8	28.5	ж	99.7	0.3	0.0	332	0.64	0.9
13-45/4	260	-57.0	30.0	ж	98.1	1.9	0.0	52	0.59	0.7
13-45/5	300	-57.2	31.0	ж	98.0	2.0	0.0	49	0.52	0.6
13-45/6	320	-57.0	29.5	ж	98.7	1.3	0.0	76	0.62	0.9
13-45/7	250	-56.8	30.0	ж	100	0.0	0.0	-	0.59	0.7
13-45/8	270	-56.7	28.5	ж	100	0.0	0.0	-	0.64	0.8
13-61/1	260	-56.6	15.0	ж	100	0.0	0.0	-	0.82	1.4
13-61/2	330	-57.0	21.0	ж	99.8	0.2	0.0	499	0.76	1.4
13-61/3	280	-56.6	29.0	Г	100	0.0	0.0	-	0.31	0.3
13-61/4	300	-56.7	31.0	Г	100	0.0	0.0	-	0.42	0.5
13-61/5	310	-56.8	25.0	Г	100	0.0	0.0	-	0.24	0.3
13-61/6	290	-56.9	19.0	Г	100	0.0	0.0	-	0.19	0.2
13-66/1	320	-56.6	29.0	Г	100	0.0	0.0	-	0.31	0.3
13-66/2	270	-56.7	30.0	Г	99.8	0.2	0.0	499	0.34	0.3
Б-11/1	310	-56.9	16.0	ж	100	0.0	0.0	-	0.81	1.6
Б-11/2	280	-56.7	20.0	ж	100	0.0	0.0	-	0.77	1.2
Б-11/3	340	-56.6	27.0	ж	100	0.0	0.0	-	0.68	1.1
Б-11/4	290	-56.7	23.5	ж	100	0.0	0.0		0.73	1.1

Примечание: * - вид гомогенизации: ж - в жидкость, г - в газ; ** d - плотность газовой фазы

Газовая хромато-масс-спектрометрия. Методом хромато-массспектрометрии определен состав газовой фазы флюидных включений в пирите, халькопирите, галените, сфалерите и кварце (Приложение 1-7; табл. 9). Были определены H₂O, CO₂, N₂, серосодержащие соединения (H₂S, CS₂, SO₂, COS, $C_2H_6S_2$), азотсодержащие (C_3H_7N , C_3H_7NO , $C_4H_8N_2O$) и большая группа углеводородных соединений, представленная парафинами, олефинами, эфирами, аренами, нафтенами, спиртами, альдегидами, карбоновыми фуранами (Приложение 1-7). Bo кислотами, кетонами И всех проанализированных образцах обнаружены парафины, постоянно присутствуют альдегиды и кетоны (Рис. 18). Эпизодически выявлены олефины, арены, карбоновые кислоты, и в одном образце пирита обнаружены фураны. Вода, углекислота и серосодержащие соединения присутствуют в газовой фазе включений в разных количествах.

Таблица 9. Состав (в отн. %) флюидных включений в минералах золотоносных и незолотоносных кварцевых жил Богунайского золоторудного месторождения (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии).

Comment	Название		Централы	ный участок		Красноярская зона		
Соединение	компонентов	13-44	13-39	13-48	13-45	Б-2-а	Б-23	
		пирит	галенит	сфалерит	кварц	пирит	кварц	
	парафины (алканы)	12.44	17.15	5.99	1.29	10.14	0.69	
Алифатические	олефины (алкены)	Н.О	Н.О	Н.О	0.07	2.85	0.01	
углеводороды	циклоалканы, циклоалкены, арены, ПАУ	6.09	1.31	Н.О	0.07	Н.О	0.17	
	эфиры (простые и сложные), спирты	2.99	1.82	0.25	0.4	0.63	0.47	
Кислород	альдегиды	23.56	61.62	6.37	0.42	12.62	0.43	
содержащие	одержащие кетоны		5.06	0.93	0.47	5.32	0.24	
углеводороды	карбоновые кислоты	3.17	Н.О	Н.О	Н.О	Н.О	Н.О	
	диоксаны, фураны	Н.О	Н.О	Н.О	H.0	0.78(1)	Н.О	
Азот содержащие соединения	Азот, аммиак, нитрилы	1.47	0.74 (1)	0.07 (2)	0.24 (2)	Н.О	Н.О	
Серосодержащи е соединения	H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	17.65	0.12	0.02	0.04	3.0	0.09	
Неорганические	CO_2	13.15	6.47	76.27	37.93	61.32	59.83	
соединения	H ₂ O	12.93	5.73	9.78	59.16	2.41	38.09	
Общее количество компонентов		33	26	31	50	29	51	
	Алканы/алкены	-	-	-	18.4	3.6	69	
Отношения	CO_2/CO_2+H_2O	0.50	0.53	0.89	0.39	0.96	0.61	
Отношения	*KBOCCT.= $\frac{\Sigma 1}{\Sigma 1 + \Sigma 2}$	0.19	0.19	0.06	0.01	0.13	0.01	

Примечание: н.о. – ниже предела обнаружения, ******Σ*1 – сумма алифатических+циклических УВ; *Σ*2 – сумма кислородсодержащих соединений+CO₂+H₂O.

Азотсодержащие вещества определены в газовой фазе включений из сульфидов Центрального участка и отсутствуют во включениях из кварца (Рис. 18). Молекулярный азот (N₂) присутствовал только в одном образце кварца Центрального участка (сводная таблица в приложении).

В составе флюидных включений из сульфидов доля CO₂ больше, а H₂O меньше, чем в кварце, о чем свидетельствуют значения углекислотно-водного коэффициента [CO₂/CO₂+H₂O)] (Табл. 5). Во флюидах сульфидов он колеблется от 0.50 до 0.96, а в кварце – от 0.39 до 0.61. Во флюидах сульфидов

преобладают и восстановленные соединения, по сравнению с флюидами из кварца. На это указывает степень восстановительного потенциала, выраженного через коэффициент восстановленности, значение которого в сульфидах изменяется от 0.06 до 0.19, а в кварцах на порядок ниже – от 0.01 до 0.009.



Рис. 18. Относительное содержание углеводородов (алифатических, циклических и кислородсодержащих), серо- и азотсодержащих соединений, CO₂ и H₂O в минералах Центрального участка (пирит, галенит, сфалерит и кварц) и Красноярской зоны (пирит и кварц) Богунайского месторождения.

Герфедское местрождение. Состав флюидных включений в кварце Герфедского месторождения исследовался микротермометрией, газовой хроматографией, КР-спектроскопией индивидуальных флюидных включений и газовой хромато-масс-спектрометрией.

По данным *микротермометрии* флюидные включения типа $(\mathcal{K}_{H2O} + \mathcal{K}_{CO2} + \Gamma)$, $(\mathcal{K}_{H2O} + \mathcal{K}_{CO2} \pm \Gamma)$, $(\mathcal{K}_{H2O} + \Gamma_{CO2})$, \mathcal{K}_{CO2} и Γ_{CO2} в больших количествах содержали углекислоту, диагностическим признаком которой является температура плавления -56.6 °C. Большинство включений в кварце

секущих жил с Au=2.8-9.1 г/т плавилось при температурах от -57 до -57.8 °C. В субсогласных с вмещающими породами жилах кварцитов также были зафиксированы температуры плавления твердой углекислоты, близкие к тройной точке CO₂ (от -56.7 до -58.3 °C). Но наиболее часто встречались включения, газовая фаза которых представляла собой сжиженную смесь из CO_2 , CH₄ и N₂. Она идентифицировалась по значительно пониженным температурам плавления от -59 до -78.3°C. Были встречены включения, где плавление сжиженной смеси происходило при температурах ниже -90 °C.

Температуры частичной гомогенизации сжиженного газа оказались также существенно пониженными: от +25.3 до -68 °C. Отмечались и аномально низкие от -84,8 (секущие жилы с Au<1г/т) до -107.6 °С (секущие жилы с Au=2.8-9.1г/т). Гомогенизация происходила, главным образом, в жидкую и редко в газовую фазу. При наблюдении за ходом процесса оттаивания раствора включений типа (Ж_{H2O}+Ж_{CO2}), в интервале температур от +15 до -5 °C были Эти образования обнаружены газгидраты. представляли собой кристаллогидраты воды и смеси газов (CO₂, CH₄ и N₂), которые вырастали от газовой фазы при повышении температуры. Причем, из-за присутствия значительного количества метана температурный интервал существования газгидрата шире в области положительных температур. Поскольку часть воды связывается в газгидрат, соленость остаточного раствора повышается, и, значит, по включениям с жидкой углекислотой нельзя определить концентрацию солей, используя температуру плавления льда [Рёддер, 1987].

Рамановская спектроскопия. Исследование состава индивидуальных флюидных включений методом КР-спектроскопии показало присутствие в газовой фазе флюидов в кварцитах CO₂ и CH₄ в количествах от 36 до 99.7 мол. % и от 0.3 до 32.9 мол. %, соответственно. Содержание молекулярного азота во флюиде было от 0 до 37.2 мол. % (Табл. 10, рис. 19).

83

Тип	-		_	рил	Соле	руурине	мол %	Плоти	
	No of poor	Т	Тчаст.гом.,°	БИД	Соде	ржанис,	MOJ1. /0		CO ₂ /
кварцевых	л⁰ ооразца	пл.,°С	С	ТОМ. *	CO_2	CH_4	N_2	0CTE,	CH_4
жил	E 202 45 5 1	560	.7.0	T T	00.7	1.0	0.0	17CM	75.0
	1-393-45.5-1	-56.9	+1.2	I	98.7	1.3	0.0	0.12	/5.9
	1-393-45.5-2	-56.7	+19.5	Г	99.5	0.5	0.0	0.19	199
	Г-393-45.5-3	-57.7	+10.0	Г	99.6	0.4	0.0	0.14	249
Крариити	Г-393-51.9-1 - (1)	-56.8	+25.3	Г	99.7	0.3	0.0	0.24	332
Кварциты Ли < 1-2	Г-393-51.9-1 - (2)	-57.3	+18.5	Γ	98.5	1.5	0.0	0.18	65.7
Au < 1-2	Г-393-51.9-1 - (1)	-68	-71	Ж	52.7	26.0	21.3	-	2.0
1/1	Г-393-51.9-1 - (2)	-66.3	-67	Ж	51.1	23.9	25.0	-	2.1
	Г-393-51.9-1 - (3)	-66.3	-67	Ж	56.3	20.9	22.8	-	2.7
	Г-393-51.9-1 - (4)	-67	-66.4	Ж	54.4	22.7	22.9	-	2.4
	Γ-393-51.9-1 - (5)	-68	-64.2	Ж	56.0	19.6	24.3	-	2.9
	Γ-393-51.9-3 - (6)	-	-	-	36.0	26.9	37.2	-	1.3
	Γ-393-51.9-2 - (8)	-	-57.7	Ж	67.1	32.9	0.0	-	2.0
	Г-393-51.9-2 - (9)	-68	-68	Ж	73.3	26.7	0.0	-	2.8
	Γ-404-144.7-1 - (1)	_	_	_	0.0	100.0	0.0	_	0.0
	Γ-404-144 7-1 - (2)	_	_	-	0.0	100.0	0.0	_	0.0
	$\Gamma_{-404} 1447_{-1} - (3)$		-61 7	ГЖ	45.6	49.1	53	-	0.0
	$\Gamma = -1 + -11 - (3)$ $\Gamma = -1 + -1 - (3)$	-	/01.7	т л\ \V/	68.8	-+9.1 28.6	2.5	-	2.9
	$\Gamma -404 - 144.7 - 1 - (4)$	-00.0	-49.3	Ж	52.4	20.0	2.0	-	2.4
	I -404-144./-1 - (0)	-	-	-	55.4	40.0	0.0	-	1.1
	$1 - 404 - 144 \cdot 7 - 1 - (7)$	-	-	-	0.0	100.0	0.0	-	0.0
	1-404-144.7-1 - (8)	-	-	-	0.0	100.0	0.0	-	0.0
	Г-404-144.7-4 - (10)	-70	-57.5	Ж	58.9	41.1	0.0	-	1.4
	Γ-404-144.7-5 - (11)	-	-	-	0.0	100.0	0.0	-	0.0
	Г-404-144.7-1 - (13)	-	-82.8	Г	0.0	100.0	0.0	-	0.0
	Γ-404-144.7-1 - (14)	-	-82.7	Ж	0.0	100.0	0.0	-	0.0
	Г-393-53.7(б) - 1	-63.8	-32.0	Ж	82.7	11.3	6.0	-	7.3
	Г-393-53.7(б) - 2	-65.1	-40.0	Ж	83.0	17.0	0.0	-	4.9
	Г-393-53.7(б) - 3	-64.9	-38.7	Ж	85.1	14.9	0.0	-	5.7
	Г-393-53.7(б) - 4	-64.4	-38.3	Ж	81.9	18.1	0.0	-	4.5
	Г-393-53.7(б) - 5	_	-	-	82.2	17.8	0.0	-	4.6
Omenave	Γ -408-86.9 (1) - (2)	-	-	-	71.8	19.9	8.3	-	3.6
Оперяю-	Γ-408-86.9 (ii) - (1)	-58.1	-22.3	Ж	90.7	9.3	0.0	1.04	9.8
щис, Ан < 1 р/т	Γ-408-86.9 (ii) - (2)	-63.0	-18.5	Ж	74.0	15.1	10.9	1.02	4.9
Au > 11/1	Γ-408-86.9 (ii) - (3)	-	-	-	79.7	15.7	4.6	-	5.1
	Γ-408-86.9 (ii) - (4)	-	_	-	91.6	6.3	2.1	-	14.5
	Γ-408-86.9 (ii) - (5)	_	_	_	92.4	7.6	0.0	_	12.2
	Γ-408-86.9 (ii) - (6)	_	_	_	90.2	3.9	5.9	_	23.1
	Γ-408-86.9 (ii) - (7)	_	-	_	88.0	41	79	_	21.5
	Γ -408-86 9 (2) - (1)	-62.1	+10.7	ж	89.0	11.0	0.0	0.86	81
	Γ -408-86 9 (2) - (2)	-	-	-	81.4	18.6	0.0	-	44
	$\Gamma_{-408-869(2)} = (2)$	-		_	43.0	5.0	51.2		7 <u>4</u>
	$\Gamma_{-408-86} \circ (3) = (1)$	-61.9	_9 5	ж	90.1	9.0	0.0	0 08	9.1
	$\Gamma_{-408-860}(3) = (1)$	-01.7	-9.5	W W	91.9	5.5	1.6	0.90	13.0
	$\Gamma 408 86 0 (2) (2)$	- 50.5	-	л. Уг.	91.0	0.0	1.0	-	357
	$\Gamma = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = $	-J7.J 57.9	+0.0	л. Уг.	767	2.7 15 1	1.0	1.07	5.1
	$\Gamma = 400 - 177.0(2) - (1)$ $\Gamma = 406.100.6(2) - (2)$	-57.0	0.3	л УГ	86.8	50	0.2	0.00	J.1 15 1
	$\Gamma = 400 - 177.0(2) - (2)$ $\Gamma = 406.100.6(2) - (2)$	-37.3	-0.2	XIX VIV	797	<i>J.</i> 0	11.4	1.05	1J.1 8 0
	$\Gamma = 400 - 199.0(2) - (3)$ $\Gamma = 406.100.6(2) = (4)$	-	-24	AL W	02.0	9.0 5 7	11.4	0.80	0.0
	$\Gamma 400-199.0(2) - (4)$ $\Gamma 406.100.6(2) - (5)$	- 61.0	+0	Л	93.0	3.1 14.4	1.3	0.89	10.3
	1 - 400 - 199.0(2) - (3)	-01.2	-21.0	- \T/	0.0	14.4	0.0	-	0.0
	1 -400-199.0№2 - (6)	-	-107.6	ж	0.0	12.5	21.5	-	0.0

Таблица 10. Результаты криометрических и КР-спектроскопических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения

	Г-406-199.6№2 - (7)	-62.0	-43.8	Γ	56.6	20.0	23.4	-	2.8
	Г-406-199.6№2 - (8)	-	-104.9	Ж	0.0	53.5	46.5	-	0.0
	Γ-406-199.8(1) - (1)	-59.1	-7.9	Ж	97.9	1.2	0.8	0.87	78.5
	Γ-406-199.8(1) - (2)	-59.2	1.4	Ж	88.4	5.5	6.1	0.90	16.0
	Γ-406-199.8(1) - (3)	-60.0	0.2	-	95.6	3.6	0.8	-	26.4
	Γ-406-199.8(1) - (5)	-62.4	-10	Ж	95.0	4.4	0.6	1.04	21.7
Оперяю щие, Au = 2.8 - 9.1г/т	Γ-406-199.8(1) - (6)	-	-	Ж	95.7	2.0	2.3	0.97	48.8
	Γ-406-199.8(1) - (7)	-63.0	-23.6	Ж	93.8	4.5	1.7	0.92	20.6
	Γ-406-199.8(1) - (8)	-	-0.5	Ж	94.0	4.8	1.3	0.93	19.7
	Γ-406-199.8(1) - (9)	-62.6	-18.5	Ж	96.7	1.7	1.6	1.01	56.0
	Γ-406-199.8(2) - (1)	-	-9.5	Ж	92.0	8.0	0.0	0.98	11.5
	Γ-406-199.8(2) - (2)	-	-	-	97.6	2.4	0.0	-	41.4
	Γ-406-199.8(2) - (3)	-63.0	-23.6	Ж	91.4	8.6	0.0	1.05	10.6
	Γ-406-199.8(2) - (5)	-	-	-	96.9	3.1	0.0	-	31.5
	Γ-406-199.8(2) - (6)	-	-19.5	Ж	93.5	6.5	0.0	1.03	14.3

Примечание: вид гомогенизации: Г – в газовую фазу, Ж – в жидкую фазу, ГЖ – с критическими явлениями (исчезновение мениска газ-жидкость).



Рис. 19. Состав (в мол.%) флюидных включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения (по данным КР-спектроскопии)

В составе флюидных включений из кварца оперяющих жил с Au<1г/т преобладал метан, содержание которого изменялось от 1.2 до 100 мол. %. Содержание CO₂ менялось в интервале от 0.0 до 97.9 мол. %, азота – от 0.0 до 51.2 мол. %. В составе флюидных включений, оперяющих жил с высоким

содержанием золота преобладала CO₂ с содержанием от 91.4 до 97.6 мол. %. Содержание метана изменялось от 1.7 до 19.9 моль. %, а азота от 0.0 до 2.3 мол. % (Табл. 10). Ниже приведены КР-спектры для индивидуальных включений в кварце из жил с низким и высоким содержанием золота (Рис. 20-21) и таблица 10 с результатами криометрических и КР-спектроскопических исследований индивидуальных включений.



Рис. 20. КР-спектры флюидного включения в кварце оперяющих жил с содержанием золота < 1 г/т (образец Г-393-53.7(б)).



Рис. 21. КР-спектры флюидного включения в кварце оперяющих жил с содержанием золота 2.8 – 9.1 г/т (образец Г-408-86.9(3)).

Газовая хроматография. По данным газовой хроматографии состав флюидных включений в кварцитах Герфедского месторождения представлен CO₂ (от 10 до 44 ppm), H₂O (от 70 до 950 ppm), N₂ (от 0.0 до 2.0 ppm), CH₄ (от 4 до 20 ppm). Отношение CO₂/CO₂+H₂O колебалось от 0.04 до 0.15, а CO₂/CH₄ – от 2.2 до 3.8 (Табл. 11). Флюиды оперяющих жил с низким содержанием золота (менее 1г/т) более обогащены H₂O (от 220 до 910 ppm), CO₂ (46-86 ppm), N₂ (от 2.0 до 10 ppm), CH₄ (от 20 до 40 ppm), возрастает величина отношения CO₂/CO₂+H₂O (от 0.09 до 0.17), отношение CO₂/CH₄ не превышает 2.3. Во флюидных включениях из оперяющих жил с высоким содержанием золота (2.8 – 9.1 г/т) по данным газовой хроматографии (Табл. 11) по сравнению с первыми двумя типами кварцевых жил, отмечены повышенные количества CO₂ (от 104 до 442 ppm), H₂O (от 402 до 1600 ppm), N₂ (8.0 – 10.0 ppm), содержание метана не опускалось ниже 20 ppm.

В однофазных включениях, заполненных сжиженным газом, в процессе замораживания обнаружены твердые фазы, которые плавились в интервале температур от +13.8 до +16.1 °C. Такие температуры характерны для газогидратов метана [Collins, 1979]. Наличие метана в этих включениях также подтверждено КР-анализом, который показал, что содержание CH₄ в газовой фазе флюидов может достигать 40.1 мол. % (Табл. 11). Отношение CO_2/CO_2+H_2O во флюиде менялось от 0.18 до 0.23, а отношение CO_2/CH_4 составило интервал от 4.1 до 20.8.

Типы кварцевых жил	№ образца	Содержание, ppm		Содерж С	сание, м О	юл.% Н	Суммарное содержание газов, ррт	CO ₂ /CO ₂ +H ₂ O	CO ₂ /CH ₄	Au, r/t		
10	Г-393-51.9	44	950	2.0	20.0	1.3	32.7	66.0	1016	0.04	2.2	1.1
Кварциты, Ан<1-2 г/т	Г-393-45.5(а)	23	132	0.0	6.0	3.5	33.0	63.5	161	0.15	3.8	2.0
Au<1-2 1/1	Г-393-45.5(б)	10	70	0.0	4.0	3.5	32.0	64.5	84	0.12	2.5	2.0
Оперяющие,	Г-404-144.7	46	220	2.0	20.0	5.0	31.0	64.0	288	0.17	2.3	1.0
Аи<1 г/т	Г-393-53.7	86	910	10.0	40.0	2.6	32.0	65.4	1046	0.09	2.2	1.0
	Г-408-86.9(а)	104	464	9.0	20.0	4.0	34.0	62.0	597	0.18	5.2	2.8
Оперяющие,	Г-408-86.9(б)	122	402	8.0	30.0	6.0	33.0	61.0	562	0.23	4.1	2.8
Au=2.83-9.1	Г-406-199.6(б)	442	1600	10.0	20.0	4.0	36.0	60.0	2072	0.22	20.2	9.1
г/т	Г-406-199.8(а)	348	1500	10.0	20.0	3.3	35.4	61.3	1878	0.19	17.4	9.1
	Г-406-199.8(б)	416	1100	10.0	20.0	5.0	36.7	58.3	1546	0.27	20.8	9.1

Таблица 11. Состав флюидных включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения (по данным газовой хроматографии).

Газовая хромато-масс-спектрометрия. Методом газовой хромато-массспектрометрии определен валовый газовый состав флюидных включений в кварце (Рис. 22), пирите и пирротине (Рис. 23). Были определены H₂O, CO₂, N₂, серосодержащие (H_2S , SO_2 , CS_2 , COS, тиофены), азотсодержащие соединения, а также многочисленные углеводородные соединения: алифатических (алканы, алкены), циклических (арены), кислородсодержащих (спирты, фенолы, эфиры, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, фураны) (Приложение 8-13; табл. 12, 13). азотсодержащие соединения (нитрилы) Вода. углекислота, И серосодержащие соединения присутствуют в газовой фазе включений в разных алканы/алкены, количествах. Отношение показывающее окисленностьвосстановленность минералообразующей среды [Norman et al., 2002; Blamey, 2012; Гибшер и др., 2018], в кварце кварцитов менялось от 20.1 до 110.9, в пирите 136.5; в кварце секущих жил (Au<1 г/т) – от 19.3 до 290.4, в пирите – 2.9; в кварце секущих жил (Au=2.83-9.1 г/т) от 4.5 до 13.0, в сульфидах от 2.2. до 18.9.

Таблица 12. Состав (в отн. %) флюидных включений в кварце золотоносных и незолотоносных кварцевых жил Герфедского золоторудного месторождения (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии).

			Кварциты		Нез	олотоносный і	кварц	Золотоносный кварц			
Соединение	Название компонентов	45.5 кварц	51.9 гранул. кварц	51.9 жил. кварц	53.7 гранул. кварц	53.7 жил. кварц	404-144.7 жил. кварц	199.6 жил. кварц	199.8 жил. кварц	86.9 жил. кварц	
	Парафины (алканы)	8.69	10.95	7.54	9.87	43.56	1.25	0.98	1.07	3.62	
Алифатические	Олефины (алкены)	0.43	0.23	0.07	0.17	0.15	0.07	0.08	0.24	0.32	
углеводороды	Циклоалканы, Циклоалкены, арены, ПАУ	3.93	6.78	0.44	1.17	1.24	1.07	1.82	0.23	2.57	
Кислорол	Эфиры (простые и сложные), спирты	8.70	1.42	0.06	0.09	0.05	0.13	0.07	0.01	0.21	
кислород	Альдегиды	2.77	9.27	0.50	0.49	0.62	2.06	1.27	0.47	3.69	
содержащие соединения	Кетоны	1.53	4.31	0.30	0.50	0.17	0.60	0.83	0.08	1.43	
	Карбоновые кислоты	0.37	9.12	0.75	0.56	0.73	1.49	2.45	0.32	4.44	
	Диоксаны, фураны	1.40	1.47	0.14	0.15	0.16	0.35	0.48	0.06	0.35	
Азот содержащие соединения	Азот, аммиак, нитрилы	Н.О.	1.59	16.39	10.10	20.05	16.00	2.57	5.63	8.11	
Серо содержащие соединения	H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	18.82	8.51	3.48	11.87	3.44	6.82	0.98	1.54	1.28	
Неорганические	CO_2	51.610	12.40	56.81	27.83	16.38	62.91	78.33	80.88	61.04	
соединения	H ₂ O	1.76	33.81	13.52	37.21	13.48	7.25	10.15	9.48	12.94	
	Общее количество компонентов	67	85	89	82	86	80	93	70	94	
0	Алканы/ алкены	20.1	48.0	110.9	57.7	290.4	19.3	13.0	4.5	11.4	
Отношения	CO ₂ / (CO ₂ +H ₂ O)	0.97	0.27	0.81	0.43	0.55	0.90	0.88	0.89	0.83	

Примечание: н.о. – ниже предела обнаружения, ***Σ**1 – сумма алифатических+циклических УВ; **Σ**2 – сумма кислородсодержащих соединений+CO₂+H₂O.

Таблица 13. Состав (в отн. %) и количество (в скобках) летучих компонентов, выделившихся при механическом вскрытии флюидных включений в сульфидах Герфедского золоторудного месторождения (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии)

<u></u>		Кварциты	Незолотоносный кварц	Золотоносный кварц				
Сосдинение	Название компонентов	51.9-1- пирит	144.7-пирит	199.6- пирит	199.6- пирротин	199.8-пирит	199.8- пирротин	
	Парафины (алканы)	9.28 (15)	1.62 (12)	0.14 (12)	5.94 (14)	5.70 (15)	2.82 (14)	
A I	Олефины (алкены)	0.07 (6)	0.56 (8)	0.07 (5)	0.32 (5)	0.30 (10)	0.17 (9)	
Алифатические углеводороды	Циклоалканы, Циклоалкены, арены, ПАУ	0.56 (8)	4.15 (9)	0.27 (8)	3.31 (11)	5.66 (10)	2.23 (9)	
Кислород содержащие углеводороды	Эфиры (простые и сложные), спирты	0.11 (5)	1.12 (5)	0.08 (4)	0.48 (11)	0.79 (6)	0.48 (6)	
	Альдегиды	0.14 (12)	1.43 (14)	0.23 (14)	3.03 (15)	1.38 (16)	1.32 (15)	
	Кетоны	0.29 (7)	1.18 (6)	0.09 (6)	2.00 (10)	1.25 (8)	0.29 (8)	
	Карбоновые кислоты	0.16 (5)	2.23 (6)	0.11 (5)	4.44 (7)	2.55 (5)	0.33 (5)	
	Диоксаны, фураны	0.03 (4)	0.26 (9)	0.03 (5)	0.88 (8)	0.51 (8)	0.17 (8)	
Азотсодержащие соединения	Азот, аммиак, нитрилы	3.79 (1)	Н.О	Н.О	0.57 (1)	0.84 (1)	Н.О	
Серосодержащие соединения	H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	47.20 (15)	22.72 (14)	59.02 (16)	17.98 (18)	6.38 (16)	20.6 (15)	
Неорганические	CO ₂	32.57	27.41	31.01	42.83	38.59	37.24	
соединения	H ₂ 0	5.77	37.31	8.98	18.23	36.07	34.32	
	Общее количество компонентов	80	85	77	102	97	91	
Отношения	Алканы/алкены	136.5	2.9	2.2	18.7	18.9	16.6	
	$\overline{CO_2/(CO_2+H_2O)}$	0.85	0.42	0.78	0.30	0.52	0.52	



Рис. 22. Относительное содержание углеводородов (алифатических, циклических и кислородсодержащих), CO₂, H₂O, серо- и азотсодержащих соединений в кварце Герфедского месторождения. а,б – жильный кварц из кварцитов Г-393-45.5, Г-393-51.9; в, г – жильный кварц из оперяющих жил (Au<1 г/т) Г-393-53.7, Г-404-144.7; д, е – жильный кварц из оперяющих жил (Au=2.8-9.1 г/т) Г-406-199.8, Г-408-86.9.



Рис. 23. Относительное содержание углеводородов (алифатических, циклических и кислородсодержащих), CO₂, H₂O, серо- и азотсодержащих соединений в сульфидах Герфедского месторождения (а – в пирите кварцитов, б – в пирите оперяющих жил (Au<1-2 г/т), в – в пирите оперяющих жил (Au=2.8-9.1 г/т).

Панимбинское месторождение. Методом газовой хроматографии в газовой составляющей флюидных включений в кварце жил месторождения Панимба определены: H_2O , CO_2 , CH_4 и N_2 (Табл. 14), при этом углекислота и вода преобладали в составе флюидов. Содержание CO_2 (в ppm) менялось от 8 до 322, H_2O от 340 до 1100, CH_4 от 0.6 до 10, $N_2 - 0.0$ -20. Значения водноуглекислотного коэффициента (CO_2/CO_2 + H_2O) менялись от 0.01 до 0.45, а CO_2/CH_4 от 1.1 до 161 [Рябуха, 2013; Гибшер и др., 2017].

Результаты раман-спектроскопических исследований газовой фазы индивидуальных флюидных включений представлены в таблице 15. В газовой составляющей флюидных включений по данным КР-спектроскопии было выявлено присутствие трех основных компонентов: CO₂, CH₄ и N₂ (Рис. 24). В некоторых флюидных включениях обнаружены сероводород (H₂S), бензол (?) (C₆H₆) (Рис. 24 б). По данным КР-спектроскопии содержание (в мол. %) CO₂ колебалось от 0.0 до 100, CH₄ – от 0.0 до 100, a N₂ – от 0.0 до 73.2. Треть проанализированных включений содержит либо только углекислоту, либо только метан [Рябуха, 2013; Гибшер и др., 2017].

№ образца,	Содержание, мг/кг (ррт) Сумм		Суммарное содержание		CO /CH	Au,		
цвет кварца*	CO_2	H_2O	N_2	CH_4	газов, мг/кг	$CO_2/CO_2^+\Pi_2O$	CO_2/CH_4	Γ/T
Пн 1 (прозр)	73	790	5.0	3.0	871	0.08	24.3	0.4
Пн 2 (сер)	63	960	4.0	0.7	1027.7	0.05	90	0.1
Пн 3 (сер)	11	943	0.0	0.6	954.6	0.01	18.3	0.1
Пн 4 (сер)	22	620	0.0	4.0	646	0.03	5.5	1.2
Пн 5 (прозр)	8	410	0.0	0.7	418.7	0.02	11.4	0.4
Пн 6 (сер)	11	340	0.0	10.0	361	0.03	1.1	8.3
Пн 6 (сер)	39	450	0.0	10	499	0.08	3.9	
Пн 7 (сер)	102	1100	8.0	10.0	1220	0.08	10.2	0.3
Пн 8 (сер)	84	680	5.0	1.0	770	0.11	84	0.4
Пн 12 (сер)	43	580	3.0	2.0	628	0.07	21.5	15.1
Пн 12 (сер)	48	740	6	3	797	0.06	16	15.1
Пн 14 (бел)	162	680	20.0	7.0	869	0.19	23.2	0.6
Пн 15 (бел)	62	490	6.0	2.0	560	0.11	31	0.1
Пн 17 (бел)	82	470	5.0	10.0	567	0.15	8.2	2.5
Пн 18 (сер)	122	480	9.0	4.0	615	0.20	30.5	0.9
Пн 20 (сер)	322	400	6.0	2.0	730	0.45	161	0.1

Таблица 14. Состав флюидных включений в кварце Панимбинского месторождения, Енисейский кряж (по данным газовой хроматографии)

Примечание: * цвет кварца: сер. – серый, бел. – белый, прозр. – прозрачный. Пн 1- скв. 63; Пн 2- скв. 66; Пн 3 – Пр 8 – скв. 145; Пн 12, Пн 14, Пн 15, Пн. 17, Пн 18 – скв. 191; Пн 20 – скв. 194. Температура газовыделения 600°С. навеска 300 мг; Аналитик: Фомина Л.Н., Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск.

Таблица 15. Результаты микротермометрических и КР-спектроскопических исследований индивидуальных флюидных включений в кварце Панимбинского золоторудного месторождения

No of popula*	Мо рин	Талара °С	Тчаст.	Вид	Содеј	Αυ τ/τ				
л⊻ооразца	JN≌ BKJI.	тплавл., С	гом., °С	гомоген.**	CO_2	CH_4	N_2	1 xu, 1/1		
	1	-56.9	13.1	ж	98.2	0.0	1.8			
	2	-56.7	11	ж	100	0.0	0.0			
	3	-	-	-	0.0	100	0.0	0.3		
Пн 7 (1)	4	-56.8	13.0	ж	98.0	0.1	1.9			
	5	-95.0	-	-	0.0	33.9	66.1			
	6	-	-	-	48.4	10.1	41.5			
	7	-	-	-	99.0	1.0	0.0			
	1	-	-83.9	ГЖ	0.0	91.2	8.8			
	2	-	-83.9	ГЖ	0.0	100	0.0			
	4	-	-83.7	ГЖ	0.0	100	0.0			
	5	-	-83.7	ГЖ	0.0	100	0.0			
Пн 7 (2)	6	-	-113.9	ж	0.0	26.8	73.2	0.3		
	7	-	-	-	0.0	100	0.0			
	8	-	-	-	0.0	100	0.0			
	9	-	-112.0	ГЖ	0.0	29.1	70.9			
	10	-	-112.5	ГЖ	0.0	28.4	71.6			
	1	-56.7	-6.4	ж	100	0.0	0.0			
	2	-56.9	-7.6	ж	100	0.0	0.0	0.4		
Пн 8 (3)	3	-	-	-	0.0	100	0.0			
11H 8 (<i>3</i>)	4	-	-	-	0.0	100	0.0			
	5	-56.6	-3.4	ж	100	0.0	0.0			
	6	-57.4	-12.5	ж	97.8	2.2	0.0			
$\Pi_{\rm H}$ 12 (2)	1	-75.3	-	-	33.4	52	14.6	15.1		
11H 12 (2)	2	-75.3	-	-	29.8	55.6	14.6	13.1		
Пн 12 (3)	1	-58.6	-9.0	ж	100	0.0	0.0	15.1		
	1	-56.6	-5.0	ж	99.7	0.3	0.0	15.1		
	2	-59.7	-8.5	ж	59.7	29.3	11.0			
	3	-58.4	2.0	ж	97.9	2.1	0.0			
	4	-57.8	6.0	ж	99.3	0.7	0.0			
Пн 12(5)	5	-57.8	2.0	ж	99.0	1.0	0.0			
	6	-57.8	-3.4	ж	98.4	1.6	0.0			
	7	-57.3	-15.3	ж	99.2	0.8	0.0	15.1		
	8	-56.7	-19	ж	99.8	0.2	0.0			
	9	-	-	-	100	0.0	0.0			
	1	-	-	-	0.0	100	0.0			
Пн 15 (а)	2	-	-	-	0.0	100	0.0	0.1		
1111 15 (u)	3	-	-	-	81.6	0.0	18.4	0.1		
	4	-	-	-	100	0.0	0.0			
$\Pi_{\rm H} 17(1)$	1	-65.0	-	-	94.5	5.5	0.0	25		
IIII I / (I)	2	-67.4	-12.2	ж	90.0	10	0.0	2.3		
	1	-59.6	-18.0	ж	94.1	3.3	2.6			
	2	-59.3	9.4	ж	95.1	4.9	0.0			
$\Pi_{\rm H} 17(2)$	3	-59.3	9.4	ж	94.7	5.3	0.0	2.5		
11H 1/(2)	4	-59.1	11	ж	95.4	4.6	0.0			
	5	-59.1	11	ж	95.7	4.3	0.0			
	6	-59.1	11	ж	90.1	9.9	0.0			
Пн 17 (3)	1	-	-	-	96.5	3.5	0.0	2.5		

	2	-	-	-	94.6	5.4	0.0	
	3	-	-	-	96.4	3.6	0.0	
	4	-	-	-	95.7	4.3	0.0	
	1	-59.1	-3.9	ж	97.5	2.5	0.0	
	2	-59.5	-7.7	ж	0.0	53.7	46.3	
Пн 17 (4)	3	-59.3	-3.9	ж	88.3	11.7	0.0	2.5
	4	-	-	ж	10	90	0.0	
	6	-	-	ж	0.0	100	0.0	
	1	-56.6	11.5	ж	100	0.0	0.0	
Пн 20 (1)	2	-58	-9	ж	99.1	0.9	0.0	
	3	-56.6	-	-	100	0.0	0.0	0.1
	4	-56.6	-	-	100	0.0	0.0	0.1
	5	-56.6	_	-	100	0.0	0.0	
	6	-56.6	-	-	100	0.0	0.0	

Примечание: *: Пн 7, Пн 8 – скв. 145; Пн 12, Пн 15, Пн 17 – скв. 191; Пн 20 – скв. 194; цифры в скобках – номер фрагмента пластинки. **Вид гомогенизации: г – в газовую фазу, ж – в жидкую фазу, гж – с критическими явлениями



Рис. 24. КР-спектры газовой фазы индивидуального флюидного включения в кварце кварцевых жил Панимбинского месторождения (Енисейский кряж).

хромато-масс-спектрометрия. Методом Газовая хромато-массспектрометрии изучен состав углеводородов во флюидных включениях в сульфидах кварцево-жильных образований Панимбинского кварце И месторождения. Во всех проанализированных образцах обнаружены вода, разнообразные углеродистые углекислота, также соединения: азот, а алифатические (алканы, алкены), циклические (арены, фенолы), кислородсодержащие (спирты, эфиры, карбоновые альдегиды, кетоны,

кислоты, фураны), а также азот- и серосодержащие вещества [Гибшер и др., 2017] (Приложение 14-25; табл. 16; Рис. 25).



Рис. 25. Относительное содержание углеводородов (алифатических, циклических и кислородсодержащих), CO₂, H₂O, серо- и азотсодержащих соединений во флюидных включениях в кварце и пирротине Панимбинского месторождения. УВ – сумма углеводородов; N-содержащие соединения – азотсодержащие соединения; S-содержащие соединения.

Таблица 16. Состав (в отн. %) флюидных включений в кварце и сульфидах Панимбинского золоторудного месторождения (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии).

Название	MW	П	н 4	Π	н 7	Пн	ı 12	Пн	ı 19	Пн 6	Пн 6
		кварц	пирротин	кварц	пирротин	кварц	пирротин	кварц	пирротин	кварц	пирротин
Алифатические углеводороды:		25.08	3.68	2.80	6.64	10.83	4.93	11.77	3.22	33.0	9.42
Парафины (CH ₄ -C ₁₉ H ₄₀)	16-268	23.95	3.00	2.58	6.39	8.06	4.88	11.66	3.14	30.1	9.19
Олефины (C ₄ H ₈ -C ₁₂ H ₂₄)	56-168	1.13	0.68	0.22	0.25	2.77	0.05	0.11	0.08	2.9	0.23
Циклические углеводороды:		2.46	4.15	0.36	1.90	2.44	0.3	0.11	0.56	1.74	0.86
Арены (С ₆ H ₆ -С ₁₃ H ₂₀)	78-176	2.46	4.15	0.36	1.90	2.44	0.3	0.11	0.56	1.74	0.86
Кислородсодержащие											
углеводороды:		51.11	8.27	3.83	3.05	24.45	0.29	1.16	1.68	27.01	2.38
Спирты и эфиры (CH ₄ O-C1 ₈ H ₂₆ O ₄)	32-306	2.22	0.85	0.14	0.14	1.34	0.02	0.24	0.26	0.92	0.20
Альдегиды (C ₄ H ₄ O-C ₁₂ H ₂₄ O)	44-184	33.38	1.89	1.71	0.63	18.4	0.10	0.49	0.29	16.29	0.46
Кетоны (C ₃ H ₆ O- C ₁₀ H ₂₀ O)	58-156	12.97	1.97	1.72	0.69	4.47	0.06	0.42	0.79	9.30	0.63
Карбоновые кислоты (С2H4O2-	60-116	2.54	3.56	0.26	1.59	0.24	0.11	0.01	0.34	0.50	1.09
$C_6H_{12}O_2$)											
Гетероциклические соединения:		6.56	1.24	0.56	0.25	3.09	0.07	0.12	0.34	3.85	0.39
Фураны (C ₅ H ₆ O-C ₁₂ H ₂₀ O)	68-180	6.56	1.24	0.56	0.25	3.09	0.07	0.12	0.34		0.39
Азотсодержащие соединения (N ₂ -	28-147	1.16	0.05	н.о.	0.11	н.о.	1.07	2.06	1.19	н.о.	0.04
$C_8H_5NO_2)$											
Серосодержащие соединения	60-182	4.27	1.78	1.19	0.43	2.15	4.82	0.21	1.21	9.36	1.27
$(\hat{\text{COS-C}}_{11}\hat{\text{H}}_{18}\text{S})$											
CO ₂	44	4.77	51.94	70.33	55.88	56.28	60.91	68.99	72.56	8.84	36.24
H ₂ O	18	4.60	28.77	21.01	31.74	1.73	27.09	15.58	19.34	16.29	41.92
Общее количество компонентов		66	85	64	95	66	44	64	69	81	81
$CO_{2}/(H_{2}O+CO_{2})$		0.51	0.64	0.77	0.64	0.97	0.69	0.82	0.79	0.35	0.46
Алканы/Алкены		21.2	4.4	11.7	25.6	2.9	98.6	106	39.3	10.4.0	40.0

Примечание: ММ – номинальная масса; н.о. – ниже предела обнаружения; Пн 4, Пн 6, Пн 7 – скв. 145; Пн. 12, Пн 19 – скв. 191.



Рис. 26. Состав летучих компонентов из флюидных включений в кварце и сульфидах Панимбинского месторождения в системе С-О-Н (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии).

В основном, состав газовой составляющей органических соединений идентичен как в кварце, так и сульфидах, на что указывают полученные результаты, представленные в системе С-О-Н, где они образуют единое поле, которое можно интерпретировать как наличие близкого источника их генерации (Рис. 26). Вместе с тем, серосодержащие соединения (тиофены) присутствуют в основном в сульфидах – также как и азотсодержащие соединения. присутствующие во флюидных включениях сульфидов И отсутсвующие в кварце. Такой разнообразный состав УВ мог быть связан с особенностями процессов первичного осадкообразования и зеленосланцевого и эпидот-амфиболитового метаморфизма на Панимбинском рудном узле и, возможно, с вкладом глубинных источников углерода, связанных с коровыми процессами.

В газовой фазе включений из сульфидов доля CO₂ больше, а H₂O меньше, чем в кварце, о чем свидетельствуют значения углекислотно-водного

коэффициента [CO₂/(CO₂+H₂O)] (табл. 16). Во флюидах сульфидов он колеблется от 0.46 до 0.79, а в кварце – от 0.35 до 0.97. В целом рудообразующие флюиды носили восстановительный характер, что подтверждается высокими показателями отношения алканы/алкены: во флюидах месторождения оно изменяется от 2.9 до 109 [Гибшер и др., 2017].

5.4. Изотопный состав серы

Результаты изотопного анализа серы сульфидов представлены в таблице 17 и изображены на рисунке 27. Как видно из приведенных данных, изотопный состав серы сфалерита, пирита, халькопирита и галенита на *Богунайском месторождении* изменяется в достаточно узком интервале от 0.8 до 3.5 ‰, при этом 80% определений группируется в ещё более узком интервале: от +2.0 до +3.0 ‰. По изотопным отношениям сульфиды месторождения группируются около нулевого уровня и не выходят за пределы значений коровой серы гранитоидов [Ohmoto, Rye, 1979]. Это может указывать на то, что сера, скорее всего, привносилась в область рудоотложения из внешнего резервуара, который был гомогенезирован на глубине.

Сульфиды *Герфедского месторождения* (пирротин, пирит) имеют изотопные значения серы от +7.2 до +9.1 ‰, что выше значений серы мантийного происхождения ($\delta S^{34}=0$ -+3 ‰) и близко к значениям тяжёлой осадочной серы $\delta^{34}S$, что может указывать на существенный вклад серы из богатых органикой вмещающих толщ. Для оперяющих жил с содержанием Au < 2 г/т значения изотопов $\delta^{34}S$ определены следующие: +7.2, +7.5, +7.6, +8.0. Для оперяющих с содержанием Au =2.8-9.1 г/т сера пирротина и пирита показала одинаковые значения +9.1.

Все значения изотопов серы сульфидов *Панимбинского месторождения* находятся в интервале от +3.6 до +11.7 ‰, выходя за пределы изотопных значений серы гранитоидов (Рис. 27).

№ образца	Минерал	δ ³⁴ S,‰ (CDT)							
	Богунайское месторождение								
499001	сфалерит	3.5							
Б-17	сфалерит	2.7							
Б-17	пирит	3.0							
Б-19	сфалерит	2.1							
Б-19	халькопирит	2.0							
Б-19	пирит	2.2							
Б-23	сфалерит	2.7							
Б-23	пирит	2.2							
Б-25	пирит	2.8							
13-39	галенит	0.8							
	Герфедское месторождени	e							
Г-406-199.6	пирит	9.1							
Γ-406-199.8	пирит	9.1							
Γ-406-199.8	пирротин	9.1							
Γ-404-144.7	пирит	7.6							
Γ-404-144.7	пирротин	7.2							
Γ-393-53.7	пирит	8.0							
Γ-393-53.7	пирротин	7.5							

Таблица. 17. Изотопный состав серы сульфидов из кварцевых жил Богунайского и Герфедского золоторудных месторождений Енисейского кряжа

Примечание: анализы выполнены в Институте геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск. Аналитики: В.Н. Реутский, М.Н. Колбасова.



О-пирротин; ● - пирит; О - халькопирит; ◆ - арсенопирит; О - сфалерит; △ - галенит

Рис. 27. Изотопный состав серы сульфидов Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений Енисейского кряжа. Изотопный состав серы гранитоидов приведен по данным [Ohmoto, Rye, 1979; Groves, Foster, 1991]

Все значения изотопов серы сульфидов Панимбинского месторождения находятся в интервале от +3.6 до +11.7 ‰, выходя за пределы изотопных значений серы гранитоидов (Рис. 27). Согласно сделанным анализам, значения (δ^{34} S) пирита из кварцевых жил ложатся в интервал от +1.2 до +11.7 (10 анализов), пирротина от +1.6 до +8.7 (13 анализов), арсенопирита +4.6 и халькопирита – +4.5 ‰ [Гибшер и др., 2017], что характеризует эти сульфиды как образованные из единообразных источников. Величины изотопов серы сульфидов из вмещающих сланцев следующие: пирротин +0.9 и +4.4, пирит +0.9 ‰. Приведенные величины дают основание полагать, что при формировании сульфидов, наряду с серой глубинного источника, заметную роль играла заимствованная гидротермальными растворами тяжелая сера из вмещающих сланцев [Ли, 1979].

5.5. Изотопный состав углерода

Изотопный состав углерода углекислоты из включений в кварце и жильного кальцита анализировался на Герфедском (табл. 18), Панимбинском и Богунайском месторождениях. Для *Герфедского месторождения* в целом характерны достаточно широкие вариации значений (δ^{13} C): -18.6 ... -3.0 ‰. При этом, средние значения изотопов углерода для кварцитов составляют (-13.4 ‰), для оперяющих жил с низким содержанием золота (-10.1 ‰), для кварца оперяющих жил с высокой концентрацией золота (-7.0 ‰) (Рис. 28). Для кварцитов изотопы углерода имеют минимальные значения: (-17.7 ‰), приближаясь к изотопам органического углерода (-26 ‰). Утяжеление изотопов углерода коррелируется с повышением содержания золота в кварце, приближаясь к мантийным значениям (-3...-8 ‰), среднее (-6 ‰).



Рис. 28. Изотопный состав углерода углекислоты из флюидных включений в кварце Герфедского месторождения 1– кварциты, Au<1-2 г/т; 2 – оперяющие кварцевые жилы, Au<1 г/т; 3 – оперяющие кварцевые жилы, Au=2.8-9.1 г/т.

Таблица. 18. Изотопный состав углерода углекислоты из включений в кварце Герфедского золоторудного месторождения

Тип кварцевых жил	№ образца	δ^{13} C (CO ₂) (VPDB), ‰
	Г-393-45.5а	-15.5
Кварциты, Аи <1-2 г/т	Г-393-45.5б	-17.7
	Г-393-51.9	-6.9
	Γ-407-144.7	-14.4
0	Г-39-53.7	-18.6
Оперяющие жилы, Аи< 1 171	Г-408-86.9а	-4.5
	Г-408-86.9б	-3.0
0	Г-406-199.6	-5.2
Оперяющие жилы, Au=2.8-	Г-406-199.8а	-7
9.11/1	Г-406-199.8б	-8.9

На *Панимбе* изотопный состав углерода был определен в 9 образцах кальцита из карбонатных жил. Для них δ¹³С составил интервал от -1.97 до +3.53 ‰.

5.6. Изотопный состав гелия

Изотопный состав гелия во флюидных включениях в кварце *Богунайского месторождения* определен в образцах Красноярской минерализованной зоны (Б-18) и Центрального участка (13-49). Для палеофлюидов Красноярской зоны установленные вариации отношения ³He/⁴He составили значение – (0.37±0.07)х10⁻⁶, свидетельствуя о низкой (2.9%) доле мантийного гелия ³He. На

Центральном участке ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$ составило $(0.05\pm0.02)\times10^{-6}$, что соответствует доле мантийного гелия в 0.25 % (табл. 19).

Месторождение	№образца	³ He/ ⁴ He•10 ⁻⁶ , см ³ /г	³ He•10 ⁻¹² , см ³ /г	⁴ He•10 ⁻⁶ , см ³ /г	Доля мантийного ³ He, %
Богунайское, Красноярская зона	Б-18	0.37±0.07	0.19	0.50	2.9
Богунайское, Центральный участок	13-49	0.05±0.02	0.08	1.60	0.25
Панимбинское	Пн 12	0.59±0.2	0.06	0.11	4.8
Герфедское	Г-406-199.6	0.14±0.03	0.052	0.38	1.0

Таблица 19. Изотопный состав гелия во флюидных включениях Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений Енисейского кряжа.

Изотопный состав гелия, определенный во флюидных включениях в кварце *Герфедского месторождения* из оперяющх жил с содержанием Au 9.1 г/т (Г-406-199.6), составил значения ³He*10⁻¹²(см³/г)=0.052, ⁴He*10⁻⁶(см³/г)=0.38, отношение ³He/⁴He=(0.14±0.03)*10⁻⁶. Доля мантийного гелия (³He=1.0 %), что отвечает преимущественно коровой природе гелия.

На Панимбинском месторождении изотопный состав гелия был определен во флюидных включениях в кварце с содержанием золота 15.1 г/т (образец № Пн 12). Отношение (³He/⁴He) в нём составило значение (0.59±0.2)х10⁻⁶, где доля мантийного гелия – 4.75 % (мантийный гелий ³He*10⁻¹²=0.06, радиогенный ⁴He*10⁻⁶=0.11 см³/г) (табл. 19). Низкое содержание мантийного гелия может указывать на коровый источник золотоносного флюида.

5.7. Возраст формирования месторождений

Богунайское месторождение. Из кварц-золоторудных жил Красноярской минерализованной зоны Богунайского месторождения был определен Ar-Ar возраст серицитов. Образцы были отобраны с флангов и в центральной части по разрезу канавы № 26 вкрест простирания зоны. В

серицитах северного фланга выделяется возрастное плато со значением 466.0±3.2 млн. лет, на южном – 464.5±3.3 млн. лет. В центральной части определён более молодой возраст (461.6±3.1 млн. лет) (Рис. 29).



Рис. 29. Спектры ⁴⁰Ar/³⁹Ar возрастов серицитов (а – северный фланг, б – центральная часть, в – южный фланг) из кварцевых жил Красноярской минерализованной зоны и биотита (г) гиперстенового гнейса Богунайского рудного поля.

Соответственно, общая продолжительность функционирования гидротермальной системы при формировании Красноярской минерализованной зоны составляет от 4.3 до 4.5 млн. лет.

Панимбинское месторождение. Аг-Аг методом определен возраст серицитов Панимбинского месторождения в образце № Пн 12.

Возраст формирование Панимбинского золоторудного месторождения, определенный в сериците кварцево-жильных образований из 191-й скважины (обр. Пн 12), составляет 817.2±5.3 – 800.4±5.1 млн. лет (Рис. 30) [Гибшер и др., 2017]. Время образования этого месторождения совпадает с развитием основной надвиговой системы Енисейского кряжа (Панимбинско-

Шалакитской) в вероятном временном диапазоне 826–798 млн. лет [Тишин и др., 2005; Сазонов и др., 2010].



Рис. 30. Спектр ⁴⁰Ar/³⁹Ar возрастов серицитов из кварцевых жил золоторудного месторождения Панимба (Енисейский кряж): серициты из образца Пн 12 из скважины 191.

Возраст регионального метаморфизма вмещающих пород, датированный по цирконам (U-Pb метод) и мусковитам (Ar-Ar метод), оценен в 960±32–889.0±26.6 млн. лет. Гранитообразование и сопутствующий контактовый метаморфизм произошли 868.9±6.5 млн. лет. [Сильянов и др., 2018].

Герфедское месторождение. Аг-Аг возраст серицитов на Герфедском месторождении составляет 722.9±4.6–665.0±4.2 млн. лет [Гарьковенко, 2015]. Возраст ближайшего Татарского гранитоидного массива, определённый U-Pb-методом по цирконам: 629±7 млн. лет [Верниковский и др., 2006] и 630–625 млн. лет [Ножкин и др., 2008].

Глава 6. Обсуждение полученных результатов

Рассматриваемые в работе орогенные золоторудные месторождения расположены на Енисейском кряже, который относится к докембрийским отложениям и является частью байкальской коллизионной складчатости, обрамляющей древнюю Сибирскую платформу. Породы, вмещающие золотоносные месторождения, представляют собой нижнепротерозойские гранулиты канской серии (Богунайское) и протерозойские кристаллические сланцы эпидот-амфиболитовой фации кординской свиты (Панимбинское) и зеленосланцевой фации пенченгинской свиты (Герфедское). Герфедское и Панимбинское месторождения приурочены непосредственно к Татарско-Ишимбинской разломной надвиговой зоне палеозойского возраста.

Р-Т параметры, состав флюида. Результаты микротермометрического флюидных включений в кварце и сульфидах показали, изучения ЧТО золотосодержащие кварцевые жилы месторождений кристаллизовались из Mg-Са-Na-Cl-содержащих водно-углекисло-углеводородных гомогенных И гетерогенных флюидов при близких температурах, солености и давлении: Богунайское месторождение формировалось при 210-350°C, солености 2 – 19 мас. %, NaCl-экв., давлении 0.1 до 1.6 кбар; Герфедское – при 200-400 °C, солености 0.5 – 23.3 мас. %, NaCl-экв., давлении 0.1–2.5 кбар; Панимбинское – при температурах 180-410°C, солености 0.5 – 23 мас. %, NaCl-экв., давлении 0.2 - 3.3 кбар (Рис. 31). Водный раствор включений был обогащен хлоридами Na, Mg, Ca, Fe. При этом температуры гомогенизации большинства первичных и первично-вторичных флюидных включений на всех трех месторождениях находятся в интервале 250-350 °C.

Поскольку высокосоленые включения в кварце являются вторичными, то, очевидно, что законсервированные в них солевые (H₂O+NaCl+CaCl₂±FeCl₃) растворы являлись поздними, наложенными на более ранние кварцевые
образования. Согласно [Bodnar et al., 2014], их источником могли быть солёные подземные метеорные воды, нагретые теплом и энергией, поступающими при внедрении и кристаллизации близлежащих интрузий.



Рис. 31. Соленость минералообразующих флюидов, формировавших Богунайское, Герфедское и Панимбинское золоторудные месторождения Енисейского кряжа.

Минералообразующий флюид на месторождениях содержал переменное количество воды, углекислоты, углеводородов и их производных (Рис. 32 А). Причем, несмотря на разный возраст и степень метаморфизма вмещающих пород и разный возраст самих золоторудных месторождений, составы флюидов, формировавших эти месторождения, оказались достаточно близкими, что, по-видимому, так же говорит о единообразии источников. Следует отметить, что близкие данные по составу флюидов были получены и для ряда других золоторудных месторождений Енисейского кряжа: Советского, Эльдорадо, Олимпиадинского и др. (Рис. 32 Б) [Гибшер и др., 2018, 2019; Бульбак и др., 2020 и др.].



Рис. 32. А - диаграмма С-О-Н, иллюстрирующая составы флюидов, формировавших Богунайское, Герфедское и Панимбинское золоторудные месторождения Енисейского кряжа; Б - диаграмма С-О-Н, иллюстрирующая составы флюидов, формировавших Советское, Эльдорадо и Олимпиадинское золоторудные месторождения Енисейского кряжа [Гибшер и др., 2018, 2019; Бульбак и др., 2020 и др.].

Углекислота. Для всех месторождений отмечаются вариации содержания углекислоты в составе минералообразующего флюида. Вместе с тем наблюдается положительная связь между количеством углекислоты $[X_{CO2}=CO_2/(H_2O+CO_2)]$ во флюидах и содержанием золота в кварце. Наличие такой связи отмечалось и на других золоторудных объектах Енисейского кряжа [Томиленко, Гибшер, 2001; Tomilenko et al., 2010; Гибшер и др., 2011], а также на золоторудных месторождениях мира [Robert, Kelly, 1987; Ridley et al., 1996; Mernagh, Bierlein, 2008].

Согласно исследованиям, величина X_{CO2} для кварцевых жил Богунайского месторождения менялась от 0.10 до 0.15, при увеличении содержания Au в кварце от 0.68 до 5.39 г/т., на Герфедском месторождении для субсогласных кварцитов X_{CO2} изменялась в интервале от 0.04 до 0.15. Во флюидах оперяющих кварцевых жил с низким содержанием золота (менее 1 г/т) эта величина колебалась от 0.09 до 0.17, а в оперяющих кварцевых жилах с содержанием золота (2.8-10 г/т) достигала значений 0.18–0.27. Для Панимбы значения X_{CO2} 109

изменялись ещё в более широком интервале: от 0.01 до 0.45, свидетельствуя о сложной флюидной обстановке при отложении золота в кварцевых жилах.

Наряду с вариациями содержания СО2 менялись и окислительновосстановительные характеристики золотоносных флюидов. На это указывают КР-спектроскопических результаты И хромато-масс-спектрометрических анализов флюидных включений в кварце и сульфидах: помимо воды и углекислоты них определены алифатические, циклические В И кислородсодержащие углеводороды. Такие углеводороды и их производные (парафины, олефины, нафтены, арены, альдегиды, кетоны и фураны) во флюидных включениях сульфидов И кварца являются индикаторами восстановительных условий минералообразования на месторождениях. Об минералообразования окислительно-восстановительных условиях на месторождениях может указывать также отношение алканы/алкены во флюидах [Norman et al., 2002; Blamey, 2012; Гибшер и др., 2018]. Во флюидах месторождения Панимба этот показатель меняется в широком диапазоне от 2.9 до 109 Гибшер и др., 2017]; во флюидах кварцитов Герфедского месторождения отношение менялось от 20.1 до 136.5; в секущих жилах 2.9 до 290.4. свидетельствуя 0 высокой химической динамике процесса рудоотложения. Для Богунайского месторождения – это отношение имело небольшой разброс в значениях от 9.8 до 53.0. Для сравнения во флюидах Олимпиадинского месторождения отношения алканы/алкены оценены от 1.1 до 30.9, т.е. флюиды отвечают восстановленному состоянию [Гибшер и др., 2019].

Углеводороды и их роль в формировании золотого оруденения. В последнее время все больше появляется работ, посвященных рассмотрению роли углеродсодержащего органического вещества растворении, В транспортировке, осаждении И накоплении золота при формировании орогенных золоторудных месторождений [Gaboury, 2021]. В работах [Williams-Jones et al., 2009; Migdisov et al., 2017] приведены данные, свидетельствующие возможности переноса растворённых форм золота углеводородами в 0 110 значительных и необходимых концентрациях для формирования золоторудных месторождений. Прямым доказательством активного участия углеводородов в формировании золоторудных месторождений являются данные по составу летучих непосредственно в самородном золоте Советского месторождения [Бульбак и др., 2020]. По данным хромато-масс-Енисейского кряжа спектрометрического анализа во флюидных включениях в самородном золоте, помимо воды и углекислоты, были обнаружены алифатические и циклические углеводороды (парафины, олефины, циклические алканы и алкены, арены, полициклические ароматические углеводороды), кислородсодержащие углеводороды (спирты, эфиры, фураны, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты), а также азот-, серо- и галогенсодержащие соединения. Причем доля углеводородов и их производных в составе флюидных включений в золоте достигает 52-85 отн. %. В восстановительной обстановке перенос золота и других металлов может осуществляться в форме гидросульфидных и металлоорганических комплексов (например, $(CH_3)_3Au$, $((CH_3)_2AuSCSOC_2H_5)$, [Au(S₂O₃)]⁻¹, [Au(HS₂)]⁻¹, [Au(CN₂)]⁻¹, [Au(NH₃)₄](NO₃) [Слободской, 1981; Марчук, 2008; Ляхов, Павлунь, 2013]). Эти соединения легко распадаются в процессе рудоотложения, в результате чего кристаллизуется золото И сульфиды, а транспортеры – углеводороды остаются В растворе И захватываются кристаллизующимися кварцем и сульфидами в виде включений [Буслаева, Новгородова, 1989, 1992; Зубков, 2001; Schwandner et al., 2013]. Мы полагаем, что присутствие углеводородов и их производных в составе рудообразующих флюидов имело решающее значение для формирования золоторудных месторождений Енисейского кряжа. Резкие перепады давления, увеличение температуры И изменение окислительно-восстановительных условий (присутствие веществ-восстановителей) [Кубракова и др., 2022] в зонах глубинных разломов могли привести к распаду металлоорганических золотосодержащих комплексов и осаждения золота из них в наиболее термодинамических обстановках. благоприятных В данном случае: В

111

сланцах Герфедского и Панимбинского углеродисто-терригенных И В гранулитах Богунайского месторождений. Таким образом, мобилизация и богатых углеводородами транспортировка золота В флюидах В виде элементоорганических соединений и/или коллоидных нано частиц в настоящее время считается потенциально эффективным процессом рудообразования [Слободской, 1981; Williams-Jones et al., 2009; Migdisov et al., 2017; Гибшер и др., 2017; Gaboury, 2021].

Изотопия. Изотопия гелия, серы и углерода является ключевым фактором в определении источника минералообразующих флюидов и золота. На коровый источник золотоносных растворов на изученных золоторудных месторождениях Енисейского кряжа указывает изотопный состав гелия из флюидных включений в кварцевых жилах (табл. 20).

На Герфедском месторождении *изотопы гелия* определены из флюидных включений в кварце из оперяющих жил с содержанием Au=9.1 г/т и составили значение ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}=(0.14\pm0.03)*10^{-6}$, в данном случае доля мантийного гелия не превышает ${}^{3}\text{He}=1.0$ %.

На Панимбинском месторождении изотопы гелия были определены из флюидных включений в кварце с содержанием золота (15.1 г/т). В них отношение (³He/⁴He)=(0.59±0.2)*10⁻⁶, где доля мантийного гелия определена как 4.75 %.

Для Красноярской зоны и Центрального участка Богунайского месторождения отношение ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$ составило $(0.37\pm0.07)*10^{-6}$ и $(0.05\pm0.02)*10^{-6}$, что соответствует доле мантийного гелия 2.9 и 0.25 %, соответственно.

Нужно отметить, что ³He/⁴He в мантии Земли оценивается в 12x10⁻⁶ [Халенёв, 2010], а в континентальной коре составляет 0.02x10⁻⁶ [Икорский и др., 2014]. Согласно [Кряжев, 2017] доля мантийной компоненты He в рудообразующих флюидах в золоторудных месторождениях гигантах не превышает 10 %. Например, доля мантийного гелия на Советском месторождении составляет 1% [Tomilenko et al., 2010], Олимпиадинском – 0.25

% [Гибшер и др., 2019], Эльдорадо – 12 % [Гибшер и др., 2018], Благодатном – 1.0 % [Shaparenko et al., 2021], что однозначно свидетельствует о коровом источнике минералообразующих флюидов на этих месторождениях (табл. 20).

Месторождение	№ образца	³ He/ ⁴ He•10 ⁻⁶ , см ³ /г	³ He•10 ⁻¹² , см ³ /г	⁴ Не•10 ⁻⁶ , см ³ /г	Доля мантийного ³ He, %
Богунайское, Красноярская зона	Б-18	0.37±0.07	0.19	0.50	2.9
Богунайское, Центральный участок	13-49	0.05±0.02	0.08	1.60	0.25
Панимбинское	Пн 12	0.59±0.2	0.06	0.11	4.8
Герфедское	Г-406-199.6	0.14±0.03	0.052	0.38	1.0
Эльдорадо <i> Гибшер и др.,</i> 2018]	Эл-2.630.2	1.35±0.2	0.035	0.026	11.1
Олимпиада <i>[Гибшер и др.,</i> 2019]	503-39	0.05±0.01	2.8	56.0	0.25
Советское [Tomilenko et al., 2010]	381	0.053	-	-	0.3
	283	0.075	-	-	0.6
	3624	0.022	-	-	0.02
Благодатное [Shaparenko et al., 2021]	Бл-100/2163	0.14±0.3	0.12	0.85	~1.0

Таблица 20. Изотопный состав гелия во флюидных включениях золоторудных месторождений Енисейского кряжа.

Результаты *изотопных значений серы* сульфидов Богунайского месторождения определены в узком интервале от +0.8 до +3.5 ‰, причем 80 % определений группируется в еще более узком интервале: от +2.0 до +3.0 ‰ (Рис. 33) и не выходят за пределы значений серы гранитоидов [Ohmoto, Rye, 1979]. Это свидетельствует о том, что сера, скорее всего, привносилась в область рудоотложения из внешнего глубинного резервуара.

Ранее [Ли, 1979] были получены близкие к нашим определениям значения изотопа ³⁴S в пирите и галените от -1.6 до +3.2 ‰, которые интерпретировали как свидетельство глубинной коровой рудообразующей системы [Ли, 1982; 1997]. Очевидно, что вмещающие нижнепротерозойские гранулиты не являлись источником ни рудообразующих флюидов, ни самого рудного золота [Yardley, Bodnar, 2014; Рябуха и др., 2015].



Рис. 33. Изотопный состав серы сульфидов золоторудных месторождений Енисейского кряжа: Советское [Tomilenko et al., 2010]; Эльдорадо [Гибшер и др., 2018]; Олимпиадинское [Гибшер и др., 2019]; Благодатное [Shaparenko et al., 2021]; Доброе [Shaparenko et al., 2023]; Герфед [Гибшер и др., 2011]; Панимба [Гибшер и др., 2017]; Богунай [Рябуха и др., 2015]. Изотопный состав серы гранитоидов приведен по данным [Ohmoto, Rye, 1979; Groves, Foster, 1991].

Рудоносный по-видимому, был образован флюид. процессе В метаморфической дегидратации пород, находящихся на глубине (под древними высокометаморфизованными породами Ангаро-Канского блока), во время не известных ранее аккреционно-коллизионных событий на Енисейском кряже. Считается [Yardley, Bodnar, 2014], что гранулиты непроницаемы и сухие, по сравнению с чёрными сланцами, но во время активного трещинообразования и разломной тектоники, они так же становятся высокопроницаемы ДЛЯ минералообразующих растворов и могут служить местом для осаждения минералов при благоприятных физико-химических условиях.

Изотопный состав серы сульфидов на Панимбе меняется в интервале от +0.9 до +11.7 ‰, не выходя за предел -3 ÷ +7 ‰ (Рис. 33) [Гибшер и др., 2017].

Более «тяжелая» сера в пирротине со значением +11.7 ‰ свидетельствует о вовлечении в минералообразующую систему изотопно-тяжелой сульфидной серы осадочных пород при взаимодействии флюид-порода [Кряжев, 2017]. Согласно представлениям [Jshihara, Sasaki, 2002], ассимиляция углеродистотерригенных пород сопровождается переходом во флюид основной части содержащейся в них серы. Подобная ситуация наблюдается и на Герфедском месторождении (Рис. 33): значения ИЗОТОПОВ серы показывают eë заимствование из богатых органикой вмещающих толщ (или из глубоких осадочных пород земной коры во время декомпрессионного подъема на позднем этапе орогенной эволюции региона): δ^{34} S для золотоносного кварца от +7.2 до +8 ‰, для незолотоносного - +9.1 ‰. Следует отметить, что для большинства изученных нами золоторудных месторождений Енисейского кряжа также характерен достаточно широкий изотопный состав сульфидной серы (б³⁴S), в том числе с существенным участием изотопно-тяжелой серы, а именно: Советское от +12.9 до +19.9 ‰ [Tomilenko et al., 2010], Эльдорадо от +7.1 до +17.4 ‰ [Гибшер и др., 2018], Олимпиадинское от +1.5 до +12.9 ‰ [Гибшер и др., 2019], Благодатное от +2.6 до +20.1 ‰ [Shaparenko et al., 2021] (Рис. 33). Эти составы аналогичны сере месторождений золота, расположенных протерозойских И соответствуют большинству в поясах, орогенных месторождений золота - (δ^{34} S=0 до +10 ‰) [Kerrich et al., 2000]. По данным других источников δ^{34} S= -3 до +9 ‰ [Steed, Morris, 1997; Ridley, Diamond, 2000; Hodkiewicz et al., 2009]), но при этом такие значения могут быть интерпретированы и как производные от магмы, когда она содержит значительный компонент земной коры [Goldfarb et al., 2001].

Изотопный состав $\delta^{13}C$ углекислоты из флюидных включений был определен на Герфедском месторождении: для метаморфогенных кварцитов изотопы имеют минимальные значения (-17.7 ‰), приближаясь к изотопам органического углерода терригенных толщ (-25±5 ‰, [Галимов, 1973]. Метаморфический углерод (образованный в результате метаморфизма осадочных пород) характеризуется наиболее низкими значениями δ^{13} С, наследуя его от исходных осадочных пород (-20...-27 ‰) [Галимов и др., 2000]. Утяжеление изотопов углерода коррелируется с повышением содержания золота в кварце: средние значения для оперяющих жил с низким содержанием золота (-10.1 ‰), для жил с высоким содержанием (-7.0 ‰). Необходимо отметить, что «утяжеление» изотопного состава углекислоты в рудоносных зонах было отмечено и на других золоторудных месторождениях Енисейского кряжа – Советском [Tomilenko et al., 2010], Олимпиадинском [Кряжев, 2017], Благодатном [Shaparenko et al., 2021]. На Панимбинском месторождении изотопный состав углерода из карбонатов составил интервал от -1.97 до +3.53 ‰. Поскольку для флюидов рудоносных зон характерно повышенное содержание углеводородов, то утяжеление изотопного состава углерода углекислоты можно связать с изменением окислительно-восстановительных условий в этих зонах. Известно [Ohmoto, 1986], что повышение содержания СН₄ во флюиде в интервале температур от 250 до 350 °С могло привести к увеличению величин изотопных отношений углерода сингенетичной углекислоты на 3-12 ‰. Широкие вариации $\delta^{13}C_{CO2}$ флюидных включений в кварце Герфедского месторождения обусловлены, по-видимому, вовлечением в минералообразующую систему углерода из разных источников, в том числе «глубинного» из коровых очагов [Кулешов, 1986]. А такие высокие значения изотопного углерода, как, например, на Панимбе, свидетельствуют об активном участии корового вещества в процессе эндогенного карбонатообразования, которое заимствуется из первичных осадочных морских карбонатов. Известно, что высокотемпературные карбонаты могут характеризоваться очень высокими значениями б¹³С, близкими к нормально-осадочным морским карбонатам (δ^{13} C=0±2 ‰) [Галимов, 1968; Кулешов, 1986; Морозов и др., 2020]. Практически проявлений глубинного карбонатообразования для всех характерно смешение углекислоты, которая заимствуется при метаморфизме из

осадочных карбонатов и углекислоты глубинного происхождения (с более низкими δ¹³C, чем для мантийного углерода со значениями в интервале -6....-8 ‰) [Галимов, 1968]. Изотопный состав углерода в диапазоне от -3 до -14 ‰ может свидетельствовать о глубинном источнике [Морозов и др., 2020].

Геохронология. Определенный Ar-Ar возраст серицитов из кварцзолоторудных жил месторождений показал, что оруденения значительно моложе регионального метаморфизма в регионе и близки по возрасту коллизионному гранитоидному магматизму.

Возраст серицита на Богунае составил 466.0±3.2 – 461.6±3.1 млн. лет, а общая продолжительность кристаллизации кварцевых жил Богунайского месторождения составляет 4.3-4.5 млн. лет. Видно, что формирование богунайских кварцевых жил было существенно оторвано во времени от метаморфизма вмещающих гранулитов канской серии, связанного С коллизионной тектоникой около 1.89-1.87 млрд. лет назад [Ножкин и др., 2008, 2019]. Завершился этот этап становлением древних постколлизионных внутриплитных гранитов Таракского массива 1.84 млрд лет назад [Ножкин и Очевидно, что масштаб дp., 2003]. золотого оруденения зависит OT продолжительности формирования орогенного месторождения золота, НО фактическая продолжительность минерализации по геологическим меркам коротка по сравнению с общим процессом регионального метаморфизма [Yardley, Cleverley, 2015]. Метасоматические преобразования на территории Богунайского рудного поля также происходили 721.8±5.9 млн. лет назад при локальном динамометаморфизме [Рябуха и др., 2015]. Возраст становления ближайшего Нижнеканского гранитоидного массива составляет 455±5 млн. лет [Верниковская и др., 2004].

Аг-Аг возраст, определенный в серицитах кварцево-жильных образований скважины №191 (обр. Пн 12) Панимбинского месторождения, составил 817.2 ±5.3 – 800.4±5.1 млн. лет. При этом возраст регионального метаморфизма вмещающих пород, датированный по цирконам (U-Pb метод) и мусковитам (Аг-

Аг метод), составляет 960±32–889.0±26.6 млн. лет [Сазонов и др., 2016]. Время формирования Панимбинского золоторудного месторождения связывается с развитием основной надвиговой системы Енисейского кряжа (Панимбинско-Шалакитской) с сопряженной вертикальной складчатостью в вероятном временном диапазоне 826-798 млн. лет [Тишин и др., 2005; Сазонов и др., 2010; Рябуха, 2020]. Данные процессы сопровождались локальным метаморфизмом андалузит-силлиманитового типа на нижних ступенях эпидот-амфиболитовой фации [Лиханов и др. 2006, 2007].

На Герфедском месторождении Ar-Ar возраст серицитов составляет 722.9±4.6–665.0±4.2 млн. лет [Гарьковенко, 2015]. Возраст ближайшего Татарского массива анорогенных гранитов, определённый U-Pb- методом по цирконам: 629±7.0 млн. лет [Верниковский и др., 2006] и 630-625 млн. лет [Ножкин и др., 2008]. Его внедрение, как и ряда других подобных внутриплитных интрузивных образований, совпадает с заключительным этапом коллизионных событий на Енисейском кряже.

Согласно данным по Ar-Ar датированию формирование Герфедского и Панимбинского месторождений так же, как и Богунайского, происходило во временном разрыве между региональным метаморфизмом вмещающих пород (1000-900 млн. лет [Tomilenko et al., 2010; Ножкин и др., 2011; Сазонов и др., 2016]) и рудообразованием в них, т.е. формирование золотой минерализации имеет наложенный характер по отношению к региональному метаморфизму вмещающих пород.

⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирование Таким образом, позволяет восстановить хронологические связи между событиями, в результате которых образовались Богунайское, Герфедское и Панимбинское золоторудные месторождения. Получены данные, свидетельствующие о многоэтапности и полихронности процесса формирования золоторудной минерализации на этих месторождениях. кварцево-жильных зон Герфедского $(722.9 \pm 4.6 -$ Возраст формирования 665.0±4.2 Панимбинского (817.2±5.3-800.4±5.1 МЛН. лет) И МЛН. лет)

месторождений коррелирует с тектономагматическими событиями на Енисейском кряже в интервале от 850 до 600 млн. лет, что могло сыграть важную роль в зарождении, развитии и эволюции рудообразующих и рудоконцентрирующих систем (Рис. 34) [Тишин и др., 2005; Сазонов и др., 2010; Лиханов и др., 2011, 2013; Ножкин и др., 2011, 2015; Лиханов, Ревердатто, 2016].



Рис. 34. Возраст формирования золоторудных месторождений Енисейского кряжа: Советское – 820-730 млн. лет [Tomilenko et al., 2010; Ножкин и др., 2011], Олимпиада – 817-660 млн. лет [Гибшер и др., 2019], Панимба – 817.2±5.3-800.4±5.1 млн. лет [Гибшер и др., 2017], Ведуга – 805±6.5 млн. лет [Ножкин и др., 2011], Благодатное – 798-735 млн. лет [Shaparenko et al., 2021], Эльдорадо – 795-710 млн. лет [Сазонов и др., 2010; Гибшер и др., 2018], Герфед – 722-665 млн. лет [Гарьковенко, 2015], Попутнинское – 717-712 млн. лет [Ножкин и др., 2011], Удерей – 711-670 млн. лет [Неволько, 2009], Богунай – 466-461 млн. лет [Рябуха и др., 2015]. Красная линия - временной интервал (850-600 млн. лет) тектономагматических событий на Енисейском кряже [Лиханов и др., 2011, 2013; Ножкин и др., 2011, 2015; Тишин и др., 2005; Сазонов и др., 2010; Лиханов, Ревердатто, 2016].

Важно отметить, что возраста формирования золотой минерализации на Советском золоторудном месторождении (820-730 млн. лет) [Tomilenko et al., 119

2010; Ножкин и др., 2011], Олимпиадинском – (817-660 млн. лет) [Гибшер и др., 2019], Благодатном – (798-735 млн. лет) [Shaparenko et al., 2021], Эльдорадо – (795-710 млн. лет) [Сазонов и др., 2010; Гибшер и др., 2018], Ведугинском и Попутнинском – (805±6.3 млн. лет и 717-712 млн. лет, соответственно) [Ножкин и др., 2011] и Удерейском – (711-670 млн. лет) [Неволько, 2009] также коррелируют с этими эпизодами тектономагматических событий в интервале 850-600 млн. лет (Рис. 34).

Вместе с тем формирование Богунайского золоторудного месторождения, которое происходило гораздо позже в интервале 466.0±3.2 – 461.6±3.1 млн. лет (Рис. 34), по-видимому, можно рассматривать как результат не известных ранее коллизионно-аккреционных событий на Енисейском кряже в интервале 500-400 млн. лет. Эти события, по мнению Верниковской А.Е. с соавторами [Верниковская и др., 2004], могут быть связаны с раннекаледонскими коллизионно-аккреционными событиями, широко проявленными в Центрально-Азиатском складчатом поясе. Можно предположить, что в этом возрастном интервале, наряду с Богунайским, могли образоваться и другие золоторудные месторождения, например, Кузеевское.

Флюиды, участвовавшие в формировании месторождений золота, согласно данным по изотопии гелия, серы и углекислоты, имели глубинный метаморфогенно-коровый источник. Значимую роль в формировании золотого оруденения играли углеводороды и их производные. Предполагается, что золото транспортировалось как в виде HS⁻ комплексов, так и в виде элементоорганических соединений. На данной стадии изученности наиболее приемлемой формирования Богунайского, Герфедского моделью И Панимбинского месторождений является метаморфическая, которая принята для большинства орогенных золоторудных месторождений мира [Gaboury, 2013, 2019; Goldfarb, Santosh, 2014; Goldfarb, Groves, 2015; Groves, et al., 2020; Goldfarb, Pitcairn, 2022 и др.].

120

Заключение

Проведенные термобарогеохимические, изотопно-геохимические и геохронологические исследования кварцевых жил золоторудных месторождений позволяют охарактеризовать физико-химические параметры и возраст их формирования.

Богунайское, Герфедское и Панимбинское золоторудные месторождения формировались ИЗ водно-углекислотно-углеводородных гомогенных И гетерогенных флюидов при близких температурах, солености и давлении: Богунайское месторождение – при 210-350°С, солености 2-19 мас. %, NaCl-экв., давлении 0.1 до 1.6 кбар; Герфедское – при 200-400°С, солености 0.5-23 мас. %, NaCl-экв., давлении 0.1-2.5 кбар; Панимбинское – при 180-410°С, солености %. 0.5 - 23NaCl-экв., флюидном давлении 0.2-3.3. мас. кбар. Минералообразующие флюиды в своем составе содержали H₂O, CO₂, N₂, различные углеводороды и их производные: алифатические (парафины и олефины), циклические (нафтены и арены) и кислородсодержащие (спирты, эфиры простые и сложные, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты,) углеводороды, а также азот-, серо- и галогенсодержащие соединения, которые потенциально способны транспортировать рудные элементы, в том числе и золото. Перенос золота и других металлов мог осуществляться в форме гидросульфидных и металоорганических соединений.

Рассчитанные величины отношения ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$ во флюидных включениях в кварце Богунайского (0.37±0.07)*10⁻⁶ и (0.05±0.02)*10⁻⁶, Герфедского (0.14±0.03)*10⁻⁶ и Панимбинского (0.59±0.2)*10⁻⁶ месторождений указывают на коровую природу флюидов, сформировавших рассматриваемые золоторудные месторождения.

Полученные данные об изотопном составе серы сульфидов для Богунайского месторождения (δ^{34} S от +0.8 до +3.5 ‰), Герфедского (δ^{34} S от +7.2 до +9.1) и Панимбинского (от +0.9 до +11.7 ‰) свидетельствуют о

возможном участии в процессах рудогенеза серы из разных источников. Некоторое утяжеление δ^{34} S на Герфедском и Панимбинском месторождениях по сравнению с Богунайским, вероятнее всего, связано с вовлечением в рудогенез тяжелой осадочной серы из углеродисто-терригенных пород при взаимодействии «флюид-порода».

Проведенное ⁴⁰Ar/³⁹Ar-датирование свидетельствует о многоэтапности процесса формирования золоторудной минерализации изученных на месторождениях за счёт неоднократных проявлений тектонических событий, которые повлияли на распределение и концентрирование рудного вещества Возраст серицита на Богунайском месторождении составил 466.0±3.2 -461.6±3.1 млн. лет, а общая продолжительность формирования кварцевых жил составила 4.3-4.5 млн. лет. Формирование кварцевых жил существенно оторвано во времени от этапа метаморфизма вмещающих гранулитов канской серии, возраст которых около 1.9 млрд. лет, и происходило, по-видимому, как результат не известных ранее коллизионно-аккреционных событий на Енисейском кряже в интервале 500-400 млн. лет. Можно предположить, что в этом возрастном интервале, наряду с Богунайским, могли образоваться и другие золоторудные месторождения.

Возраст формирования кварцево-жильных зон Герфедского (722.9±4.6 – 665.0±4.2 млн. лет) и Панимбинского (817.2±5.3 – 800.4±5.1 млн. лет) месторождений коррелирует с тектономагматическими событиями на Енисейском кряже в интервале от 850 до 600 млн. лет, что могло сыграть важную роль в зарождении, развитии и эволюции рудообразующих и рудоконцентрирующих систем.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что формирование Богунайского, Герфедского и Панимбинского золоторудных месторождений происходило из коровых водно-углекислотно-углеводородных гомогенных и гетерогенных флюидов в результате длительного и многостадийного процесса. Значимую роль в формировании золотого оруденения играли углеводороды и их производные.

изученности наиболее Ha данной стадии приемлемой моделью формирования Богунайского, Герфедского и Панимбинского месторождений принятая является метаморфическая, для большинства орогенных золоторудных месторождений мира [Gaboury, 2013, 2019; Goldfarb, Santosh, 2014; Goldfarb, Groves, 2015; Groves, et al., 2020; Goldfarb, Pitcairn, 2022 и др.].

Список литературы

Ануфриев Г.С., Болтенков Б.С. Железомарганцевые конкреции Балтийского моря: состав, изотопы гелия, скорость роста // Литология и полезные ископаемые, 2007, № 3, с. 267-272

Бажин, Н. М. Метан в окружающей среде: аналитический обзор / Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2010, 56 с. (Серия Экология. Вып. 93).

Банникова Л.А. Органическое вещество в гидротермальном образовании. М., Наука, 1990, 207с.

Барабашева Е.Е. Роль органического вещества в процессах миграции, минералообразования и рудогенеза на различных стадиях биогеохимического рециклинга // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАЕН, 2014, №5, (48), с. 29-40.

Бибикова Е.В., Грачева Т.В., Макаров В.А., Ножкин А.Д. Возрастные рубежи в геологической эволюции раннего докембрия Енисейского кряжа // Стратиграфия. Геологическая корреляция, 1993, т. 1, 1, с. 35-40.

Бибикова Е.В., Грачева Т.В., Козаков И.К., Плоткина Ю.В. U-Pb возраст гиперстеновых гранитов (кузеевитов) Ангаро-Канского выступа (Енисейский кряж) // Геология и геофизика, 2001, т. 42, 5 ,с. 864-867.

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

Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина И.В. Генезис золотокварцевого месторождения Чармитан (Узбекистан) // Геология рудных месторождений, 1996, т. 38, № 3, с. 238-256.

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 // Материалы XVIII Всероссийской конференции по термобарогеохимии, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Юрия Александровича Долгова, Москва, 24-28 сентября 2018 г. с. 32-341.

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 кряж, Россия) по данным беспиролизной газовой хромато-масс-спектрометрии // Геология и геофизика, 2020, №11, т. 61, с. 1535-1560

Буряк В.А., Летников Ф.А. О роли процессов регионального метаморфизма и ультраметаморфизма в развитии золотого оруденения. Известия ТПИ, т. 239, изд-во ТУ, 1970, с. 19-24.

Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиносности черносланцевых толщ // Руды и металлы, 2002, № 6, с. 25-36

Буряк В.А. Формирование золотого оруденения в углеродистых толщах // Изв. АН СССР, 1987, № 12, с. 94-105

Буряк В.А. Метаморфизм и золотое оруденение // Метаморфогенное рудообразование низкотемпературных фаций и ультраметаморфизма. М.: Недра, 1981, с. 31-48.

Буслаева Е.Ю., Новгородова М.И. Элементоорганические соединения в проблеме миграции рудного вещества. М.: Наука, 1989, 152 с.

Буслаева Е.Ю., Новгородова М.И. Элементоорганические соединения в эндогенных рудах. М.: Недра, 1992, 234 с.

Бхаттачарайа 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.

Варгафтик Н. Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М., Изд-во Наука, 1972, с. 167.

Василевский Б.Б., Конеев Р.И., Туресебеков А.Х., Игнатиков Е.Н., Мирталипов Д.Я., Рахимов Р.Р. Новые данные о вещественном составе золотых руд месторождения Мурунтау // Руды и металлы, 2004, № 2. с. 67–79.

Верниковская А.С., Верниковский В.А., Даценко В.М., Сальникова Е.Б., Ясенев А.М., Ковач В.П., Котов А.Б., Травин А.В. О проявлении раннепалеозойского магматизма в Южно-Енисейском кряже // ДАН, 2004, т. 397, № 3, с. 374-379.

Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Сальникова Е.Б.. Гранитоиды Ерудинского и Чиримбинского массивов Заангарья Енисейского кряжа – индикаторы неопротерозойских событий // Геология и геофизика, 2002, т. 43, № 3, с. 259-272.

Верниковский В.А., Верниковская А.Е. Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 2006, т. 47, № 1, с. 35-52.

Верховский А.Б, Шуколюков Ю.А. Элементное и изотопное фракционирование благородных газов в природе. М.: Наука, 1991. 294 с.

Винокуров С.Ф. Европиевые аномалии в рудных месторождениях и их геохимическое значение // ДАН, 1996, т. 346, №6, с. 792-795.

Винокуров С.В., Коваленкер В.А., Сафонов Ю.Г., Керзин А.Л. Лантаноиды в кварцах эпитермальных золоторудных месторождений: распределение и генетическое значение // Геохимия, 1999, № 2, с. 171-180.

Галимов Э.М. Геохимия стабильных изотопов углерода. М.: Недра, 1968, 222 с.

Галимов Э.М. Изотопы углерода в нефтегазовой геологии. - М.: Недра, 1973, 384 с.

Галимов Э.М., Миронов А.Г., Жмодик С.М. Природа углеродизации высокоуглеродизированных пород Восточного Саяна // Геохимия, 2000, №4, с. 355-360.

Гарькавенко С.Д. Геология, условия образования и анализ плотности геологоразведочной сети месторождения Герфед (Енисейский кряж) // Автореферат диссертации к. г. - м.н., Томск, 2015.

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.

Геологическая карта СССР масштаба 1:200 000. Серия Енисейская. Лист О-46-IV. М.: Недра, 1965.

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., 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 Эльдорадо (Енисейский кряж, Россия) // Геология и геофизика, 2018, т. 59. № 8, с. 1220-1237.

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, 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 127 золоторудного месторождения (Енисейский кряж, Россия) // Геохимия, 2019, № 5, с. 593-599.

Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Бульбак Т.А., Рябуха М.А., Некрасова H.A., Хоменко M.O., E.O. Сильянов C.A., Шапаренко Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, δ^{34} S сульфидов, ³He/⁴He флюидов, Ar-Ar возраст и продолжительность формирования // Геология и геофизика, 2019, т. 60, № 9, с. 1310-1329.

Горячев Н.А. Благороднометалльный рудогенез и мантийно-коровое взаимодействие // Геология и геофизика, 2014, т. 55, № 2, с. 323-332

Гофман Э. О золотых промыслах Восточной Сибири. // Горный журнал, ч. 1У, 1844, № 11, с. 196-277; № 12, с. 347-420.

Динер А.Э. Эталон глушихинского комплекса лейкогранитов (Лендахский массив, Енисейский кряж). Красноярск, ФГУ ГП «Красноярскгеолсъемка», 2003, 92 с.

Долгушин С.С., Черкасов Г.Н., Долгушин А.П. Золотоурановый Витватерсранд (ЮАР) и поиски его аналогов по южному обрамлению Сибирской платформы. СНИИГГиМС. Новосибирск. 2018.

Ермолаев Н.П., Созинов Н.А., Чиненов В.А.,Горячкин Н.И.,Никифоров А.В. Формы нахождения платиновых металлов в рудах золота из черных сланцев // Геохимия, 1995, № 4, с. 524–532.

Заблоцкий К.А. О золотоносности Ангаро-Канской части Енисейского кряжа // Инвестиционный потенциал минерально-сырьевого комплекса Красноярского края. Красноярск, КНИИГиМС, 2000, с. 143-149.

Заблоцкий К.А., Еханин А.Г., Смагин А.Н., Кошкин В.Ф., Парначев В.П. Проблемы изучения золотоносности Ангаро-Канского выступа Енисейского кряжа // Петрология магматических и метаморфических комплексов, вып. 3, т. II, Томск, ТГУ, 2002, с. 98-101. Забияка А.И. Фактор регионального метаморфизма в металлогенической системе Енисейского кряжа // Материалы докладов научно-практической конференции, посвященной 60-летию Красноярской геологии (1943-2003 гг.), Красноярск, КНИИГИМС, 2003, с. 94-99.

Захарова Е.М. Минералы углерода в рудах Енисейского кряжа. // Геология рудных месторождений, 1975, № 3, с.114-120

Зубков В.С. Закономерности распределения и гипотезы происхождения конденсированных нафтидов в магматических породах различных геодинамических обстановок // Геохимия, 2009, № 8, с. 787-804

Зубков В.С. Мантийная углеводородно-неорганическая модель образования золотых месторождений карлинского типа // Руды и металлы, 2001, № 1, с. 76-82.

Зубков В.С. Тяжёлые углеводороды в мантийном флюиде Земли // Автореферат дисс...д.г.-м.н., Иркутск, 2003, 44 с.

Икорский С.В., Каменский И.Л., Аведисян А.А. Изотопы гелия в зонах контакта щелочных интрузивов различного состава (на примерах щелочно – ультраосновного интрузива Озерная варака и Ловозёрского массива нефелиновых сиенитов, Кольский п-ов) // ДАН, 2014, т. 459, №4, с. 474-478.

Икорский С.В., Каменский И.Л., Певзнер Б.З., Ганнибал М.А. Экспериментальное моделирование миграции гелия в кристаллы природного кварца // ДАН, 2003, т. 389, № 4, с. 524-527.

Икорский С.В., Кущ В.Д. Азот во флюидных включениях щелочных пород Хибинского массива и методика его хроматографического определения // Геохимия, 1992, №7, с. 962-970.

Икорский С.В., Нивин В.А., Припачкин В.А. Геохимия газов эндогенных образований. СПб.: Наука, 1992, 179 с.

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

Ковалев С.Г., Высоцкий И.В. Новый тип оруденения в докембрийских конгломератах западного склона Южного Урала // ДАН. 2004, т. 395, № 4, с. 503–506.

Колонин Г.Р. Пальянова Г.А., Широконосова Г.П., Моргунов К.Г. Влияние углекислоты на внутренние равновесия во флюиде при формировании золоторудных гидротермальных месторождений // Геохимия, 1997, №1, с. 46-57.

Константинов М.М., Ручкин Г.В. Новые и нетрадиционные типы золоторудных месторождений // Руды и металлы, 2005, № 1, с. 44–54.

Корнев Т.Я., Романов А.П., Князев В.Н., Шарифулин С.К. Золотоносность зеленокаменных поясов юго-западного обрамления Сибирской платформы // Золото Сибири: геология, геохимия, технология, экономика, Красноярск, КНИИГиМС, 2001, с. 189-191.

Корнев Т.Я., Князев В.Н., Шарифулин С.К. Золотоносность и перспективы Кузеевского зеленокаменного пояса // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири, Красноярск, КНИИГиМС, 2002, с. 93-104.

Корнев Т.Я., Енахин А.Г., Князев В.Н., Шарифулин С.К. Зеленокаменные пояса юго-западного обрамления Сибирской платформы и их металлогения (под. ред. Макарова В.А.), Красноярск, ГПК КНИИГиМС, 2004, 177 с.

Корнев Т.Я., Князев В.Н., Шарифулин С.К. Геология и золотоносность Кузеевского рудного района // Состояние и проблемы геологического изучения недр и развития минерально-сырьевой базы Красноярского края. Красноярск: КНИИГиМС, 2003, с. 242-246.

Корнев Т.Я., Шарифулин С.К. Перспективы выявления коренных месторождений золота в Богунайском рудном районе (Енисейский кряж) // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири, вып. 5, Красноярск, КПКК КНИИГиМС, 2004-б, с. 130-134.

130

Коробейников А.Ф., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К., Колпакова Н.А. Нетрадиционные золото-платиновые месторождения Восточной Сибири // Геология и геофизика, 1998, т. 39, № 4, с. 432–444.

Кравцов Р.Г., Алмаз Я.А. Редкоземельные элементы в рудах эпитермальных золото-серебряных и серебряных месторождений (Северо-Восток России) // Геохимия, 2006, № 12, с. 1338-1344.

Кренделев Ф.П., Лучко А.Г. Новый тип золотого оруденения на Енисейском кряже // Изв. Томск. Политехн. Ин-та, т. 239. Вопросы геологии месторождений золота. Материалы II конференции по изучению месторождений золота Сибири, 1970, с. 78-87.

Кряжев С.Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах // Диссертация д.г.м.н., М, 2017, 288 с.

Кряжев С.Г., Глухов А.П., Русинова О.В., Кузнецова С.В. Изотопногеохимический режим формирования золото-кварцевого месторождения Советское // Прикладная геохимия, выпуск 4. Аналитические исследования, 2003 (ИМГРЭ), с. 153-164.

Кубракова И. В., Набиуллина С. Н., Пряжникова Д. В., Киселева М. С. Органическое вещество как формирующий и транспортирующий агент в процессах переноса эпг и золота // Геохимия, 2022, т. 67, № 8, с. 741-749.

Кузнецов Ю.А. Петрология докембрия Южно-Енисейского кряжа // Материалы по геологии Западной Сибири, № 15, 57, Томск, ЗСГУ, 1941, 240 с.

Кузьмин М.И., Калмычков Г.В., Дучков А.Д. и др. Гидраты метана в осадках озера Байкал // Геология рудных месторождений, 2000, т. 42, № 1, с. 25-37.

Кулешов В.Н. Изотопный состав и происхождение глубинных карбонатов. М.: Наука. 1986, (Труды ГИН АН СССР; Вып. 405).

131

Легенда Енисейской серии государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:200 000 (второе издание). ФГУГП «Красноярскгеолсъемка», Красноярск, 2002

Лепезин Г.Г., Травин Л.В., Юдин Д.С., Волкова Н.И., Корсаков А.В. Возраст и термическая история Максютовского метаморфического комплекса (по ⁴⁰Ar/³⁹Ar данным) // Петрология, 2006, т. 14, № 1, с. 109-125.

Летников Ф.А., Савельева В.Б., Аникина Ю.В., Смагунова М.М. Высокоуглеродистые тектониты – новый тип концентрирования золота и платины // ДАН, 1996, т. 347, № 6, с. 795-798.

Ли Л.В. Изотопный состав серы сульфидов руд Енисейского кряжа // ДАН СССР, 1979, т. 247, № 5, с. 1261-1264.

Ли Л.В. Золоторудные месторождения докембрия Енисейского кряжа. В кн.: Геология и полезные ископаемые Центральной Сибири, вып.1, Красноярск, Изд-во КНИИГиМС, 1997, с. 184-248.

Ли Л.В. О связи эндогенного оруденения с процессами тектономагматической активизации в Ангаро-Канской глыбе // ДАН СССР, 1982, т. 263, № 3, с. 676-679.

Ли Л.В, Даценко В.М. Положение гранитоидных формаций и место золотого оруденения в истории развития Енисейского кряжа // Известия ТПУ, вопросы геологии месторождений золота, т. 239, Томск, 1970, с. 60-65.

Ли Л.В., Неволин В.А., Шерман М.Л., Круглов Г.П., Шохина О.И., Бовин Ю.П. Золоторудные формации. В кн.: Геология и металлогения Енисейского рудного пояса. Красноярск, КНИИГиМС, 1985, с. 134-178.

Ли Л.В., Нелюбов В.А. Структурные особенности локализации золотого оруденения некоторых месторождений Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 1970, № 10, с. 45-51.

Ли Л.В., Шохина О.И., Утюжников Г.П., Юшков М.Г. Распределение золота в породах вмещающей толщи месторождения золото-кварцевой формации // Геохимия, 1979, №6, с. 941-945 Лиханов И.И., Козлов П.С., Полянский О.П., Попов Н.В., Ревердатто В.В., Травин А.В., Вершинин А.Е. Неопротерозойский возраст коллизионного метаморфизма в Заангарье Енисейского кряжа (по ⁴⁰Ar-³⁹Ar данным) // ДАН, 2007, т. 412, № 6, с. 799-803.

Лиханов И.И., Козлов П.С., Попов Н.В., Ревердатто В.В., Вершинин А.Е. Коллизионный метаморфизм как результат надвигов в заангарской части Енисейского кряжа // ДАН, 2006, т. 411, № 2, с. 235-239.

Лиханов И. И., Ревердатто В. В. Геохимия, генезис и возраст метаморфизма пород Приангарья в зоне сочленения северного и южного Енисейского кряжа // Геохимия, 2016, № 2, с. 143–164

Лобанов М.П., Синцов А.В., Сизых В.И., Коваленко С.Н. О генезисе продуктивных «углистых» сланцев Ленского золотоносного района // ДАН, 2004, т. 394, № 3, с. 360-363.

Лурье М.А., Шмидт Ф.К. Конденсационные превращения эндогенного метана под воздействием серы – возможный путь генезиса нефти, Российский химический журнал, 2004, т. XLVIII, № 6.

Ляхов Ю.В., Павлунь Н.Н. Некоторые геолого-геохимические особенности процессов золотоконцентрации в метаморфогенногидротермальных и магматогенно-гидротермальных минералообразующих системах // В сб.: Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений. М.: ИГЕМ РАН, 2013, с. 144.

Макрыгина В.А. Геохимия отдельных элементов: учебное пособие. Иркутский гос. университет; Новосибирск: Изд-во «Гео», 2011, 195 с.

Маракушев А.А., Панеях Н.А., Русинов В.Л., Зотов И.А. Парагенезисы рудных металлов углеводородной специфики. Статья 1. Оксифильные металлы. // Известия ВУЗ-ов, Геология и разведка, 2007, № 6, с. 33-40. Марчук М.В. Экспериментальное изучение процесса переноса петрогенных и рудных компонентов в восстановленных флюидах. Автореф. дис. к.г.-м.н., Иркутск, 2008, 15 с.

Мейстер А.К. Бассейны рек Удерея и Удоронги. В кН.: Геологические исследования в золотоносных областях Сибири, Енисейский золотоносный район. Вып. 1, Спб., 1900, с. 59-85.

Мейстер А.К. Геологические исследования в северо-западной части Енисейского округа. В кн.: Геологические исследования в золотоносных областях Сибири. Енисейский золотоносный район. Вып. 1У. Спб., 1903, с. 1-24.

Мельников А.В., Моисеенко В.Г. Новые типы золото-платинометального оруденения Верхнего Приамурья // ДАН. 2008, т. 421, № 6, с. 801-803.

Миронова О.Ф., Наумов В.Б., Салазкин А.Н. Азот в минералообразующих флюидах. Газохроматографическое определение при исследовании флюидных включений в минералах // Геохимимя, 1992, № 7, с. 979-991.

Мкртычьян А.К., Никулов Л.П., Юркевич Л.Г. Перспективы золотоносности Ангаро-Канской глыбы // Геология и полезные ископаемые Красноярского края. Красноярск, КНИИГиМС, 1999, с. 116-119.

Морозов Ю. А., Севастьянов В. С., Юрченко А. Ю., Кузнецова О. В. Углеродизация карбонатов и фракционирование стабильных изотопов углерода в зоне динамической подвижки // Геохимия, 2020, т. 65, № 9, с. 835-848.

Неволько П.А. Геологические и физико-химические условия формирования сурьмяной минерализации на золоторудных месторождениях Енисейского кряжа. Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, ИГМ СО РАН, 2009, 16 с.

Неволько П.А., Борисенко А.С., Травин А.В., Романов А.В. О возрасте золотого оруденения Енисейского кряжа и его корреляция с магматизмом // Отечественная геология, 2009, № 4, с. 30-34.

134

Нивин В.А. Изотопы гелия и аргона в породах и минералах Ловозерского щелочного массива // Геохимия, 2008, № 5, с. 524-545.

Николаева И.В., Палесский С.В., Козьменко О.А., Аношин Г.Н. Определение редкоземельных и высокозарядных элементов в стандартных геологических образцах методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) // Геохимия, 2008, № 10, с.1085-1091.

Новгородова М.И. Находки самородного алюминия в кварцевых жилах. //Докл. АН СССР, 1979, т. 248, № 4, с. 965-968.

Новгородова М.И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983, 286с.

Новгородова М.И., Веретенников В.М., Боярская Р.В., Дрункин В.И. Геохимия элементов примесей в золотоносном кварце // Геохимия, 1984, №3, с. 370-383.

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

Ножкин А.Д., Бибикова Е.В., Туркина О.М., Пономарчук В.А. Изотопногеохронологическое исследование (U-Pb, Ar-Ar, Sm-Nd) субщелочных порфировидных гранитов Таракского массива Енисейского кряжа // Геология и геофизика, 2003, т. 44, 9, с. 879-889.

Ножкин А.Д., Дмитриева Н.В., Туркина О. М., Маслов А.В., Ронкин Ю. Л. Метапелиты нижнего докембрия Енисейского кряжа: РЗЭ-систематика, источники сноса, палеогеодинамика // ДАН, 2010, т. 434, № 6, с. 796-801.

Ножкин А.Д., Постников А.А. Рифтогенные вулканогенно-осадочные комплексы неопротерозоя юго-западной окраины Сибирского кратона: отражение ранних стадий раскрытия и эволюции Палеоазиатского океана // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту). Вып. 4, т. 2, Иркутск, ИЗК СО РАН, 2006, с. 65-68

Ножкин А.Д., Туркина О.М., Баянова Т.Б., Бережная Н.Г., Ларионов А.Н., Постников А.А., Травин А.В., Эрнст Р.Е. Неопротерозойский рифтогенный и внутриплитный магматизм Енисейского кряжа как индикатор процессов распада Родинии // Геология и геофизика, 2008, 49, 7, с.666-688.

Ножкин А.Д., Туркина О.М., Лиханов И.И., Савко К.А. Палеопротерозойские метавулканогенно-осадочные толщи Енисейского метаморфического комплекса на юго-западе сибирского кратона (Ангаро-Канский блок): расчленение, состав, U-Pb возраст цирконов // Геология и геофизика, 2019, т. 60, № 10, с. 1384-1406

Овчинников Л.Н., Рябова Т.В., Статистическое исследование вариаций изотопного состава серы // Геология рудных месторождений, 1975, 17, № 6, с.3-19.

Омото Х. Рай Р. Изотопы серы и углерода. В кн.: Геохимия гидротермальных рудных месторождений. - М.: Мир, 1982, с.403-450.

Осоргин Н.Ю. Хроматографический анализ газовой фазы в минералах. Препринт № 11, Новосибирск, Изд-во Института геологии и геофизики СО РАН, 1990, 32с.

Петров В.Г. Золото в опорных разрезах верхнего докембрия западной окраины Сибирской платформы. Новосибирск: Наука, 1973, 211с.

Петров В.Г. Условия золотоносности Северной части Енисейского кряжа, Наука, Новосибирск, 1974, с.74-78.

Петровская Н.В. Самородное золото.- М.: Наука, 1973, 348 с.

Плюснина Л.П, Кузьмина Т.В., Лихойдов Г.Г. Экспериментальное исследование влияния серы на сорбцию золота битумоидами при 200–400°С и давлении 1 кбар // Геохимия, 2012, №1, с. 30-37.

Плюснина Л.П, Лихойдов Г.Г., Кузьмина Т.В. Теория и эксперимент в изучении Au-Pt-рудогенеза // Вестник ДВО РАН, 2009, № 6, с. 22-28.

Полева Т.В., Сазонов А.М. Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже // Москва, Издательский дом «Экономическая газета», 2012, 290 с.

Поляков А.В. Оценка эффективности освоения группы золоторудных месторождений на примере Раздолинского рудного узла // Материалы докладов научно-практической конференции, посвящённой 60-летию Красноярской геологии (1943-2003 гг.), Красноярск, 2003, с. 239-241.

Поцелуев А.А., Бабкин Д.И., Талибова А.Г. Изотопный состав углерода грейзеновых месторождений (Кагутинское месторождение) // Известия Томского политехнического университета, 2007, т. 310. №1.

Прокофьев В.Ю., Афанасьева З.Б., Иванова Г.Ф. Исследование флюидных включений в минералах Олимпиадинского золото-сульфидного месторождения (Енисейский кряж) // Геохимия, 1994, №7, с. 1012-1029.

Рассказов С.В., Чувашова И.С. Радиоизотопные методы хронологии геологических процессов. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2012, 300 с.

Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. М., Изд-во Мир, 1987, 631с.

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

Рябуха М.А. Сходства и различия в составе золотоносных флюидов кварцевых жил, залегающих в гранулитах и зелёных сланцах Енисейского кряжа (на примере Богунайского и Панимбинского золоторудных месторождений) // Тезисы Третьей российской молодёжной школы с международным участием «Новое в познании процессов рудообразования», Москва, ИГЕМ РАН, 2-6 декабря 2013.

137

Рябуха М.А., Хоменко М.О., Некрасова Н.А. Металлоносные флюиды в кварце и сульфидах золоторудного месторождения Панимбинское (Енисейский кряж) // Материалы XVII Всероссийской конференции по термобарогеохимии, посвящённой 80-летию со дня рождения Ф. Г. Рейфа, Улан-Удэ, 2016.

Рябуха M.A. Характеристика флюидов и возраст формирования месторождений, залегающих в метаморфических породах золоторудных Енисейского кряжа (на примере Богунайского И Панимбинского месторождений). Сборник тезисов докладов всероссийской молодежной геологической конференции памяти В.А. Глебовицкого. СПб: Изд. ВВМ, 2020, c. 65-66.

Савушкина С.И. Вещественный состав и структурно-текстурные особенности золотосодержащих руд месторождения «Панимба» (эталонная коллекция руд) // Савушкина С.И. и др.; Отчет о НИР № 038/М; ЗАО «Полюс», Красноярск, 2008, 98 с.

Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.С., Звягина Е.А., Федорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого-структурная позиция, структурные типы рудных полей // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies, № 4, 2010 б, с. 371-395

Сазонов А.М., Врублевский В.В., Гертнер И.Ф. Заангарский щелочной интрузив, Енисейский кряж: Rb-Sr-, Sm-Nd-изотопный возраст пород и источники фельдшпатоидных магм в позднем докембрии // ДАН, 2007, т. 413, № 6, с. 798-802.

Сазонов А.М. Геохимия золота в метаморфических породах Побужья // Геология и геофизика, 1995, т.36, №1, с. 71-80.

Сазонов А.М. Геохимия золота в метаморфических толщах // Томск: Издво Томского политехнического университета, 1998, 168с.

Сазонов А.М., Звягина Е.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.С., Тишин П.А., Малышева К.И. Геолого-структурная позиция и типизация золоторудных 138

полей Восточной части Енисейского кряжа. Геология и минерально-сырьевые ресурсы Центральной Сибири // Материалы юбилейной научно-практической конференции, г. Красноярск, ОАО «Красноярскгеолсъемка», 2010а, с. 94-101.

Сазонов А.М., Некрасова Н.А., Звягина Е.А., Тишин П.А. Геохронология гранитов, вмещающих сланцев и руд месторождения золота «Панимба» (Енисейский кряж) // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Техника и технологии, 2016, № 9, 2, с. 174-188.

Сафонов Ю.Г., Прокофьев В.Ю. Модель конседиментационного гидротермального образования золотоносных рифов бассейна Витватерсранд // Геология рудных месторождений, 2006, т.48, № 6, с.475-511.

Сахарова М.С., Ряховская С.К., Турчкова А.Г. Посткристаллизационные преобразования золото-кварцевых агрегатов в гидротермальных условиях (экспериментальные данные) // Геохимия, 1999, №5, с.486-493.

Сердюк С.С. Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения и перспективы освоения // Автореферат диссертации на соискание ученой степени д. г.-м. н., Красноярск, КНИИГиМС, 2004, 480 с.

Сердюк С.С. Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири, выпуск 5, Красноярск, 2004, с. 52-102.

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, Сибирский Федеральный университет, Институт горного дела, геологии и геотехнологий, 2010, 582 с.

Середенко Г.А. Генетические особенности развития золотого оруденения Енисейского кряжа. В кн.: Критерии отличия метаморфогенных и магматогенных гидротермальных месторождений. Новосибирск, изд-во Наука, 1985, с. 53-58.

Сильянов С.А., Сазонов А.М., Тишин П.А., Некрасова Н.А., Лобастов Б.М., Звягина Е.А, Рябуха М.А. Геохимические показатели генезиса

месторождения золота Панимба в Енисейском кряже (Сибирь, Россия) // Геосферные исследования, 2018, № 3, с. 6-21.

Сильянов С.А., Сазонов А.М., Тишин П.А., Лобастов Б.М., Некрасова Н.А., Звягина Е.А., Рябуха М.А. Элементы-примеси в сульфидах и золоте месторождения Олимпиада (Енисейский кряж): источники вещества и параметры флюида // Геология и геофизика, 2021, т. 62, № 3, с. 382-402

Слободской Р.М. Элементоорганические соединения в магматических и рудообразующих процессах. Новосибирск, Наука, 1981, 134с.

Сонин В.М., Бульбак Т.А., Жимулев Е.И., Томиленко А.А., Чепуров А.И., Похиленко Н.П. Синтез тяжелых углеводородов при температуре и давлении верхней мантии Земли // ДАН, 2014, 454, № 1, с. 84-88

Ставров О.Д. Геохимия лития, рубидия и цезия в магматическом процессе. М. Недра, 1978, 213с.

Ставров О.Д., Зозуля Т.А. Величина отношения К/Rb в кварце оловорудных месторождений – индикатор их связи с магматическими источниками // Геохимия, 1975, №7, с. 1043-1048.

Тишин П.А., Гертнер И.Ф., Врублевский В.В. Сазонов А.М. Эволюция Rb-Sr-изотопной системы в метаморфогенных биотитах умеренных давлений// Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 6, т. 2, Томск: изд-во ЦНТИ, 2005, с. 403-407

Толстихин И.Н. Изотопная геохимия аргона, гелия и редких газов, Л: Наука, 1986, 200 с.

Томиленко А.А. Флюидный режим минералообразования в континентальной литосфере при высоких и умеренных давлениях по данным изучения флюидных и расплавных включений в минералах. Автореферат дисс. на соискание ученой степени доктора геол.-мин. наук. Иркутск, 2006, 33с.

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 кряж, Россия // Геохимия, 2008, №4, с. 438-444.

Томиленко А. А., Чепуров А. А., Сонин В. М., Бульбак Т. А., Логвинова А. М., Жимулев Е. И., Тимина Т. Ю., Чепуров А. И. Состав летучих компонентов, захваченных алмазами при росте в металл-углерод-силикатной системе при высоком давлении и температуре // Геохимия, 2021, Т. 66, № 9, с. 799–810.

Томсон И.Н. Условия образования эндогенных «черных сланцев» в Приморье // Геология рудных месторождений, 1993, т. 35. №4, с. 344-351

Травин А.В. Термохронология раннепалеозойских коллизионных субдукционно-колизионных структур Центральной Азии // Геология и геофизика, 2016, 57, 3, с. 553–574.

Туркина О.М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов/ О. М. Туркина; Новосиб. гос. ун-т. – Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014. – 118 с.

Туркина О.М., Сухоруков В.П. Возрастные рубежи и условия метаморфизма мафических гранулитов в раннедокембрийском комплексе Ангаро-Канского блока (юго-запад Сибирского кратона) // Геология и геофизика, 2015, т. 56, 11, с. 1961-1986.

Шацкий В.С., Ситникова Е.С., Козьменко О.А., Палесский С.В., Николаева И.В., Заячковский А.А. Поведение несовместимых элементов в процессе ультравысокобарического метаморфизма (на примере пород Кокчетавского массива) // Геология и геофизика, 2006, т. 47, № 4, с. 485-498

Филиппов В.А., Рябинин В. Ф., Сысоева З.З. Гагарское золоторудное месторождение на Среднем Урале, Россия // Геология рудных месторождений, 2013, т. 55, № 1, с. 33-47

Флоровская В.Н., Зезин Р.Б., Овчинникова Л.Н. и др. Диагностика органических веществ в горных породах и минералах магматического и гидротермального происхождения. М.: Наука, 1984, 250с.

Халенёв В.О. Изотопный состав гелия и аргона как критерий рудоносности интрузивов Норильского района // Автореферат дис.... кандидата геолого-минералогических наук, Санкт-Петербург, 2010, 18 с.

Хироси Омото, Роберт О. Рай. Изотопы серы и углерода (в монографии Геохимия гидротермальных рудных месторождений, М.: Мир, 1982, с. 405-450.

Чухров Ф.В. Минералы. Справочник, т. 1, М. 1960, 616 с.

Щегольков Ю.В., Таусон В.Л., Медведев В.Я., Почекунина М.В., Иванова Л.А., Липко С.В. Взаимодействие поверхности элементного золота с флюидами – ключ к пониманию механизмов переконденсации и мобилизации золота в эндогенных и экзогенных условиях // Докл. РАН, 2007, т. 412, № 6, с. 810-813

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

Andersen T., Austrheim H., Burke E.A.J., Elvevold S. N₂ and CO₂ in deep crustal fluids: Evidence from the Caledonides of Norway // Chemical Geology, 1993, v. 108, p. 113–132

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

Barnicoat A.C., Fare R.J., Groves D.I, McNaughton N.I. Syn-metamorphic lode-gold deposits in high-grade Archean settings // Geology, 1991, v.19, p. 921-924

Bau M., Rare-earth element mobility during hydrothermal and metamorphic fluid-rock interaction and the significance of the oxidation state of europium// Chemical Geology, 1991, v.93, p. 219-230.

Bateman R., Hagemann S. Gold mineralisation throughout about 45Ma of Archaean orogenesis: protracted flux of gold in the Golden Mile, Yilgarn craton, Western Australia. Mineralium Deposita, 2004, v. 39, p. 536–559.

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.

Bodnar R.J. Introduction to aqueous fluid systems // Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation. Mineral. Assoc, Canada, Short Course, 32, 2003, p. 81-99.

Bodnar R.J., Lecumberri-Sanchez P., Moncada D., Steele-MacInnis M. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits // Treatise on Geochemistry (Second Edition), 2014, v. 13, p. 119-142.

Bottrell S.H., Miller M.F. The geochemical behavior of nitrogen compounds during the formation of black shale hosted quartz-vein gold deposit, North Wales // Appl. Geochem., 1990, v. 5, № 3, p. 289-296.

Bowers T.S. The deposition of gold and other metals: pressure-induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures // Geochimica and Cosmochimica Acta, 1991, v. 55, p. 2417-2434

Böhlke, J.K., Orogenic (metamorphic-hosted) gold-quartz veins: U.S. Geological Survey Open-fi le Report, 1982, v. 82–795, p. 70-76.

Brown P. E. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid-inclusion data // American Mineralogist, 1989, v. 74, p. 1390-1393

Brown P. E. and Steffen G. Hagemann. MacFlinCor and its application to fluids in Archean lode-gold deposits // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, v. 59, №19, p. 3943–3952.

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 // ACROFI VII, IGGCAS, Beijing, 2018, Abstract Volume, p. 19-20.

Burrows D.R., Wood P.C., Spooner E.T.C. Carbon isotope evidence for a magmatic origin for Archaean gold quartz vein ore deposits // Nature, 321, 1986, p. 851-854
Burke E.A. Raman microspectrometry of fluid inclusions // Lithos, 55, 2001, p. 139-158

Cameron E.M. Archaean gold: relation to granulite formation and redox zoning in the crust // Geology, 1988, v. 16, p. 109-112

Chen J., Fu L., Selby D., Wei J., Zhao X.u., Zhou H. Multiple episodes of gold mineralization in the East Kunlun Orogen, western Central Orogenic Belt, China: Constraints from Re-Os sulfide geochronology // Ore Geology Reviewes, 2020, 123.

Cherlow, J.M., Porto, S.P.S. "Laser Raman Spectroscopy of Gases", in Laser Spectroscopy of Atoms and Molecules, ed. by H. Walther, Topics in Applied Physics, v.2, 1976, Chap.4, p. 253–282

Collins P.L.F. Gas hydrates in CO_2 -bearing fluid inclusions and the use of freezing data bar estimation of salinity // Economic Geology, 1979, v.74, p.1435-1444.

Craig. H. Isotope standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectroscopic analysis of carbon dioxide // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1957, v. 12, p. 133-149

Craw D., Campbell J.R. Tectonic and structural setting for active mesothermal gold vein systems, Southern Alps, New Zealand // Journal of Structural Geology, 26, 2004, p. 995–1005.

Dalrymple G. B. Age of the Hawaiian–Emperor bend / G. B. Dalrymple, D. A. Clague // Earth Planet. Sci. Letters, 1976, v. 31, p. 313–329.

Ding, Q.-F., Jiang, S.-Y., Sun, F.-Y., Qian, Y.e., Wang, G. Origin of the Dachang gold deposit, NW China: Constraints from H, O, S, and Pb isotope data // Int. Geol. Rev., 2013, 55, 15, p. 1885–1901.

Duan Z., Moller N. and Weare J. H. An equation of state for the $CH_4 - CO_2 - H_2O$ system: I. Pure systems from 0 to 1000°C and 0 to 8000 bars // Geochimica et Cosmochimica Acta, 56, 1992a, p. 2605–2617.

Duan Z., Moller N. and Weare J.H. An equation of state for the CH_4 - CO_2 - H_2O system: II. Mixtures from from 50 to 1000°C and 0 to 1000 bars // Geochimica and Cosmochimica Acta, 1992 b, v. 56, p. 2619–2631.

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 // Geochimica et Cosmochimica Acta, 60, 1996, p. 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. Mineral., № 1, 1989, p. 517-534.

Feng C.Y., Zhang D.Q., Wang F.C., She H.Q., Li D.X., Wang Y. Multiple orogenic processes and geological characteristics of the major orogenic gold deposits in East Kunlun Area, Qinghai Province // Acta Geoscientica Sinica, 2004, 25, 415–422 (in Chinese with English abstract).

Feng L.Q., Gu X.X., Zhang Y.M., Shen H., Xu J.C., Kang J.Z. Genesis of the gold deposits in the Kunlun River area, East Kunlun, Qinghai Province: Constraints from geology, fluid inclusions and isotopes // Ore Geology Reviews, 2021, 139.

Frimmel H. E. Earth's continental crustal gold endowment // Earth Planet Sci Lett. 267, 2008, p. 45–55.

Gaboury D. Does gold in orogenic deposits come from pyrite in deeply buried carbon-rich sediments?: Insight from volatiles in fluid inclusions // Geology, 41, 2013, p. 1207–1210.

Gaboury D. The neglected involvement of organic matter in forming large and rich hydrothermal orogenic gold deposits // Geosciences, 2021, v. 11, 344.

Gautheron C., Moreira M., Allegre C. He, Ne and Ar composition of the European lithosperic mantle // Chemical Geology, 2005, v. 217, p. 97–112

Gizé A.F. Organic alteration in hydrothermal sulfide ore deposits // Economic geology, 1999, v. 94, p. 967–980.

Gizé A.F., Macdonald R. Generation of compositionally atypical hydrocarbons in CO2-rich geologic environments // Geology, 1993, v. 21, p. 129-132.

Goldfarb R.J., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis // Ore Geology Reviews, 2001, v. 18, p. 1–75.

Goldfarb R.J., Baker T., Dube B., Groves D.I., Hart C.J.R., Gosselin P., Distribution, character, and genesis of gold deposits in metamorphic terranes, *in* Hedenquist, J. W., Thompson, J. F. H., Goldfarb, R. J., and Richards, J. P., eds., Economic Geology. 100th Anniversary Volume 1905–2005: Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists, 2005, p. 407–450.

Goldfarb R.J., Pitcairn. I. Orogenic gold: is a genetic association with magmatism realistic? // Mineralium Deposita, 2022, 58, p. 5–35.

Goldfarb R.J., Santosh M. The dilemma of the Jiaodong gold deposits: are they unique? // Geoscience Frontiers, 2014, 5, p. 139–153.

Groves D.I., Goldfarb R.J., Robert F., Hart C.J.R. Gold deposits in metamorphic belts: overview of current understanding, outstanding problems, future research, and exploration significance // Economic Geology, 2003, v.98, p. 1-29.

Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F., Orogenic gold deposits: a proposed classifi cation in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // Ore Geology Reviews, 1998, v. 13, p. 7–27.

Groves D.I., Santosh M., Zhang L. A scale-integrated exploration model for orogenic gold deposits based on a mineral system approach // Geoscience Frontiers, 2020, 11, p. 719–738.

Hardie L.A. Origin of CaCl₂ brines by basalt-seawater interaction insights provided by some simple mass balance calculations // Contrib. Mineral. Petrol, 1983, v. 82, p. 205-213.

Heyen G., Ramboz C., Dubessy J. Stimulation des équilibres de phases dans le système $CO_2 - CH_4$ en dessous de 50°C et de 100 bar. Application aux inclusions fluids // C. R. Acad. Sc., 1982, Série 2, t. 294, p. 203–206.

Hodkiewicz P.F, Groves D.I, Davidson G.J, Weinberg R.F, Hagemann S.G. Influence of structural setting on sulfur isotopes in Archean orogenic gold deposits, Eastern Goldfields Province, Yilgarn, Western Australia // Mineral Deposita, 2009, v. 44, p. 129–150

Hu M., Chou I., Wang R., Shang L., Chen C. High solubility of gold in H_2S - $H_2O \pm NaCl$ fluids at 100–200 MPa and 600–800°C: a synthetic fluid inclusion study // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2022, 330, p. 1-2

Ishihara S. Sasaki A. Paired sulfur isotopic belts: Late Cretaceous-Paleogene ore deposits of Southwest Japan // Bull. Geol. Surv. Japan. 2002, v. 53 (5/6), p. 461-477.

Jiang S.Y., Yu J.M., Lu J.J. Trace and rare-earth element geochemistry in tourmaline and cassiterite from Yunlong tin deposit, Yunnan, China: implication for migmatite-hydrothermal fluid evolution and ore genesis // Chemical geology, 2004, v. 209, p. 193-213

Kerrich R., Goldfarb R., Groves D., Garwin S. The geodynamics of worldclass gold deposits: characteristics, space-time distributions, and origins // Reviews in Economic Geology, 2000, 13, p. 501-551.

Large R.R., Bull S.W, Maslennikov V.V. A carbonaceous sedimentary sourcerock model for Carlin type and orogenic gold deposits // Economic Geology, 2011, p. 331–358.

Mao J., Wang Y., Li H., Pirajno F., Zhang C., Wang R. The relationship of mantle derived fluid to gold metallogenesis in the Jiaodong Peninsula: evidence from D-O-C-S isotope systematic // Ore Geology Reviews, 2008, v. 33, p. 361-381.

Mathez E.A., Dietrich V.J., Irving A.J. The geochemistry of carbon in mantle peridotites // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1984, v. 48, p. 1849-1859.

McCollom T.M. The influence of minerals on decomposition of the n-alkul-aamino acid norvaline under hydrothermal conditions // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2013, v. 104, p. 330-357.

McCollom T.M., Seewald J.S., Simoneit B.R.T. Reactivity of monocyclic aromatic compounds under hydrothermal conditions // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, v. 65, p. 455-458.

McMillan P.F., Hess A.C. Ab initio valence force field calculations for quartz // Physics and Chemistry of Minerals, 1990, 17, p. 97–107.

Mernagh T.P., Bierlein F.P. Transport and precipitation of gold in Phanerozoic metamorphic terranes from chemical modeling of fluid-rock interaction // Economic Geology, 2008, v. 103, p. 1613-1640

Migdisov A., Guo X., Williams-Jones A., Sun C., Vasyukova O., Sugiyama I., Fuchs S., Pearce K., Roback R. Hydrocarbons as ore fluids // 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 // Economic Geology, 2008, v. 103, № 4, p. 801-827

Monecke T., Kempe U., Götze J. Genetic significance of the trace element content in metamorphic and hydrothermal quartz: a reconnaissance study // Earth and Planetary Science Letters, 2002, p. 709-724.

Möller, P., Kersten, G. Electrochemical accumulation of visible gold on pyrite and arsenopyrite surfaces // Mineralium Deposita, 1994, v. 29, p. 404-413

Naden J., Shepherd Th. Role of methane and carbon dioxide in gold deposition // Nature, 1989, v.342, № 6521, 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 rations // Proceedings XXVII Workshop on geothermal reservoir engineering, Stanford University, Stanfard, 2002, p. 28–30.

Ohmoto H. Sistematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits // Econ. Geol., 1972, 67, № 5, p. 551-575

Ohmoto H., Rye R.O. Isotopes of sulfur and carbon, in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, Second edition: New York, John Wiley and Sons, 1979, p. 509-567

Phillips G.N., Powell R. Formation of gold deposits: A metamorphic devolatilization model: Journal of Metamorphic Geology, 2010, v. 28, p. 689–718

Pitcairn I.K, Olivo G.R, Teagle D.AH, Craw D. Sulfide evolution during prograde metamorphism of the Otago and Alpine Schists, New Zealand. Can Mineral. 2010, 48, 1267–1295.

Regis T., Kerkhof M. A., Dubessy J. VX properties of CH_4 - CO_2 and CO_2 - N_2 fluid inclusions: modeling for T<31°C and P <400 bars // Eur. J. Mineral., 1994, v. 6, Nº 6, p. 753-771.

Ridley J.R., Diamond L.W. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // Reviews in Economic Geology, 2000, v. 13. p. 141-162.

Ridley J., Mengler F. Lithological and structural controls on the form and setting of vein stockwork orebodies at the Mount Chariotte gold deposit, Kalgoorlie. // Economic Geology, 2000, v. 95, p. 85-99.

Ridley J., Mikuchi E.J., Groves D.I. Archean lode gold deposits: fluid flow and chemical evolution in vertically extensive hydrothermal systems // Ore Geology Reviews, 1996, v.10, p. 279-293.

Robert F., Kelly W.C. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibe green-stone belt, Quebec, Canada // Economic Geology, 1987, v. 82, p. 1464-1482.

Salier B.P., Groves D.I., McNaughton N.J., Fletcher I.R. Geochronological and stable isotope evidence for widespread orogenic gold mineralization from a deep-seated fluid source at ca 2.65 Ga in the Laverton gold province, Western Australia // Economic Geology, 2005, v. 100 p. 1363-1388.

Sarangi S., Sarkar A., Srinivasan R., Patel S.C. Carbon isotope studies of auriferous quartz carbonate veins from two orogenic gold deposits from the Neoarchean Chitradurga schist belt, Dharwar craton, India: Evidence for mantle/magmatic source of auriferous fluid // Journal of Asian Earth Sciences, 2012. v. 52, p.1-11.

Sazonov A.M., Gertner I.F., Zviagina E.A., Tishin P.A., Poleva T.V., Leont'ev S.I., Kolmakov Y.V., Krasnova T.S. Ore-forming conditions of the Blagodat gold 149

deposit in the Riphean metamorphic rocks of the Yenisey ridge according to geochemical and isotopic data // Journal of Siberian Federal University // Engineering & Technologies, 2009, № 2, p. 203-229.

Schoell M. Multiple origins of methane in the Earth // Chemical Geology, 1988, v. 71, p. 1-10.

Schwandner F.M., Seward T.M., Gize A.P., Hall K., Dietrich V.J. Halocarbons and other trace heteroatomic organic compounds in volcanic gases from Vulcano (Aeolian islands, Italy) // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2013, v. 101, p. 191-221.

Seewald J.S. Aqueous geochemistry of low molecular weight hydrocarbons at elevated temperatures and pressures: constraints from mineral buffered laboratory experiments // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2001, v.65, p. 1641-1664.

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, 10-90.

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 // Economic Geology, 2004, v. 99, p. 1643-1663.

Sokol E., Kozmenko O., Smirnov S., Sokol I., Novikova S., Tomilenko A., Kokh S., Ryazanova T., Reutsky V., Bulbak T., Vapnik Y., Deyak M. Geochemical assessment of hydrocarbon migration phenomena: Case studies from the southwestern margin of the Dead Sea Basin // Journal of Asian Earth Sciences, 2014, 93, p. 211-228

Steed G.M., Morris J.H. Isotopic evidence for the origin of a Caledonian goldarsenopyrite-pyrite deposit at Clontibret, Ireland // Institution of Mining and Metallurgy Transactions, v. 106, Section B, p. 109-118. Sun S.S. McDonough W.F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geological Society Special Publication, 1989, 42, p. 313-345.

Taylor S.R, McLennan S.M. The continental crust: its composition and Evolution. Oxford: Blackwell.1985.

Thiéry R., Kerkhof A. M., Dubessy J. vX properties of $CH_4 - CO_2$ and $CO_2 - N_2$ fluid inclusions: modelling for T < 31°C and P < 400 bars // Eur. J. Mineral, 1994, v. 6, No 6, p. 753–771.

Tolstikhin I.N, Kamensky I.L, Marty B., Nivin V.A, Vetrin V.R, Balaganskaya E.G, Ikorsky S.V, Gannibal M.A, Weiss D., Verhulst A., Demaiffe D. Rare gas isotopes and parent trace elements in ultrabasic-alkaline-carbonatite complexes, Kola Peninsula: identification of lower mantle plume component // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2002, v. 66, № 5, p. 881-901

Tolstikhin I.N., Marty B. The evolution of terrestrial volatiles: a view from helium, neon, argon and nitrogen isotope modeling // Chemical Geology, 1998, v. 147, p. 27-52.

Tomkins A.G. Windows of metamorphic sulfur liberation in the crust: implications for gold deposit genesis // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2010, 74 p. 3246–3259

Tomkins A. G. On the source of orogenic gold // Geology, 2013a, 4, p. 1255–1256.

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) // Economic Geology, 2010, v. 105, p. 375-394.

Tuba G., Kontak D. J., Choquette B. G., Pfister J., Hastie E. C.G., van Hees E. H.P. Fluid diversity in the gold-endowed Archean orogenic systems of the Abitibi greenstone belt (Canada) I: constraining the PTX of prolonged hydrothermal systems // Ore Geology Reviews, 2021, v. 135, p. 1-31.

Vanko D.A., Bodnar R.J., Sterner S.M. Synthetic fluid inclusions: VIII. Vaporsaturated halite solubility in part of the system NaCl-CaCl₂-H₂O, with application to fluid inclusions from oceanic hydrothermal systems // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1988, v.52, p. 2451-2456.

Van Reenen D.D., Pretorius A.I., Roering C. Characterization of fluids associated with gold mineralization and with regional high-temperature retrogression of granulites in the Limpopo belt, South Africa // Geochimica et Cosmochimica Acta, 1994, v.58, № 3, p. 1147-1159

Vilor N.V. Gold in black shales // Geochemistry International, 1983, v. 20, p. 167–177

Weatherley D. K, Henley R. W. Flash vaporization during earthquakes evidenced by gold deposits // Nature Geoscince, 2013, 6, p. 294–298

Williams-Jones A. E., Bowell R. J., Migdisov A. A. Gold in solution // Elements, 2009, № 5, p. 281–287.

Wilson C.J.L., Schaubs P., Leader L.D. Mineral precipitation in the quartz reefs of the Bendigo gold deposit, Victoria, Australia: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 2013, v. 108, p. 259–278

Xu G. Fluid inclusions with NaCl-CaCl₂-H₂O composition from the Cloncurry hydrothermal system, NW Queensland, Australia // Lithos, 2000, 53, p. 21-35.

Zhai W., Zheng S., Zhang L., Sun X., Liang J., Fu B., Zhao J., Guo H., Zhang Y., Han S., Wang W. In situ pyrite sulfur isotope and trace element analyses of the world-class Dachang gold deposit, northern Qinghai-Tibetan Plateau: Implications for metallogenesis // Ore Geology Reviews, 2021, 138, 104347.

Zhang R.C., Sun D., Zhang R., Lin W.F., Macias-Montero M., Patel J., Askari S., McDonald C., Mariotti D. & Maguire P. Gold nanoparticle-polymer nanocomposites synthesized by room temperature atmospheric pressure plasma and their potential for fuel cell electrocatalytic application // Scientific Reports, 2017, v. 7, Article number: 46682.

Zhong R, Brugger J, Tomkins A.G, Chen Y, Li W. Fate of gold and base metals during metamorphic devolatilization of a pelite // Geochimica et Cosmochimica Acta, 2015, 171, p. 338–352

Zwart E.W., Touret J.L.R. Melting behaviour and composition of aqueous fluid inclusions in fluorite and calcite: applications with the system $H_2O-CaCl_2-NaCl$ // Eur. J. Mineral, 1994, No 6, p. 773-786.

Yardley B.W.D., Cleverley J.S. The role of metamorphic fluids in the formation of ore deposits // Geological Society, London, Special Publication, 2015, 393, p. 117–134

Yardley B.W.D, Bodnar R. Fluids in the continental crust // Geochemical Perspectives, 2014, v. 3, № 1, p.1-125

Приложение 1. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирита (№ БГ-13-44) из Центрального участка Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

Брутто- формула	Название	¹ CAS	² MW	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины									
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.25	0.165				
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	7.42	0.176				
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	17.51	0.263				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.71	2.207				
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	21.81	3.419				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	24.60	3.854				
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.12	0.971				
C ₁₂ H ₂₆	н-Додекан	112-40-3	170	36.77	0.845				
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	50.22	0.531				
	Циклич	еские углеводор	оды	•	•				
Арены									
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	18.10	1.284				
C ₈ H ₁₀	1, 3-Диметилбензол	108-38-3	106	20.44	3.623				
СЧ	1-Метил-4-(1-	1105 32 0	132	26.36	1 1 9 5				
$C_{10}\Pi_{12}$	метилэтенил)-бензол	1195-52-0	132	20.30	1.165				
	Кислородсод	цержащие углево	одороды						
Спирты и эфи	ры								
$C_4H_{10}O$	Этиловый эфир	60-29-7	74	12.19	0.222				
$C_4H_{10}O$	2-Метил-1-пропанол	78-83-1	74	15.35	2.451				
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.97	0.317				
Альдегиды									
C_4H_8O	2-Метилпропаналь	78-84-2	72	13.37	0.209				
$C_{5}H_{10}O$	3-Метилбутаналь	590-86-3	86	16.30	1.096				
$C_5H_{10}O$	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.88	0.739				
$C_6H_{12}O$	н-Гексаналь	66-25-1	100	19.38	2.253				
$C_7H_{14}O$	н-Гептаналь	111-71-7	114	21.53	7.723				
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	22.17	3.607				
$C_8H_{16}O$	н-Октаналь	124-13-0	128	24.27	2.037				
$C_{9}H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	28.64	3.419				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	36.06	2.467				
Кетоны									
C_3H_6O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	11.0	1.145				
C_4H_8O	2-Бутанон	78-93-3	72	14.23	0.659				
$C_7H_{14}O$	3-Гептанон	106-35-4	114	21.19	3.284				
C ₈ H ₈ O	Метилфенилкетон	98-86-2	120	25.51	0.991				
Карбоновые кі	іслоты								
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	15.20	3.173				
Другие									
C ₉ H ₁₈ O	1-(1-Бутенилокси)-(Z)- пентан	56052-76-7	142	23.13	0.479				

Азотсодержащие соединения								
C ₃ H ₇ NO	Диметилформамид	68-12-2	73	18.41	1.465			
Серосодержащие соединения								
O_2S	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.97	15.654			
CS_2	Сероуглерод	75-15-0	76	10.92	2.003			
	Неорг	анические соедин	ения					
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.44	13.153			
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.73	12.931			

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

ТІС – общая ионная хроматограмма.

<u>г</u>			-		1				
ьрутто- формула	Название	¹ CAS	2 MW	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины									
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.93	0.096				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.61	2.585				
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	21.61	0.594				
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	30.87	0.347				
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	31.53	1.338				
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	40.72	1.152				
$C_{14}H_{30}$	н-Тетрадекан	629-59-4	198	53.79	1.102				
$C_{15}H_{32}$	н-Пентадекан	629-62-9	212	72.92	4.918				
	Цикличе	еские углеводо	роды						
Арены									
C_6H_6	Бензол	71-43-2	78	15.26	0.928				
	Кислородсод	ержащие угле	водороды						
Спирты									
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.82	1.291				
Альдегиды									
C_4H_8O	н-Бутаналь	123-72-8	72	13.77	0.245				
$C_6H_{12}O$	н-Гексаналь	66-25-1	100	19.13	3.259				
$C_7H_{14}O$	н-Гептаналь	111-71-7	114	21.16	0.336				
$C_8H_{16}O$	2-Этилгексаналь	123-05-7	128	22.70	34.099				
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	26.40	2.638				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	31.26	3.059				
Кетоны									
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	11.15	0.268				
C ₄ H ₈ O	2-Бутанон	78-93-3	72	14.10	0.281				
$C_5H_{10}O$	3-Метил-2-бутанон	563-80-4	86	16.66	0.748				
$C_6H_{12}O$	3-Гексанон	589-38-8	100	17.40	1.844				
$C_9H_{18}O$	2-Нонанон	821-55-6	142	26.08	0.436				
	Азотсоде	ржащие соеди	нения						
C ₃ H ₇ N	Азетидин	503-29-7	57	14.88	0.524				
	Серосоде	ржащие соеди	нения						
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.99	0.007				
CS_2	Сероуглерод	75-15-0	76	10.91	0.080				
	Кремнийорі	анические сос	единения						
Силоксаны									
	Гексаметил-	541.05.0	222	21.83	20 187				
C61118O3S13	циклотрисилоксан	541-05-9		21.03	27.10/				
	Неоргани	ические соеди	нения	•	•				
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.13	4.578				
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.06	4.057				

Приложение 2. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении галенита (№ 13-39) из Центрального участка Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме.TIC – общая ионная хроматограмма.

	1,5			· ·	
Брутто-	Название	¹ CAS	2 MW	³ RT, мин	⁵ A, %
φοριτιγιία	Алифатич	 еские углевол	оролы		
Парафины	T		ороды		
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.95	0.319
C_2H_6	Этан	74-84-0	30	2.67	0.089
C ₃ H ₈	н-Пропан	74-98-6	44	7.23	0.054
C ₆ H ₁₄	н-Гексан	110-54-3	86	14.08	0.082
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.56	1.448
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	26.54	0.128
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	38.52	0.113
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	39.64	0.279
$C_{14}H_{30}$	н-Тетрадекан	629-59-4	198	53.64	0.802
C ₁₅ H ₃₂	н-Пентадекан	629-62-9	212	77.70	2.622
	Кислородсод	ержащие угле	водороды		
Спирты		1	1	1	1
$C_8H_{18}O$	2-Этил-1-гексанол	104-76-7	130	24.31	0.249
Альдегиды	1	ſ		T	T
C_4H_8O	н-Бутаналь	123-72-8	72	12.87	0.067
$C_5H_{10}O$	3-Метилбутаналь	590-86-3	86	15.60	0.039
$C_5H_{10}O$	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.30	0.124
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	19.02	1.147
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	21.25	0.142
C ₈ H ₁₆ O	2-Этилгексаналь	123-05-7	128	22.52	2.431
$C_8H_{16}O$	н-Октаналь	124-13-0	128	23.35	1.082
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	26.35	0.575
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	31.20	0.677
Кетоны		67 64 1	50	0.10	0.072
C_3H_6O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	9.19	0.073
C_4H_8O	2-Бутанон	/8-93-3	12	13.12	0.076
$C_8H_{16}O$	2-Октанон	111-13-7	128	23.18	0.606
$C_9H_{18}O$	2-Нонанон	821-55-6	142	26.07	0.089
$C_{13}H_{26}O$	2-1ридеканон	593-08-8	198	/4.//	0.081
CUN	Азотсоде	ржащие соеди	нения 57	12.65	0.015
$C_3\Pi_7$ N	2-метилазиридин	73-33-8	37	13.03	0.013
$C_4\Pi_8N_2O$	2-пропилкароамид	337-11-9	100	14.89	0.032
COS	Серосоде	ржащие соеди	нения 60	4.0	0.001
COS	Саронилсульфид	403-38-1	76	4.0	0.001
	Сербуглерод	75-15-0	70	10.90	0.007
Cutorcauti	Кремнииорг	анические сое	динения		
Силоксины	Гексаметиц				
$C_6H_{18}O_3Si_3$	поксамотил-	541-05-9	222	21.74	1.265
	<u>нально грисилоксан</u> Неолган	 	ения	l	1
N ₂	Азот	7727-37-9	2.8	1.86	0.250
CO_2	Лиоксил углерода	124-38-9	44	2.14	75.352
H_2O	Вола	7732-18-5	18	4 73	9 663
1120		7752 10 5	10	1.75	7.005

Приложение 3. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении сфалерита (№ 13-48) из Центрального участка Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service;

²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

ТІС – общая ионная хроматограмма.

Брутто- формула	Название	¹ CAS	2 MW	³ RT, мин	⁵ A, %			
φοριηγιια	Алифатич	еские углевол	оролы					
Парафины								
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.19	0.068			
C_2H_6	Этан	74-84-0	30	3.76	0.004			
C_3H_8	н-Пропан	74-98-6	44	7.65	0.012			
C_5H_{12}	н-Пентан	109-66-0	72	10.37	0.022			
C_6H_{14}	н-Гексан	110-54-3	86	14.37	0.013			
$C_7 H_{16}$	н-Гептан	142-82-5	100	18.59	0.017			
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.73	0.079			
C_9H_{20}	н-Нонан	111-84-2	128	26.53	0.057			
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	39.30	0.026			
$C_{10}H_{22}$	Декан (изомер)	x	142	39.93	0.039			
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	35.81	0.020			
$C_{12}H_{26}$	н-Лодекан	112-40-3	170	36.92	0.015			
C ₁₃ H ₂₈	н-Трилекан	629-50-5	184	42.09	0.103			
$C_{14}H_{30}$	н-Тетралекан	629-59-4	198	50.25	0.065			
$C_{15}H_{32}$	н-Пенталекан	629-62-9	212	35.29	0.257			
$C_{15}H_{32}$	Пенталекан (изомер)	x	212	63.24	0.027			
C ₁₆ H ₃₄	н-Гексалекан	544-76-3	226	56.36	0.292			
$C_{16}H_{34}$	Гексалекан (изомер)	x	226	84.29	0.027			
$C_{17}H_{26}$	н-Гепталекан	629-78-7	240	90.40	0.154			
Олефины			• •	,				
C _o H ₁₆	2-Октен	111-67-1	112	22.36	0.069			
- 3 10	Шикличе	ские углеволо	ролы					
Ииклоалкань	і (нафтены)		P *0					
G II	1-Метил-2-пентил-	41055.05.1	10.6	26.22	0.024			
C_9H_{18}	циклопропан	41977-37-1	126	26.23	0.024			
Арены		1		I.	1			
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.55	0.050			
	Кислородсод	ержащие угле	водороды	1				
Спирты								
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32	6.08	0.053			
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.88	0.135			
C ₄ H ₁₀ O	2-Метил-1-пропанол	78-83-1	74	14.17	0.027			
C ₄ H ₁₀ O	1-Бутанол	71-36-3	74	15.09	0.110			
C ₈ H ₁₈ O	2-Этил-1-гексанол	104-76-7	130	30.33	0.067			
Альдегиды	•							
CHO	Этаналь	75.07.0	4.4	6.5.4	0.052			
C_2H_4O	(=ацетальдегид)	/5-0/-0	44	0.54	0.052			
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.87	0.019			
C ₄ H ₈ O	2-Метилпропаналь	78-84-2	72	11.72	0.023			
C ₄ H ₈ O	н-Бутаналь	123-72-8	72	12.60	0.012			
C ₅ H ₁₀ O	3-Метилбутаналь	590-86-3	86	15.94	0.013			
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.98	0.021			
$C_6H_{12}O$	н-Гексаналь	66-25-1	100	21.38	0.042			
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	25.50	0.054			
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	29.24	0.083			

Приложение 4. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№ БГ-13-45) из Центрального участка Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

	и Цонанали	124 10 6	142	32 67	0.076				
C ₉ II ₁₈ O	н-пональ	124-19-0	142	32.07	0.070				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	36.25	0.042				
Кетоны									
C_3H_6O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	9.22	0.117				
C_4H_8O	2-Бутанон	78-93-3	72	12.72	0.125				
$C_{5}H_{10}O$	2-Пентанон	107-87-9	86	16.74	0.015				
$C_6H_{12}O$	2-Гексанон	591-78-6	100	21.11	0.059				
$C_4H_6O_2$	Бутиролактон	96-48-0	86	23.09	0.084				
$C_7H_{14}O$	2-Гептанон	110-43-0	114	25.18	0.026				
C ₈ H ₁₆ O	2-Октанон	111-13-7	128	28.92	0.025				
Серосодержащие соединения									
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	4.97	0.001				
CS_2	Сероуглерод	75-15-0	76	9.70	0.023				
O_2S	Диоксид серы	7446-09-5	64	7.79	0.006				
	Кремнийорг	анические сое	динения						
Силоксаны									
	Гексаметил-	541.05.0	222	26 77	0.014				
$C_6 \Pi_{18} O_3 S I_3$	циклотрисилоксан	541-05-9		20.77	0.014				
	Неоргани	ческие соедин	нения						
N_2	Азот	7727-37-9	28	3.09	0.169				
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.40	37.911				
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.95	59.150				
		~	1	•					

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service;

 2 MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме.

ТІС – общая ионная хроматограмма.

Брутто-	Название		2 MW	³ RT мин	⁵ A %
формула	Пазвание	CIID	111 11	KI, MIII	11, 70
	Алифатич	еские углевод	ороды		
Парафины	M	74.02.0	16	1.05	0.207
CH_4		74-82-8	10	1.95	0.397
C_6H_{14}	з-метиллентан	90-14-0	80 96	12.54	0.090
C_6H_{14}	н-і ексан	110-54-3	80	13.20	0.378
C_7H_{16}	н-і ептан	142-82-5	100	17.45	0.195
C_8H_{16}	3-Метиленгептан	1632-16-2	112	19.37	1.277
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.28	0.440
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	31.07	0.607
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	39.13	0.581
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	40.44	0.410
$C_{14}H_{30}$	н-Тетрадекан	629-59-4	198	54.96	1.131
$C_{15}H_{32}$	н-Пентадекан	629-62-9	212	80.16	0.274
Олефины		1			-
C ₈ H ₁₆	(Е)-3-Октен	14919-01-8	112	19.56	1.598
	Кислородсод	ержащие угле	водороды		
Спирты					
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.97	0.351
Альдегиды					
$C_5H_{10}O$	2-Метилбутаналь	96-17-3	86	16.8	0.319
$C_{5}H_{10}O$	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.79	0.359
$C_6H_{12}O$	н-Гексаналь	66-25-1	100	19.20	1.378
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	23.48	0.896
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	26.59	1.515
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	31.59	2.846
Кетоны	1				
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	10.63	0.435
C ₄ H ₈ O	2-Бутанон	78-93-3	72	14.08	1.076
$C_6H_{12}O$	2-Гексанон	591-78-6	100	19.11	0.816
$C_4H_6O_2$	Бутиролактон	96-48-0	86	20.46	0.475
$C_8H_{16}O$	2-Октанон	111-13-7	128	23.30	0.178
Лругие	4	1		1	1
	2-Изопропокси)-1-	44.00 50 0	100	10.10	0.000
$C_6H_{12}O$	пропен	4188-63-0	100	18.42	0.220
	Гетероцик.	лические соел	инения		
Фураны			-		
$C_0H_{14}O$	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	22.82	0.440
- 9 14 -	Серосоле	ожашие соели	нения		
CS ₂	Сероуглерол	75-15-0	76	10.99	0.735
C ₂ H _c S ₂	Лиметил лисульфил	624-92-0	94	17.09	0.084
$O_2 S_1 O_2 S_2$	Лиоксил серы	7446-09-5	64	6 64	0.866
020	Кремнийорг	анические сое	линения	0.01	0.000
Силоксаны			<u> </u>		
	Гексаметил-				
$C_6H_{18}O_3Si_3$	циклотрисилоксан	541-05-9	222	21.89	43.280
	Октаметил-		201	25.55	0.576
$C_8H_{24}O_4S1_4$	циклотетрасилоксан	556-67-2	296	26.65	0.576

Приложение 5. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирита (№ Б-2-а) из Красноярской минерализованной зоны Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

Неорганические соединения								
CO_2	СО ₂ Диоксид углерода 124-38-9 44 2.14 34.426							
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.49	1.351			

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service;

 2 MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме. TIC – общая ионная хроматограмма.

	_			1	
Брутто- формула	Название	¹ CAS	² MW	³ RT, мин	⁵ A, %
φοριηγιία	Алифатич	і Іеские углевол	оролы		
Парафины		<u>, , , , , , , , , , , , , , , , , , , </u>			
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.96	0.044
C ₂ H ₆	Этан	74-84-0	30	2.74	2.195
C ₃ H ₈	н-Пропан	74-98-6	44	7.32	0.223
C ₆ H ₁₄	н-Гексан	110-54-3	86	14.97	0.201
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.70	0.578
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	31.08	0.845
C ₁₂ H ₂₆	н-Додекан	112-40-3	170	31.61	0.829
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	40.11	0.871
C ₁₄ H ₃₀	н-Тетрадекан	629-59-4	198	55.04	0.923
C ₁₅ H ₃₂	н-Пентадекан	629-62-9	212	80.31	0.280
	Кислородсод	ержащие угле	водороды		•
Альдегиды					
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.83	0.416
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	19.23	1.493
$C_7H_{14}O$	н-Гептаналь	111-71-7	114	21.26	0.369
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	26.59	0.830
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	31.62	0.829
Кетоны					
C_3H_6O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	11.26	0.252
C_4H_8O	2-Бутанон	78-93-3	72	14.17	0.281
$C_6H_{12}O$	3-Гексанон	589-38-8	100	17.43	0.193
	Азотсодеј	ржащие соеди	нения		
C ₃ H ₇ N	2-Метилазиридин	75-55-8	57	14.67	0.155
	Серосодеј	ржащие соеди	нения		
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	4.07	9.532
CS_2	Сероуглерод	75-15-0	76	10.96	0.337
	Кремнийорг	анические сое	единения		
Силоксаны		1		r	1
$C_6H_{18}O_3Si_3$	Гексаметил- циклотрисилоксан	541-05-9	222	21.82	23.361
CIL OS.	Октаметил-	556 67 0	201	26.64	0.200
$C_8H_{24}O_4S_{14}$	циклотетрасилоксан	556-67-2	296	26.64	0.209
	Неоргани	ические соеди	нения		
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.16	47.657
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.42	7.097

Приложение 6. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении халькопирита (№ Б-19) из Красноярской минерализованной зоны Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service;

 2 MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме.

TIC – общая ионная хроматограмма.

Брутто- формула	Название	¹ CAS	2 MW	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины	1				1				
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.16	0.047				
C ₂ H ₆	Этан	74-84-0	30	3.75	0.004				
C_3H_8	н-Пропан	74-98-6	44	7.77	0.005				
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	9.07	0.010				
C ₅ H ₁₂	н-Пентан	109-66-0	72	10.52	0.016				
$C_{6}H_{14}$	н-Гексан	110-54-3	86	14.37	0.012				
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.60	0.020				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.73	0.007				
C_9H_{20}	н-Нонан	111-84-2	128	26.55	0.014				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	32.37	0.023				
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	33.31	0.150				
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	38.22	0.015				
C ₁₄ H ₃₀	н-Тетрадекан	629-59-4	198	49.54	0.047				
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан (изомер)	Х	198	50.28	0.077				
C ₁₅ H ₃₂	н-Пентадекан	629-62-9	212	62.62	0.032				
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан (изомер)	Х	212	63.28	0.188				
C ₁₆ H ₃₄	н-Гексадекан	544-76-3	226	84.11	0.027				
Олефины	1	•		•	•				
C ₈ H ₁₆	2-Октен	111-67-1	112	22.40	0.002				
	Цикличе	ские углеводо	роды	•	•				
Циклоалкан	ы (нафтены)		•						
CII	1-Метил-2-пентил-	41077 27 1	126	26.28	0.046				
$C_{9}\Pi_{18}$	циклопропан	419/7-37-1	120	20.28	0.040				
Арены									
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	14.95	0.058				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.56	0.063				
	Кислородсоде	ержащие угле	водороды						
Спирты									
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32	6.09	0.124				
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.88	0.193				
C ₃ H ₈ O	н-Пропанол	71-23-8	60	10.97	0.013				
$C_4H_{10}O$	2-Метил-1-пропанол	78-83-1	74	14.19	0.032				
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.10	0.060				
C ₈ H ₁₈ O	2-Этил-1-гексанол	104-76-7	130	30.38	0.010				
$C_{10}H_{22}O$	н-Деканол	112-30-1	158	36.89	0.047				
Альдегиды									
СНО	Этаналь	75.07.0	4.4	6.52	0.016				
$C_2\Pi_4O$	(=ацетальдегид)	73-07-0	44	0.55	0.010				
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.92	0.015				
C ₄ H ₈ O	2-Метилпропаналь	78-84-2	72	11.72	0.012				
C_4H_8O	н-Бутаналь	123-72-8	72	12.60	0.019				
C ₅ H ₁₀ O	3-Метилбутаналь	590-86-3	86	15.96	0.095				
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	17.01	0.034				
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	21.41	0.051				
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	25.53	0.032				

Приложение 7. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№ Б-23) из Красноярской минерализованной зоны Богунайского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	29.28	0.014				
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	32.72	0.053				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	36.29	0.090				
Кетоны									
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон (=ацетон)	67-64-1	58	9.20	0.029				
C ₄ H ₈ O	2-Бутанон	78-93-3	72	12.73	0.043				
$C_{5}H_{10}O$	2-Пентанон	107-87-9	86	16.76	0.013				
$C_6H_{12}O$	2-Гексанон	591-78-6	100	21.14	0.035				
$C_4H_6O_2$	Бутиролактон	96-48-0	86	23.11	0.042				
$C_7H_{14}O$	2-Гептанон	110-43-0	114	25.21	0.021				
$C_8H_{16}O$	2-Октанон	111-13-7	128	28.95	0.016				
$C_{10}H_{20}O$	2-Decanone			35.83	0.038				
	Азотсодер:	жащие соеди	нения						
C ₃ H ₇ N	2-Метилазиридин	75-55-8	57						
	Серосодер	жащие соеди	нения						
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	4.95	0.001				
CS_2	Сероуглерод	75-15-0	76	9.67	0.032				
O_2S	Диоксид серы	7446-09-5	64	7.79	0.047				
	Кремнийорга	нические сое	динения						
Силоксаны									
	Гексаметил-	541.05.0	222	26.77	0.011				
$C_6 \Pi_{18} O_3 S I_3$	циклотрисилоксан	541-05-9		20.77	0.011				
	Неорганич	ческие соедин	нения						
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.39	59.818				
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.77	38.082				

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service;

²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме.

TIC – общая ионная хроматограмма.

месторождени	я, сниссискии кряж								
ьрутто- формула	Название	¹ CAS	MW^2	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины			1		1				
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	11.88	0.010				
$C_{7}H_{16}$	н-Гептан	142-82-5	100	15.69	0.015				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.55	0.006				
C_9H_{20}	н-Нонан	111-84-2	128	23.16	0.007				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.49	0.003				
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.48	0.013				
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	32.28	0.009				
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	35.12	0.013				
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	39.03	0.022				
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	44.83	0.020				
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	55.96	0.004				
C17H36	Гептадекан	629-78-7	240	64.40	0.011				
Олефины				I	1				
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9	56	6.45	0.019				
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	11.72	0.016				
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	18.82	0.004				
C10H20	1-Децен	872-05-9	140	26.02	0.008				
C ₁₆ H ₃₂	1-Гексадецен	112-41-4	168	53.71	0.018				
	Цикли	ческие углевод	ороды						
Арены									
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.10	0.189				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.51	0.021				
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	21.58	0.017				
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.22	0.012				
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.31	0.009				
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.19	0.010				
C13H20	Гептилбензол	1078-71-3	176	37.86	0.003				
C ₁₄ H ₂₂	Октилбензол	2189-60-8	190	43.07	0.009				
	Кислородс	одержащие угл	еводороды	-					
Спирты и эф	иры								
CH4O	Метанол	67-56-1	32	5.93	0.028				
C ₅ H ₈ O ₂	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.48	0.009				
C8H4O3	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	38.72	0.038				
Альдегиды									
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58	8.47	0.035				
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.14	0.083				

Приложение 8. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирита (№ 406-199.6) Герфедского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C-H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	14 84	0.019
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.00	0.002
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	23.87	0.004
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	25.70	0.008
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	27.18	0.003
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	30.30	0.016
C ₁₀ H ₂₀ O	н-Деканаль	112-31-2	156	32.51	0.020
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	35.70	0.013
C ₁₂ H ₂₄ O	Додеканаль	112-54-9	184	39.79	0.006
Кетоны		•	•		
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	8.97	0.047
C4HcO2	2(3Н)-Фуранон-дигидро-	06.48.0	96	21.02	0.007
02	Бутиролактон	90-48-0	80	21.92	0.007
C7H14O	2-Гептанон	110-43-0	114	22.59	0.013
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	27.87	0.006
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Тридеканон	593-08-8	198	40.58	0.005
Карбоновые кі	іслоты			1	I
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.37	0.082
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	16.19	0.003
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	19.80	0.004
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	23.52	0.007
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая	142-62-1	116	26.83	0.009
	Гетероции	лические сое ди	нения		
Фенолы					
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	25.95	0.004
Фураны			•		
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	12.93	0.006
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	10.79	0.005
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	27.20	0.009
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	21.00	0.003
С ₁₀ Н ₁₆ О	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	29.94	0.011
	Серосод	ержащие соедин	ения		
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	4.82	44.849
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84	12.96	0.008
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.09	0.010
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.47	0.312
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	20.96	0.007
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112	21.41	0.003
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.57	0.006
C ₈ H ₁₂ S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140	28.51	0.004
C8H12S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.07	0.005
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.21	0.008

C ₁₀ H ₁₆ S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.15	0.011		
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	37.78	0.006		
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	880-36-4	196	44.74	0.028		
C ₁₃ H ₂₂ S	2-Нонилтиофен	57754-07-1	210	50.93	0.009		
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.87	12.597		
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.27	1.158		
Неорганические соединения							
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.16	8.975		
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.27	31.008		

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в peecrp Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

ТІС – общая ионная хроматограмма.

Брутто-			22 634	300	5.4.0/			
формула	Название	CAS	⁻ MW	^с КТ, мин	°A, %			
Алифатические углеводороды								
Парафины	I	-			1			
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.06	0.356			
С ₂ Н ₆	Этан	74-84-0	30	2.74	0.558			
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	15.64	0.011			
C_9H_{20}	н-Нонан	111-84-2	128	23.11	0.097			
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.55	0.245			
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.38	0.160			
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	32.25	0.545			
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	35.05	0.272			
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	38.82	1.922			
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	44.55	1.646			
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	56.40	0.021			
C ₁₇ H ₃₆	Гептадекан	629-78-7	240	67.79	0.045			
C ₁₈ H ₃₈	Октадекан	593-45-3	254	107.28	0.040			
Олефины								
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	11.70	0.257			
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.47	0.009			
C8H16	1-Октен	111-66-0	112	18.81	0.008			
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	25.93	0.022			
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	31.66	0.021			
	Цикл	ические углево	дороды					
Арены								
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	12.92	2.260			
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.40	0.371			
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	21.26	0.012			
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	24.76	0.130			
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.16	0.082			
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.23	0.150			
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.11	0.179			
C ₁₃ H ₂₀	Гептилбензол	1078-71-3	176	37.66	0.048			
C ₁₄ H ₂₂	Октилбензол	2189-60-8	190	42.82	0.014			
C ₁₆ H ₂₆	Децилбензол	104-72-3	218	59.74	0.025			
C ₁₇ H ₂₈	Ундецилбензол	6742-54-7	232	86.77	0.034			
	Кислород	содержащие уг	леводороді	ы				
Спирты и эфг	иры							
CH4O	Метанол	67-56-1	32	5.97	0.028			

Приложение 9. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№ 406-199.6) Герфедского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.36	0.014
C8H4O3	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	38.60	0.136
C14H12O2	Фенилметиловый эфир бензойной кислоты	120-51-4	212	74.21	0.007
C ₁₅ H ₂₂ O ₂	Октиловый эфир бензойной кислоты	94-50-8	234	79.22	0.080
C ₁₄ H ₁₈ O ₂	Циклогексилметиловый эфир бензойной кислоты		218	87.00	0.049
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Дипропилфталат	131-16-8	250	93.78	0.017
C ₁₈ H ₂₆ O ₄	Дипентилфталат	131-18-0	306	122.35	0.080
Альдегиды	·		·		
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58	7.63	0.046
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.34	0.010
C ₄ H ₈ O	Бутаналь	123-72-8	72	11.58	0.300
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	14.78	0.238
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	19.96	0.193
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	23.74	0.247
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	25.62	0.288
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	27.09	0.074
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	29.75	0.029
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	33.03	0.154
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	35.56	0.026
C12H24O	Додеканаль	112-54-9	184	39.67	0.121
C ₁₃ H ₂₆ O	Тридеканаль	10486-19-8	198	46.84	1.222
Кетоны	•	-			
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	8.54	0.092
C ₄ H ₆ O ₂	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	21.52	0.337
C ₈ H ₈ O	1-фенилэтанон	98-86-2	120	29.21	0.132
C ₈ H ₁₆ O	2-Октанон	111-13-7	128	26.37	0.049
C9H ₁₈ O	2-Нонанон	821-55-6	142	27.79	0.009
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	30.18	0.127
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Ундеканон	112-12-9	170	33.58	0.940
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Додеканон	6175-49-1	184	36.03	0.030
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Тридеканон	593-08-8	198	40.34	0.043
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Тетрадеканон	2345-27-9	212	47.78	0.240
Карбоновые ки	ислоты				•
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	11.93	3.375
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	15.92	0.241

C ₄ H ₈ O ₂	Бутановая		107-92-6		88	19.55	0.427	
C5H10O2	Пентановая		109-52-4		102	23.27	0.115	
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая		142-62-1		116	26.59	0.203	
C7H14O2	Гептановая кислота		111-14-8		130	29.76	0.008	
C ₈ H ₁₆ O ₂	Октановая кислота		124-07-2		144	32.53	0.068	
	Гетероции	кли	ческие соеди	не	ния			
Фенолы							-	
C ₆ H ₆ O	Фенол	10	8-95-2	9	4	25.97	0.005	
Фураны								
C5H6O	3-Метилфуран	93	80-27-8	8	2	12.72	0.052	
C5H6O	2-Метилфуран	53	84-22-5	8	2	10.69	0.332	
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	69	5-06-7	1	00	26.13	0.004	
C7H10O	2-Пропилфуран	42	29-91-8	1	10	18.23	0.008	
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	44	66-24-4	1	24	20.85	0.052	
C9H14O	2-Пентилфуран	37	77-69-3	1	38	25.67	0.233	
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран	37	77-70-6	1	52	28.61	0.016	
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	37	77-71-7	1	66	32.74	0.179	
Серосодержащие соединения								
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	62	24-92-0	9	4	16.00	0.083	
SO ₂	Диоксид серы	74	46-09-5	6	4	5.09	15.595	
C5H6S	2-Метилтиофен	55	4-14-3	9	8	16.98	0.161	
C5H6S	3-Метилтиофен	61	6-44-4	9	8	17.36	0.164	
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	87	2-55-9	1	12	20.91	0.064	
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	17	95-01-3	1	12	21.38	0.010	
C7H10S	2-Пропилтиофен	15	51-27-5	1	26	24.52	0.120	
C8H12S	3-Бутилтиофен	34	722-01-5	1	40	28.46	0.034	
C ₈ H ₁₂ S	2-Бутилтиофен	14	55-20-5	1	40	27.99	0.086	
C9H14S	2-Пентилтиофен	48	61-58-9	1	54	31.14	0.063	
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Гексилтиофен	18	3794-77-9	1	68	34.07	0.049	
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18	3794-78-0	1	82	37.68	0.043	
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	88	80-36-4	1	96	42.86	0.020	
C ₁₃ H ₂₂ S	2-Нонилтиофен	57	754-07-1	2	210	50.82	0.011	
C ₁₄ H ₂₄ S	2-Децилтиофен	24	769-39-9	2	24	59.41	0.203	
C ₁₅ H ₂₆ S	3-Ундецилтиофен	12	29607-86-9	2	.38	86.58	0.006	
COS	Карбонилсульфид	46	53-58-1	6	0	3.84	1.042	
CS ₂	Сероуглерод	75	5-15-0	7	6	8.28	0.229	
	Неорган	иче	ские соедин	ені	ия			
H ₂ O	Вода	77	/32-18-5	1	8	4.16	18.233	
CO ₂	Диоксид углерода	12	4-38-9	4	4	2.24	42.828	

N2	Азот	7727-37-9	28	1.88	0.574

Примечания: ¹САЅ – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

ТІС – общая ионная хроматограмма.

Брутто-	*		N (33.2 ²)	300	54.0/				
формула	Название	CAS ⁷ (NIST)	MW ²	"КТ, МИН	°A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины									
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.09	0.046				
C ₂ H ₆	Этан	74-84-0	30	2.81	0.026				
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	11.85	0.078				
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	15.83	0.008				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.67	0.246				
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.20	0.138				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.53	0.010				
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.59	0.064				
C ₁₂ H ₂₆	н-Додекан	112-40-3	170	32.39	0.089				
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	35.21	0.092				
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	39.16	0.039				
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	44.95	0.101				
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	54.00	0.012				
C ₁₇ H ₃₆	Гептадекан	629-78-7	240	67.75	0.004				
C18H38	Октадекан	593-45-3	254	89.45	0.023				
Олефины			•						
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9	56	6.51	0.019				
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.64	0.026				
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	18.93	0.017				
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	31.80	0.013				
	Циклич	еские углеводор	оды						
Арены									
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.06	1.047				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.59	0.118				
C ₈ H ₁₀	1,3-Диметилбензол	108-38-3	106	21.40	0.018				
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	21.67	0.207				
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	24.92	0.084				
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.34	0.085				
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.41	0.053				
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.31	0.138				
C ₁₃ H ₂₀	Гептилбензол	1078-71-3	176	37.99	0.025				
C ₁₄ H ₂₂	Октилбензол	2189-60-8	190	43.21	0.043				
	Кислородсод	ержащие углев	одороды	•					
Спирты и эфи	ры								
CH4O	Метанол	67-56-1	32	5.89	0.004				
C ₅ H ₈ O ₂	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.53	0.057				
C8H4O3	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	39.00	0.230				

Приложение 10. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении жильного кварца (№ 406-199.6) Герфедского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

$C_{16}H_{22}O_{4}$	Либутилфталат	$C_{16}H_{22}O_{4}$	278	66.01	0.005
Альдегиды	Дибутилфталат	01012204	270	00.01	0.005
C3H6O	Пропаналь	123-38-6	58	8.77	0.181
C4H4O	Ацетальлегил (этаналь)	75-07-0	44	6.28	0.097
C4H8O	Бутанаць	123-72-8	72	11.71	0.106
C5H4O2	2-Фуранкарбоксальдегид	98-01-1	96	20.79	0.071
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	14.93	0.140
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.11	0.176
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	23.90	0.064
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	25.81	0.098
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	27.28	0.141
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	29.93	0.004
C ₁₀ H ₂₀ O	н-Деканаль	112-31-2	156	33.21	0.119
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	35.84	0.003
C ₁₂ H ₂₄ O	Додеканаль	112-54-9	184	40.09	0.011
C ₁₃ H ₂₆ O	Тридеканаль	10486-19-8	198	46.25	0.033
Кетоны	•			•	
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.09	0.251
C ₄ H ₆ O ₂	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.93	0.121
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	27.99	0.004
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	30.37	0.153
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Додеканон	6175-49-1	184	36.01	0.011
Карбоновые кі	ислоты	1			
C ₂ H ₄ O ₂	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.06	1.792
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	16.07	0.175
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	19.65	0.227
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	23.45	0.085
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая	142-62-1	116	26.78	0.146
C7H14O2	Гептановая кислота	111-14-8	130	30.06	0.008
	Гетероцик	лические соеди	нения		
Фенолы					
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	26.16	0.004
Фураны	l			1	
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	11.06	0.039
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	10.80	0.267
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	29.37	0.023
C ₆ H ₈ O	2-Этилфуран	3208-16-0	96	14.48	0.003
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	18.41	0.007
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	22.31	0.007
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	25.83	0.109
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	29.05	0.012

C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	32.00	0.011					
Серосодержащие соединения										
$C_2H_6S_2$	Диметилдисульфид	624-92-0	94	6.17	0.034					
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	5.29	0.496					
C ₄ H ₄ S	Тиофен	110-02-1	84	12.94	0.002					
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.16	0.014					
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.55	0.077					
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	21.05	0.021					
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112	21.52	0.004					
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.67	0.056					
C8H12S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140							
C8H12S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.16	0.005					
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.31	0.053					
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.27	0.016					
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	37.97	0.026					
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	880-36-4	196	43.26	0.040					
C ₁₃ H ₂₂ S	2-Нонилтиофен	57754-07-1	210	53.97	0.024					
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.98	0.009					
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.34	0.096					
	Азотсоде	ржащие соедин	ения							
N2	Азот	7727-37-9	28	1.99	2.540					
C9H17N	Нонаненитрил	2243-27-8	139	32.92	0.020					
C10H19N	Деканенитрил	1975-78-6	153	36.35	0.012					
	Неорган	ические соедин	ения	•	-					
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.16	8.975					
CO_2	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.27	31.008					

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме.

ТІС – общая ионная хроматограмма.

1 ,2,1,1									
Брутто- формула	Название	¹ CAS	² MW	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины									
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.05	6.064				
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	11.98	0.102				
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	15.77	0.016				
C8H18	Октан	111-65-9	114	19.65	0.091				
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.20	1.158				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.55	0.167				
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.56	0.268				
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	32.36	0.203				
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	35.20	0.117				
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	53.91	0.248				
C ₁₇ H ₃₆	Гептадекан	629-78-7	240	68.10	0.090				
C ₁₈ H ₃₈	Октадекан	593-45-3	254	89.37	0.161				
Олефины									
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	11.75	0.084				
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.70	0.029				
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	18.97	0.147				
C9H18	1-Нонен	124-11-8	126	22.37	0.058				
С10Н20	1-Децен	872-05-9	140	26.14	0.042				
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	31.74	0.073				
	Циклич	еские углеводор	оды	•					
Арены									
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.15	2.904				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.57	0.333				
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	21.67	0.079				
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.34	0.061				
С11Н16	Пентилбензол	538-68-1	148	31.40	0.234				
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.31	0.211				
	Кислородсо	цержащие углев	одороды	1					
Спирты и эфи	ры								
CH4O	Метанол	67-56-1	32	5.63	8.525				
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.54	0.090				
Альдегиды	1	1		1					
C3H6O	Пропаналь	123-38-6	58	8.55	0.754				
C4H8O	Бутаналь	123-72-8	72	12.33	0.124				
C5H4O2	2-Фуранкарбоксальдегид	98-01-1	96	20.72	0.277				
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.13	0.038				

Приложение 11. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца гранулированного (№ 393-45.5а) Герфедского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	23.93	0.056					
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	25.82	0.439					
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	27.30	0.099					
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	30.37	0.172					
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	33.21	0.217					
Кетоны	Кетоны									
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.03	1.204					
C4H6O2	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.98	0.329					
Карбоновые ки	ислоты									
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.53	0.195					
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	16.48	0.131					
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	20.00	0.042					
	Гетероци	клические соеди	нения	·	·					
Фенолы	-	_	_							
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	25.89	0.083					
Фураны										
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	11.15	0.086					
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	10.82	0.443					
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	29.43	0.359					
C ₆ H ₈ O	2-Этилфуран	3208-16-0	96	14.51	0.045					
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	18.34	0.108					
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	22.97	0.048					
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	27.24	0.060					
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	32.01	0.082					
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	34.85	0.170					
	Серосод	ержащие соедин	ения							
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	5.23	14.581					
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84	13.02	0.163					
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.16	0.149					
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	21.04	0.088					
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.65	0.037					
C ₈ H ₁₂ S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140	28.61	0.061					
C ₈ H ₁₂ S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.16	0.190					
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.31	0.166					
C10H16S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.24	0.174					
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.91	0.443					
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.32	2.494					
	Неорган	ические соедин	ения							
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.53	1.762					
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.27	51.610					

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической

колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме. TIC – общая ионная хроматограмма.

Брутто-	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %
формула	Алифати	Ческие углевол	ролы		
Парафины		reckie jinebog	роды		
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.06	0.355
C ₂ H ₆	Этан	74-84-0	30	2.78	0.356
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	12.02	0.031
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	16.16	0.026
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.69	0.045
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.25	0.050
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.58	0.022
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.60	0.038
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	32.75	0.070
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	35.27	0.045
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	39.22	0.073
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	45.02	0.026
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	54.08	0.042
C17H36	Гептадекан	629-78-7	240	68.50	0.028
C18H38	Октадекан	593-45-3	254	89.42	0.045
Олефины					
C4H8	1-Бутен	106-98-9	56	6.54	0.030
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.76	0.025
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	26.25	0.010
_	Циклич	еские углеводо	роды		
Арены	· · · · ·	× •			
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.25	0.756
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.73	0.033
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	21.73	0.049
C9H12	Припилбензол	103-65-1	120	24.97	0.043
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.38	0.074
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.56	0.053
C12H18	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.36	0.030
_	Кислородсо	держащие углев	водороды		
Спирты и эфи	ры	A V	•		
CH4O	Метанол	67-56-1	32	6.05	0.043
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.62	0.020
Альдегиды	X X				
C3H4O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.59	0.157
C ₄ H ₄ O	Ацетальдегид (Этаналь)	75-07-0	44	6.32	0.923
C4H8O	Бутаналь	123-72-8	72	11.82	0.068
C5H4O2	2-Фуранкарбоксальдегид	98-01-1	96	20.92	0.008
C5H10O	2-Метилбутаналь	96-17-3	86	15.08	0.026
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.24	0.032
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	23.98	0.088
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	25.90	0.376
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	27.38	0.090

Приложение 12. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении жильного кварца (№404-144.7) Герфедского золоторудного месторождения, Енисейский кряж
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	30.00	0.023
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	33.29	0.140
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	35.92	0.035
C ₁₂ H ₂₄ O	Додеканаль	112-54-9	184	40.18	0.049
С ₁₃ H ₂₆ О	Тридеканаль	10486-19-8	198	46.78	0.043
Кетоны					0.44
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.07	0.417
C ₄ H ₆ O ₂	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	24.03	0.049
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	30.46	0.043
Карбоновые кі	ислоты				
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.40	1.340
C ₃ H ₆ O ₂	Пропановая кислота	79-09-4	74	16.29	0.031
C4H8O2	Бутановая кислота	107-92-6	88	19.85	0.055
C5H10O2	3-метилбутановая кислота	503-74-2	102	22.57	0.032
C5H10O2	Пентановая кислота	109-52-4	102	23.68	0.005
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая кислота	142-62-1	116	26.96	0.023
	Гетероция	клические соеди	нения	•	•
Фенолы	-				
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	25.97	0.066
Фураны	-				
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	11.22	0.038
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	10.82	0.062
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	29.57	0.046
C ₆ H ₈ O	2-Этилфуран	3208-16-0	96	14.53	0.058
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	18.44	0.018
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	22.37	0.006
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	25.88	0.057
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	29.10	0.028
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-гептилфуран	3777-71-7	166	32.05	0.026
C ₁₂ H ₂₀ O	2-н-октилфуран	4179-38-8	180	34.88	0.013
	Серосодо	ержащие соедин	ения	•	1
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	16.26	0.036
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	5.24	2.487
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.95	3.271
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.35	0.671
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84	13.08	0.016
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.25	0.041
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.63	0.053
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	21.13	0.035
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112	21.53	0.024
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.72	0.043
C8H12S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.22	0.012
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.38	0.019
C10H16S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.36	0.030
C11H18S	2-Гептиптиофен	18794-78-0	182	38.03	0.051
C12H20S	2-Октиптиофен	880-36-4	196	43.44	0.035
~121200		000-00-4	170	-J	0.055

Неорганические соединения									
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.36	7.250				
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.25	62.912				
N ₂ A _{30T} 7727-37-9 28 1.99 16.003									

Примечания: ¹САS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей

всех компонентов в TIC-хроматограмме.

Брутто- формула	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %			
Алифатические углеводороды								
Парафины	-	-	2					
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.06	0.213			
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	11.83	0.049			
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	15.72	0.070			
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.60	0.119			
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.18	0.136			
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.45	0.141			
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.49	0.082			
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	32.30	0.052			
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	35.16	0.158			
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	38.04	0.048			
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	44.81	0.531			
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	53.84	0.018			
Олефины	-							
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9	56	6.14	0.075			
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	11.72	0.313			
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.52	0.090			
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	18.87	0.012			
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	26.02	0.008			
C ₁₁ H ₂₂	1-Ундецен	821-95-4	154	29.29	0.027			
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	31.71	0.005			
C ₁₆ H ₃₂	1-Гексадецен	629-73-2	224	53.67	0.028			
	Циклич	еские углеводор	оды					
Арены			I	I	1			
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.01	3.266			
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.49	0.502			
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	21.29	0.021			
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	24.82	0.028			
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.24	0.076			
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.32	0.101			
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.22	0.060			
C ₁₃ H ₂₀	Гептилбензол	1078-71-3	176	37.84	0.063			
C ₁₄ H ₂₂	Октилбензол	2189-60-8		43.05	0.030			
	Кислородсод	цержащие углев	одороды					
Спирты и эфи	ры							
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32	5.42	0.546			
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.45	0.099			
C14H18O4	Дипропилфталат	131-16-8	250	93.56	0.052			
Альдегиды	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	·	•	·	·			
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.40	0.017			
C4H4O	Ацетальдегид (Этаналь)	75-07-0	44					
C5H4O2	2-Фуранкарбоксальдегид	98-01-1	96	20.64	0.101			

Приложение	13.	Результаты	хромато-масс-спектрометрического	(GC/MS)	анализа	газовой	фазы,
извлеченной і	три у	дарном разру	ишении пирита (№404-144.7) Герфедс	кого золот	орудного	месторож	дения,
Енисейский к	ряж						

C5H10O	2-Метилбутаналь	96-17-3	86	14.82	0.200			
C5H10O	Пентаналь	110-62-3	86	15.99	0.126			
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.04	0.120			
$C_{7}H_{14}O$	н-Гептаналь	111-71-7	114	23.83	0.256			
C ₆ H ₆ O ₂	5-метил-2- фуранкарбоксальдегид	620-02-0	110	25.42	0.034			
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	25.70	0.335			
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	27.21	0.051			
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	29.80	0.010			
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	32.54	0.057			
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	35.67	0.082			
C ₁₂ H ₂₄ O	Додеканаль	112-54-9	184	39.87	0.018			
C ₁₃ H ₂₆ O	Тридеканаль	10486-19-8	198	45.77	0.037			
Кетоны			50	0.77	0.427			
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	8.75	0.437			
C4H6O2	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	21.56	0.526			
C ₈ H ₈ O	1-Пентилэтанон	98-86-2	120	29.27	0.022			
C9H18O	2-Nonanone	821-55-6	142	27.87	0.016			
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	30.29	0.098			
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Ундеканон	112-12-9	170	33.12	0.082			
Карбоновые кислоты								
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.11	1.877			
C ₃ H ₆ O ₂	Пропановая кислота	79-09-4	74	16.07	0.056			
C4H8O2	Бутановая кислота	107-92-6	88	19.61	0.205			
C5H10O2	3-метилбутановая кислота	503-74-2	102	22.29	0.053			
C5H10O2	Пентановая кислота	109-52-4	102	23.43	0.018			
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая кислота	142-62-1	116	26.72	0.023			
	Гетероции	клические соеди	нения					
Фенолы								
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	25.84	0.033			
Фураны		-	-					
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	12.95	0.014			
C ₅ H ₆ O	2-Метилфуран	534-22-5	82	10.70	0.052			
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	27.19	0.029			
C ₆ H ₈ O	2-Этилфуран	3208-16-0	96					
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	18.30	0.013			
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	20.91	0.009			
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	26.70	0.027			
C10H16O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	29.91	0.028			
C11H18O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	32.87	0.049			
C12H20O	2-н-Октилфуран	4179-38-8	180	34.72	0.043			
-12-200	Серосол	ержашие соелин	ения	52	5.0.15			
C2H6S2	Лиметиллисульфил	624-92-0	94	16.11	0.043			
SO2	Лиоксил серы	7446-09-5	64	5.15	16.251			
COS	Карбонилсульфил	463-58-1	60	3.88	5.682			
	······································		~~					

cs ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.29	0.280			
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84					
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.05	0.126			
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.44	0.103			
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	20.98	0.036			
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112	21.42	0.004			
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.58	0.061			
C ₈ H ₁₂ S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.05	0.012			
C8H12S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140	28.52	0.011			
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.32	0.101			
C10H16S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.17	0.048			
C11H18S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	37.86	0.018			
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	880-36-4	196	43.07	0.022			
Неорганические соединения								
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.18	37.314			
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.25	27.413			

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто-	Название	¹ CAS	² MW	³ RT, мин	⁵ A, %			
Алифатические углеводороды								
Парафины								
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.09	1.317			
C2H6	Этан	74-84-0	30	2.78	0.040			
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.51	0.046			
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	12.13	0.763			
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	16.11	0.048			
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.92	0.067			
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.52	0.125			
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	26.50	0.025			
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	29.95	0.108			
C ₁₂ H ₂₆	н-Додекан	112-40-3	170	33.53	0.188			
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	35.50	0.073			
С ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	39.52	0.064			
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	45.50	0.123			
C ₁₆ H ₃₄	Гексадекан	544-76-3	226	54.70	0.017			
Олефины	r		-	1				
C4H8	1-Бутен	106-98-9	56	6.37	0.152			
C ₄ H ₈	2-Бутен	107-01-7	56	6.61	0.024			
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	11.91	0.090			
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.90	0.122			
C ₈ H ₁₆	2-Октен	111-66-0	112	19.51	0.080			
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	26.21	0.151			
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	33.04	0.062			
	Цикли	ческие углеводо	роды					
Арены			-1					
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.31	2.729			
C_7H_8	Толуол	108-88-3	92	17.88	0.553			
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	21.68	0.013			
C8H10	1,3-Диметилбензол	108-38-3	106	21.97	0.541			
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	25.22	0.030			
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.62	0.049			
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.69	0.073			
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.63	0.109			
C ₁₃ H ₂₀	Гептилбензол	1078-71-3	176	38.42	0.049			
	Кислородс	держащие угле	водороды		•			
Спирты и эфи	ры							
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32	6.09	0.037			
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.93	0.266			
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	15.83	0.419			
C8H4O3	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	39.73	0.126			
Альдегиды	• • • • • • • • • • • • • • • • • • •							
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58	8.64	0.051			

Приложение 14. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№Пн4) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₄ H ₄ O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.41	0.116
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.41	0.256
$C_6H_{12}O$	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.50	0.659
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	24.24	0.128
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.18	0.232
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	26.78	0.029
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	30.71	0.193
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	33.89	0.021
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	36.35	0.121
С12H24О	Додеканаль	112-54-9	184	40.70	0.050
C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	96	21.18	0.033
Кетоны		1		1	1
C3H6O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.09	1.238
C4H6O2	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	24.31	0.135
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	110	19.27	0.038
C8H8O	1-Фенилэтанон	98-86-2	120	29.79	0.487
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	32.62	0.076
Карбоновые кі	іслоты		1		1
$C_2 H_4 O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.39	3.305
C ₃ H ₆ O ₂	Пропановая	79-09-4	74	16.81	0.011
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	19.99	0.170
C5H10O2	3-Метилбутановая	503-74-2	102	22.77	0.037
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	23.79	0.039
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая	142-62-1	116	27.17	0.065
	Гетероции	клические соеди	нения		
Фенолы	•				
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	26.11	0.190
Фураны		-		•	
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	11.21	0.051
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	10.94	0.037
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	27.64	0.636
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	18.71	0.017
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	21.39	0.029
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	26.84	0.020
C10H16O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	30.36	0.036
C11H18O	2-н-Гептицфуран	3777-71-7	166	33.28	0.111
C12H20O	2-н-Октинфуран	4179-38-8	180	36.44	0.117
01211200	Серосод			50.44	0.117
C2H6S2	Лиметиплисупьфил	624-92-0	94	16.45	0.120
<u>SO2</u>	Лиоксил серы	7446-09-5	64	5 24	0.397
CAHAS	Тиофен	110_02_1	84	13.24	0.084
C5H6S	2 Marurraday	554 14 2	08	17.42	0.004
C-H-S	2-метилтиофен	554-14-5	70 09	17.45	0.024
	з-метилтиофен	010-44-4	98	17.82	0.031
C H-S	2-этилтиофен	8/2-55-9	112	21.35	0.033
C6H8S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112	21.82	0.024
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.96	0.027

C ₈ H ₁₂ S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140	28.93	0.033			
C8H12S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.47	0.035			
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.61	0.037			
C10H16S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.59	0.152			
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	38.40	0.042			
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.96	0.229			
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.44	0.493			
	Азотсоде	ржащие соедин	ения					
C7H5N	Бензонитрил	100-47-0	103	27.01	0.026			
Неорганические соединения								
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.30	28.773			
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.30	51.941			

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто- формула	Название	¹ CAS	² MW	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины									
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.13	10.140				
С2Н6	Этан	74-84-0	30	3.96	2.793				
C ₄ H ₁₀	2-метилпропан	75-28-5	58	7.16	1.253				
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.51	0.806				
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	14.29	0.500				
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.51	0.310				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.61	0.978				
C_9H_{20}	н-Нонан	111-84-2	128	26.43	1.915				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	29.93	1.544				
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	34.33	0.791				
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	41.10	0.703				
C ₁₃ H ₂₈	н-Тридекан	629-50-5	184	52.68	1.216				
C14H30	Тетрадекан	629-59-4	198	71.21	0.997				
Олефины	-								
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	13.92	0.548				
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	22.30	0.577				
	Циклич	еские углеводо	роды						
Арены									
C6H6	Бензол	71-43-2	78	14.88	0.285				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.49	0.749				
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	31.08	1.041				
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	36.22	0.380				
	Кислородсо	держащие углев	зодороды						
Спирты и эфи	ры								
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	9.53	1.028				
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.04	0.802				
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	16.74	0.390				
Альдегиды	1				1				
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58	8.87	1.744				
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.47	0.925				
C4H6O	2-Бутенаць	4170-30-3	70	14 10	0.509				
CHO	2-Метилпопаналь	78-84-2	70	11.10	0.507				
	Бутанаш	123 72 8	72	12.46	0.102				
	3 Метипбутанац	500 86 3	86	15.88	0.172				
$C_5\Pi_{10}O$	и-Пентаналь	110-62-3	86	16.91	1 728				
C_{10}	н-Гексаналь	66-25-1	100	21.34	5 772				
$C_{7}H_{14}O$	н-Гептаналь	111-71-7	114	25.39	6.424				
C ₇ H ₆ O	Бензальдегил	100-52-7	106	26.35	1.112				
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	29.52	3.045				
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	33.35	8.965				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	39.82	1.303				
Кетоны	I C C	1	•	1	1				
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.14	1.586				

Приложение 15. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№Пн4) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₄ H ₈ O	2-Бутанон	78-93-3	72	12.64	0.322			
C4H6O2	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.00	0.537			
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Бутандион	431-03-8	86	12.57	0.313			
C5H10O	2-Пентанон	107-87-9	86	16.68	0.706			
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	84	19.14	0.653			
C ₆ H ₁₂ O	2- Гексанон	591-78-6	100	21.02	0.762			
C ₇ H ₁₄ O	3-Гептанон	106-35-4	114	25.09	0.794			
C ₈ H ₁₆ O	2-Октанон	111-13-7	128	29.16	6.006			
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	32.87	0.401			
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	39.28	0.885			
Карбоновые кі	ислоты	•	·	•	·			
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	14.62	0.317			
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	22.27	0.815			
C5H10O2	3-Метилбутановая	503-74-2	102	25.18	0.540			
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	26.25	0.871			
Гетероциклические соединения								
Фенолы			1	1				
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	27.13	1.157			
Фураны		1	T	T	1			
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	16.38	0.312			
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	12.37	0.176			
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	28.86	1.135			
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	20.49	0.342			
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	24.65	0.184			
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	28.39	2.557			
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	32.33	0.699			
Серосодержащие соединения								
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	17.75	0.896			
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.05	0.187			
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	4.92	2.403			
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	9.64	0.786			
	Неорган	ические соедин	ения					
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.22	4.595			
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.37	4.774			
N2	Азот	7727-37-9	28	3.01	1.161			

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в peecrp Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто- формула	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %				
Алифатические углеводороды									
Парафины	r	-	-	1	1				
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.19	1.377				
C ₂ H ₆	Этан	74-84-0	30	3.99	0.557				
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	14.31	0.287				
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.51	1.170				
C7H14	1-Гептан	592-76-7	98	18.14	0.529				
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.61	0.301				
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	26.41	0.892				
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	29.94	0.887				
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	34.28	0.551				
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	41.10	0.494				
$C_{13}H_{28}$	н-Гридекан	629-50-5	184	52.17	0.188				
C14H30	Гетрадекан	629-59-4	198	71.18	0.827				
Олефины		10000			0.100				
C4H8	І-Бутен	106-98-9	56	7.37	0.108				
С ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	13.92	0.369				
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	22.28	0.222				
C9H18	1-Нонен	124-11-8	126	26.13	0.396				
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	29.52	1.393				
C ₁₁ H ₂₂	(Z)-2-Ундецен	821-96-5	154	34.01	0.282				
	Циклич	еские углеводо	роды						
Арены			-		1				
C6H6	Бензол	71-43-2	78	14.89	0.714				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.47	0.843				
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	23.75	0.261				
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	31.08	0.176				
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	36.17	0.446				
	Кислородсо	держащие углев	водороды						
Спирты и эфи	ры		-		1				
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.59	0.177				
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.06	0.332				
C ₄ H ₁₀ O	Этиловый эфир	60-29-7	74	10.48	0.438				
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	16.74	0.392				
Альдегиды									
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.81	0.508				
C ₄ H ₄ O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.51	0.541				
C ₄ H ₈ O	2-Метилпропаналь	78-84-2	72	11.65	0.291				
C4H8O	Бутаналь	123-72-8	72	12.49	0.241				
C ₅ H ₁₀ O	3-Метилбутаналь	590-86-3	86	15.87	0.310				
$\overline{C_5H_{10}O}$	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.92	0.204				
C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	96	20.68	0.402				
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	21.31	5.772				

Приложение 16. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№Пн12) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	25.39	1.010
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.35	1.062
C7H14O	Гептаналь	111-71-7	114	25.39	1.569
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	29.15	2.537
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	33.32	2.393
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	39.72	1.473
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	46.81	5.499
Кетоны			.	•	
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.07	0.471
C_4H_8O	2-Бутанон	78-93-3	72	12.66	0.472
C4H6O2	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.02	0.385
C4H6O2	2,3-Бутандион	431-03-8	86	12.60	0.362
C5H10O	2-Пентанон	107-87-9	86	16.67	0.107
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	84	19.28	0.141
C ₆ H ₁₂ O	2- Гексанон	591-78-6	100	21.04	0.588
C ₇ H ₁₄ O	3-Гептанон	106-35-4	114	25.09	0.607
C ₈ H ₁₆ O	6-Метил-2-гептанон	928-68-7	128	28.05	0.492
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	32.85	0.114
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	38.92	0.577
Карбоновые кі	ислоты	·	÷	•	•
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	15.90	0.242
	Гетероци	клические соеди	нения		
Фенолы		T	1	T	
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	27.13	1.803
Фураны	1	1	-		
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	12.37	0.128
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	28.66	0.616
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	20.49	0.365
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	28.38	0.178
	Серосод	ержащие соедин	ения	•	
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	17.75	0.341
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.21	0.357
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	4.97	1.263
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	9.65	0.185
	Неорган	ические сое <u>д</u> ин	ения		
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.21	1.728
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.40	56.275

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто-	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW^2	³ RT, мин	⁵ A, %			
Алифатические углеволоволы								
Парафины	A	e , ,						
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.86	4.460			
С2Н6	Этан	74-84-0	30	2.58	0.360			
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.45	0.018			
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86		0.010			
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100		0.014			
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114		0.013			
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128		0.006			
Олефины	r		-		- 1			
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9	56		0.019			
C4H8	2-Бутен	107-01-7	56		0.016			
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98		0.012			
	Цикли	ческие углеводо	роды		·			
Арены			-					
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78		0.260			
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92		0.015			
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106		0.014			
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120		0.011			
	Кислородсо	одержащие угле	водороды		·			
Спирты и эфиры								
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32		0.020			
Альдегиды		_	-					
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58		0.013			
C ₄ H ₄ O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44		0.015			
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86		0.006			
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100		0.017			
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106		0.028			
C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	96		0.023			
Кетоны	r							
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58		0.037			
C4H ₆ O ₂	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86		0.018			
Карбоновые кі	ислоты		_					
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60		0.082			
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74		0.006			
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88		0.005			
C5H10O2	3-Метилбутановая	503-74-2	102		0.012			
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102		0.007			
	Гетероци	клические соед	инения					
Фураны	• · · · · · · · · · · · · · · · · · · ·							
C ₄ H ₆ O	2,3-Дигидрофуран	1191-99-7	70	11.0	0.033			
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82		0.026			
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124		0.006			

Приложение 17. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№Пн 12) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

Серосодержащие соединения								
$C_2H_6S_2$	Диметилдисульфид	624-92-0	94		0.023			
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64		4.044			
C ₄ H ₄ S	Тиофен	110-02-1	84		0.025			
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98		0.018			
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98		0.008			
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112		0.006			
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112		0.006			
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126		0.021			
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60		0.119			
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76		0.570			
Неорганические соединения								
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.15	27.086			
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.08	60.910			
N2	Азот	7727-37-9	28	1.80	1.067			

Примечания: ¹САS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто-	Назрание	$CAS^{1}/(NIST)$	MW^2	³ RT MHH	⁵ Δ 0/2				
формула	Пазвание		101 00	кі, мин	A, 70				
Алифатические углеводороды									
Парафины		74.02.0	1.6	2.10	0.000				
CH ₄	Метан	74-82-8	16	2.10	8.008				
C2H6	Этан	/4-84-0	30	2.78	0.663				
C_4H_{10}	н-Бутан	106-97-8	58	6.51	0.121				
С6Н14	Гексан	110-54-3	86	12.22	0.041				
C_7H_{16}	н-Гептан	142-82-5	100	16.02	0.025				
C_8H_{18}	н-Октан	111-65-9	114	20.49	0.079				
C_9H_{20}	н-Нонан	111-84-2	128	23.48	0.025				
С10Н22	Декан	124-18-5	142	26.76	0.033				
С11Н24	Ундекан	1120-21-4	156	29.93	0.032				
C ₁₂ H ₂₆	Додекан	112-40-3	170	33.63	0.026				
C ₁₃ H ₂₈	Тридекан	629-50-5	184	36.25	0.026				
C14H30	Тетрадекан	629-59-4	198	39.45	0.024				
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	45.72	0.069				
C ₁₆ H ₃₄	Гескадекан	544-76-3	226	55.68	0.016				
Олефины			•						
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9	56	6.36	0.089				
C4H8	2-Бутен	107-01-7	56	6.61	0.013				
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.93	0.033				
C ₈ H ₁₆	2-Октен	13389-42-9	112	19.92	0.040				
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	26.24	0.031				
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	33.05	0.026				
	Циклич	еские углеводор	оды						
Арены									
C6H6	Бензол	71-43-2	78	13.39	0.573				
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.79	0.033				
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	21.97	0.106				
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	25.22	0.028				
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.61	0.026				
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.99	0.020				
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.66	0.015				
C ₁₃ H ₂₀	Гептилбензол	1078-71-3	176	38.38	0.059				
	Кислородсо	держащие углев	одороды						
Спирты и эфи	ры		7						
CH4O	Метанол	67-56-1	32	5.71	0.066				
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.81	0.112				
C8H4O3	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	39.68	0.017				
Альдегиды			1						
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58	8.65	0.062				
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	5.98	0.063				
C4H8O	Бутаналь	123-72-8	72	12.08	0.058				

Приложение 18. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№Пн6) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.42	0.032			
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.57	0.038			
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.20	0.054			
C7H14O	Гептаналь	111-71-7	114	24.33	0.044			
C ₈ H ₁₆ O	Октаналь	124-13-0	128	27.61	0.058			
C9H18O	Нонаналь	124-19-6	142	30.71	0.022			
C12H24O	Додеканаль	112-54-9	184	40.64	0.028			
Кетоны								
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.19	0.436			
C4H6O2	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	24.32	0.038			
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	110	19.25	0.068			
C8H8O	1-Фенилэтанон	98-86-2	120	29.81	0.029			
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	32.55	0.023			
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Тридеканон	593-08-8	198	41.43	0.037			
Карбоновые кі	ислоты							
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.51	0.859			
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	16.50	0.050			
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	20.08	0.159			
C5H10O2	3-Метилбутановая	503-74-2	102	22.94	0.012			
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	23.95	0.008			
C5H8O2	2-метил- метиловый эфир 2-пропеновой кислоты, (=Метилметилкрилат)	80-62-6	100	15.86	0.027			
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая кислота	142-62-1	116	27.19	0.039			
	Гетероции	клические соеди	нения					
Фенолы	•							
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	26.25	0.049			
C5H8O2	2Н-Пиран-2- один, тетрагидро	695-06-7	100	27.63	0.059			
Фураны		-						
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	11.02	0.051			
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	11.28	0.072			
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	21.40	0.014			
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	26.10	0.041			
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран-	3777-70-6	152	30.32	0.049			
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	33.23	0.016			
C12H20O	2-н-Октилфуран	4179-38-8	180	36.43	0.039			
	Серосоде	ержащие соедин	ения	I				
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	16.43	0.047			
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	5.23	0.544			
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84	13.23	0.052			
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.47	0.026			
C5H6S	3-Метиптиофен	616-44-4	98	17.83	0.011			
CeHeS	2-Этиптиофен	872-55-9	112	21.34	0.030			
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551_27_5	12	21.54	0.030			
~/1105		1551-27-5	140	<u>~</u> <i>)</i> /	0.052			

C ₈ H ₁₂ S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140	28.93	0.036		
C8H12S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.45	0.013		
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.59	0.009		
C10H16S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.56	0.043		
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	38.34	0.056		
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.95	0.159		
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.44	0.209		
	Азотсоде	ржащие соедине	ния				
C7H5N	Бензонитрил	100-47-0	103	26.99	0.036		
Неорганические соединения							
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	4.15	41.920		
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.08	36.243		
N2	Азот	7727-37-9	28	1.80	7.346		

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса;

³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто-	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW^2	³ RT, мин	⁵ A, %			
Алифатические углеводороды								
Парафины	A	• • • •	• • •					
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.21	0.558			
C2H6	Этан	74-84-0	30	4.00	0.685			
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.54	0.096			
C4H10	2-Метилпропан	75-28-5	58	7.17	0.052			
C5H12	Пентан	109-66-0	72	10.19	0.063			
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	14.28	0.070			
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.50	0.043			
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.61	0.040			
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	26.41	0.265			
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	29.94	0.145			
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	34.28	0.059			
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	41.04	0.055			
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	52.23	0.133			
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	71.09	0.133			
Олефины	T	I	1		I			
C4H8	2-Метил-1-пропен	115-11-7	56	7.65	0.058			
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	13.90	0.051			
C ₈ H ₁₆	1-Октен	111-66-0	112	22.28	0.076			
C ₁₁ H ₂₂	2-Ундецен	821-96-5	154	33.97	0.030			
	Цикли	ческие углеводо	роды					
Арены	-							
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	14.86	0.112			
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.47	0.079			
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	23.75	0.018			
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	31.08	0.069			
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	36.17	0.080			
	Кислородсо	одержащие углен	водороды					
Спирты и эфи	ры	••••	•					
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.10	0.090			
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	16.65	0.050			
Альдегиды	*							
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.45	0.107			
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.53	0.225			
C4H6O	2-Бутеналь	4170-30-3	70	14.11	0.045			
C U O	2-Метилпропаналь				0.040			
С4Н8О	(=изобутаналь)	78-84-2	72	11.69	0.040			
C ₄ H ₈ O	Бутаналь	123-72-8	72	12.45	0.146			
C5H10O	3-Метилбутаналь	96-17-3	86	15.87	0.076			
$C_5H_{10}O$	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.91	0.085			
C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	96	20.55	0.043			
$C_6H_{12}O$	н-Гексаналь	66-25-1	100	21.31	0.048			
$C_7H_{14}O$	н-Гептаналь	111-71-7	114	25.39	0.252			

Приложение 19. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№Пн7) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.35	0.082				
C ₈ H ₁₆ O	н-Октаналь	124-13-0	128	29.51	0.168				
C ₉ H ₁₈ O	н-Нонаналь	124-19-6	142	33.32	0.253				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	39.69	0.135				
Кетоны			r	1					
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.19	0.164				
C_4H_8O	2-Бутанон	78-93-3	72	12.61	0.099				
C ₄ H ₆ O ₂	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.00	0.034				
C4H6O2	2,3-Бутандион	431-03-8	86	12.61	0.053				
C5H10O	2-Пентанон	107-87-9	86	15.84	0.082				
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	84	19.13	0.050				
C ₆ H ₁₂ O	2- Гексанон	591-78-6	100	21.02	0.160				
C ₇ H ₁₄ O	3-Гептанон	110-43-0	114	25.08	0.584				
C8H16O	2-Октанон	111-13-7	128	29.13	0.428				
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	32.82	0.070				
Карбоновые кислоты									
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	15.45	0.059				
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	23.27	0.199				
	Гетероци	клические соеди	нения						
Фенолы			r	1					
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	27.12	0.149				
Фураны									
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	12.39	0.033				
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	28.68	0.096				
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	20.48	0.038				
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	28.38	0.064				
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	37.99	0.112				
C ₁₂ H ₂₀ O	2-н-Октилфуран	4179-38-8	180	47.29	0.068				
	Серосод	ержащие соедин	ения						
$C_2H_6S_2$	Диметилдисульфид	624-92-0	94	17.73	0.057				
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.21	-				
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	5.39	1.075				
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	9.67	0.059				
	Неорган	ические соедино	ения						
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.18	21.007				
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.42	70.326				

 СО2
 Диоксид углерода
 124-38-9
 44
 5.42
 70.320

 Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в peecrp Chemical Abstracts Service;
 2
 2
 70.320

 ²MW – номинальная масса;
 3
 8
 7
 9
 9
 9

 ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;
 3
 9
 9

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме.

Брутто-	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %
φοριαγιία	Алифати	ции ческие углеволо	ролы		
Парафины		тесние утвереде	Poder		
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.90	4.506
C2H6	Этан	74-84-0	30	2.59	0.323
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.43	0.017
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	12.01	0.146
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	16.03	0.013
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.70	0.028
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.40	0.023
C ₁₀ H ₂₂	Декан	124-18-5	142	26.64	0.011
C ₁₁ H ₂₄	Ундекан	1120-21-4	156	29.79	0.016
C ₁₂ H ₂₆	Додекан	112-40-3	170	32.42	0.007
C ₁₃ H ₂₈	Тридекан	629-50-5	184	35.30	0.041
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	39.72	0.007
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	44.95	1.134
C ₁₆ H ₃₄	Гескадекан	544-76-3	226	53.91	0.057
C ₁₇ H ₃₆	Гептадекан	629-78-7	240	72.07	0.029
C ₁₈ H ₃₈	Октадекан	593-45-3	254	97.82	0.018
C19H40	Нондекан	629-92-5	268	123.79	0.014
Олефины			•	•	
C4H8	1-Бутен	106-98-9	56	6.33	0.104
C ₄ H ₈	2-Бутен	107-01-7	56	6.58	0.012
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.14	0.015
C ₈ H ₁₆	2-Октен	13389-42-9	112	19.14	0.018
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	26.38	0.021
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	32.00	0.079
	Циклич	еские углеводор	оды	I	
Арены	· · · ·				
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	13.22	1.222
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.75	0.176
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	21.55	0.014
C8H10	1,3-Диметилбензол	108-38-3	106	21.84	0.300
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	25.05	0.023
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.48	0.029
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.56	0.015
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.46	0.079
C13H20	Гептилбензол	1078-71-3	176	38.15	0.025
C14H22	Октилбензол	2189-60-8	190	43.40	0.021
	Кислоролсо	цержащие углево	одороды		
Спирты и эфи	ры				
CH4O	Метанол	67-56-1	32	6.08	0.041
C ₈ H ₄ O ₃	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	39.39	0.047
C ₁₃ H ₁₆ O ₄	Изобутиловый метилфталат		236	67.04	0.013

Приложение 20. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№Пн7) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C14H18O4	Липропилфталат	131-16-8	250	98 16	0.020
Альдегиды	Zinipolinių iunui	101 10 0	200	20110	0.020
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	58	8.59	0.011
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.00	0.025
C ₄ H ₈ O	Бутаналь	123-72-8	72	11.07	0.025
C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	96	21.04	0.032
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.44	0.029
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.34	0.148
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.04	0.207
C7H14O	Гептаналь	111-71-7	114	24.12	0.039
C8H16O	Октаналь	124-13-0	128	27.30	0.004
C9H18O	Нонаналь	124-19-6	142	30.19	0.007
C ₁₀ H ₂₀ O	Деканаль	112-31-2	156	32.89	0.024
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7	170	36.12	0.031
C ₁₂ H ₂₄ O	Додеканаль	112-54-9	184	40.35	0.023
Кетоны				I	
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.04	0.402
C4H6O2	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	24.17	0.066
C ₈ H ₈ O	1-Фенилэтанон	98-86-2	120	24.64	0.048
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	28.21	0.002
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Ундеканон	112-12-9	170	33.38	0.155
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Тетрадеканон	2345-27-9	212	48.05	0.013
Карбоновые кі	ислоты	•	-	•	
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.27	1.188
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	16.31	0.032
C ₄ H ₈ O ₂	Бутановая	107-92-6	88	19.89	0.138
C5H10O2	3-Метилбутановая	503-74-2	102	22.62	0.019
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	23.69	0.017
C5H8O2	2-метил- метиловый эфир 2-пропеновой кислоты, (=Метилметилкрилат)	80-62-6	100	15.73	0.017
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая кислота	142-62-1	116	26.97	0.150
C7H14O2	Гептановая кислота	111-14-8	130	30.17	0.150
C8H16O2	Октановая кислота	124-07-2	144	36.83	0.022
C9H18O2	Нонановая кислота	112-05-0	158	49.48	0.019
	Гетероци	клические соеди	нения		
Фенолы					
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	26.54	0.014
C5H8O2	2H-Пиран-2- один,тетрагидро	695-06-7	100	27.49	0.046
Фураны				40.0-	0.005
C4H6O	2,3-Дигидрофуран	1191-99-7	70	10.89	0.028
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	11.13	0.024
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	19.47	0.010
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	21.25	0.015
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	27.47	0.035

C II O		2222 20 4	1.50	00.74	0.070
С10Н160	2-Гексилфуран-	3777-70-6	152	30.54	0.068
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	31.73	0.004
C ₁₂ H ₂₀ O	2-н-Октилфуран	4179-38-8	180	36.54	0.007
	Серосод	ержащие соедин	ения		
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	16.30	0.047
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	5.05	0.022
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.30	0.047
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.70	0.015
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	21.23	0.003
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.84	0.005
C ₈ H ₁₂ S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.32	0.007
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.44	0.032
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.19	0.024
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	38.14	0.024
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	880-36-4	196	43.50	0.063
C ₁₃ H ₂₂ S	2-Нонилтиофен	57754-07-1	210	53.80	0.048
C14H24S	2-Децилтиофен	24769-39-9	224	77.06	0.017
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.82	0.002
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.12	0.041
H_2S	Сероводород	7783-06-4		3.22	0.011
	Неорган	ические соедино	ения		_
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	3.86	31.736
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.12	55.880
N2	Азот	7727-37-9	28	1.85	0.109

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто-	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %	
формула	Алифати	 Ческие углеволо	ролы			
Парафины						
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.90	2.156	
С2Н6	Этан	74-84-0	30	2.62	0.212	
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.50	0.039	
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	12.13	0.226	
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	16.18	0.037	
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	19.93	0.021	
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.45	0.020	
C ₁₀ H ₂₂	Декан	124-18-5	142	26.75	0.016	
C ₁₁ H ₂₄	Ундекан	1120-21-4	156	29.82	0.016	
C13H28	Тридекан	629-50-5	184	35.44	0.055	
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	39.42	0.056	
C15H32	Пентадекан	629-62-9	212	45.31	0.136	
C ₁₆ H ₃₄	Гескадекан	544-76-3	226	54.25	0.074	
C ₁₇ H ₃₆	Гептадекан	629-78-7	240	68.15	0.059	
Олефины						
C4H8	2-Бутен	107-01-7	56	6.57	0.026	
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	15.97	0.014	
C8H16	2-Октен	13389-42-9	112	19.85	0.031	
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	32.10	0.024	
C15H30	1-Пентадецен	13360-61-7	210	45.25	0.102	
C ₁₇ H ₃₄	1-Гептадецен	6765-39-5	238	68.02	0.034	
	Циклич	еские углеводор	оды			
Арены	1	1	1	ſ		
C6H6	Бензол	71-43-2	78	13.35	0.595	
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	17.84	0.073	
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	21.63	0.014	
C8H10	1,3-Диметилбензол	108-38-3	106	21.91	0.079	
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	25.16	0.027	
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	28.85	0.018	
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	31.63	0.050	
C ₁₂ H ₁₈	Гексилбензол	1077-16-3	162	34.54	0.065	
C ₁₃ H ₂₀	Гептилбензол	1078-71-3	176	38.35	0.148	
C ₁₄ H ₂₂	Октилбензол	2189-60-8	190	43.61	0.060	
	Кислородсо,	держащие углев	одороды		•	
Спирты и эфи	ры	1	1	ſ		
CH4O	Метанол	67-56-1	32	6.05	0.179	
C8H4O3	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	39.56	0.037	
C14H18O4	Дипропилфталат	131-16-8		80.33	0.020	
Альдегиды		1	1			
C3H6O	Пропаналь	123-38-6	58	8.67	0.133	
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.37	0.287	

Приложение 21. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№Пн16) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	72	20.44	0.011			
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	20.46	0.013			
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.12	0.053			
C8H16O	Октаналь	124-13-0	128	27.61	0.020			
C ₁₀ H ₂₀ O	Деканаль	112-31-2	156	32.52	0.057			
Кетоны		_	-					
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.21	0.106			
C4H6O2	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	24.32	0.019			
Карбоновые кислоты								
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	12.68	0.102			
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	16.53	0.014			
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	20.15	0.008			
C ₅ H ₁₀ O ₂	Пентановая	109-52-4	102	23.98	0.009			
C5H8O2	2-метил- метиловый эфир 2-пропеновой кислоты, (=Метилметилкрилат)	80-62-6	100	15.94	0.021			
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая кислота	142-62-1	116	27.28	0.039			
	Гетероци	клические соеди	нения					
Фенолы		_	-					
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	26.61	0.017			
Фураны	1	1	•	Γ				
C ₄ H ₆ O	2,3-Дигидрофуран	1191-99-7	70	8.88	0.046			
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	11.00	0.027			
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	27.70	0.033			
Серосодержащие соединения								
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94		0.010			
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64		14.646			
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84	13.19	0.058			
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.39	0.005			
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.79	0.021			
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	21.33	0.010			
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.93	0.054			
C8H12S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	28.41	0.035			
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	31.54	0.025			
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	34.51	0.042			
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	38.24	0.101			
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	880-36-4	196	43.66	0.049			
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	3.87	0.110			
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	8.40	2.027			
	Неорган	ические соедино	ения	·	·			
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	3.93	53.558			
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	2.11	22.588			
N ₂	Азот	7727-37-9	28	1.85	0.224			

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме. TIC – общая ионная хроматограмма.

Брутто- формула	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %		
φοριάζεια	Алифат	ические углеводо	роды		1		
Парафины	•	e , , ,	•				
CH ₄	Метан	74-82-8	16	1.89	1.203		
C2H6	Этан	74-84-0	30	2.59	0.069		
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.58	0.091		
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	11.84	0.287		
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	15.90	0.112		
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	23.45	0.107		
C ₁₀ H ₂₂	Декан	124-18-5	142	26.70	0.063		
C ₁₁ H ₂₄	Ундекан	1120-21-4	156	29.74	0.384		
C ₁₂ H ₂₆	Додекан	112-40-3	170	32.53	0.121		
C ₁₃ H ₂₈	Тридекан	629-50-5	184		0.114		
C14H30	Тетрадекан	629-59-4	198		0.140		
C15H32	Пентадекан	629-62-9	212		3.293		
C16H34	Гескалекан	544-76-3	226		0.165		
10 51			-				
Олефины							
C4H8	1-Бутен	106-98-9	56		0.199		
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98		0.081		
C8H16	2-Октен	13389-42-9	112		0.169		
C ₁₀ H ₂₀	1-Лецен	872-05-9	140		0.261		
C12H24	1-Лолецен	112-41-4	168		0.122		
	Цикли	ческие углеводог)олы				
Арены							
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78		6.673		
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92		0.873		
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106		0.067		
C ₈ H ₁₀	1,3-Диметилбензол	108-38-3			1.491		
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120		0.107		
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134		0.050		
C11H16	Пентилбензол	538-68-1	148		0.305		
C12H18	Гексилбензол	1077-16-3	162		0.186		
C13H20	Гептилбензол	1078-71-3	176		0.179		
C14H22	Октилбензол	2189-60-8	170		0.087		
Спирты и эфи	пенородес		одороды				
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32		0.173		
C4H10O	1-Бутанол	71-36-3	46		0.079		
C8H4O3	Фталевый ангилрил	85-44-9	148		0.299		
Альдегиды	таловын антидрид		110		0.277		
СзНкО	Пропаналь	123-38-6	58		0.063		
СаНаО	Ацетальлегил (этаналь)	75-07-0	44		0.172		
	Бутанаць	123_72_8	72		2 546		
041180	Бутаналь	123-12-0	12		2.340		

Приложение 22. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирита (№Пн16) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

C5H4O2	Фурфураль	98-01-1		0.024				
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	0.119				
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	0.154				
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	0.316				
C7H14O	Гептаналь	111-71-7	114	0.190				
C8H16O	Октаналь	124-13-0	128	0.040				
C9H18O	Нонаналь	124-19-6	142	0.052				
С ₁₀ Н ₂₀ О	Деканаль	112-31-2	184	0.103				
C ₁₁ H ₂₂ O	Ундеканаль	112-44-7		0.028				
C ₁₃ H ₂₆ O	Тридеканаль	10486-19-8		0.319				
Кетоны	Кетоны							
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	3.574				
C ₄ H ₆ O ₂	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	0.067				
C8H8O	1-Фенилэтанон	98-86-2	120	0.183				
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	156	0.028				
Карбоновые кислоты								
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	3.578				
C3H6O2	Пропановая	79-09-4	74	0.179				
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	0.522				
C5H10O2	3-Метилбутановая	503-74-2	102	0.044				
C5H10O2	Пентановая	109-52-4	102	0.145				
	2-метил- метиловый эфир							
C5H8O2	2-пропеновой кислоты, (=Метилметилкрилат)	80-62-6	100	0.049				
C ₆ H ₁₂ O ₂	Гексановая кислота	142-62-1	116	0.048				
C7H14O2	Гептановая кислота	111-14-8		0.044				
	Гетероци	клические соеди	нения	·				
Фенолы	-							
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	0.144				
C5H8O2	2Н-Пиран-2-	695-06-7	100	0.110				
	один, тетрагидро							
Фураны		524.00.5	00	0.122				
C5H60	2-Метилфуран	534-22-5	82	0.132				
C7H100	2-Пропилфуран	4229-91-8	82	0.204				
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	0.086				
С9Н14О	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	0.167				
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Гексилфуран-	3777-70-6	152	0.040				
C ₁₁ H ₁₈ O	2-н-Гептилфуран	3777-71-7	166	0.066				
C ₁₂ H ₂₀ O	2-н-Октилфуран	4179-38-8	180	0.099				
	Серосод	ержащие соедин	ения					
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	0.152				
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	0.864				
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	0.029				
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	0.244				
C ₆ H ₈ S	2-Этилтиофен	872-55-9	112	0.041				
C ₆ H ₈ S	3-Этилтиофен	1795-01-3		0.078				

C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	0.080	
C8H12S	3-Бутилтиофен	34722-01-5	140	0.064	
C ₈ H ₁₂ S	2-Бутилтиофен	1455-20-5	140	0.069	
C9H14S	2-Пентилтиофен	4861-58-9	154	0.037	
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Гексилтиофен	18794-77-9	168	0.133	
C11H18S	2-Гептилтиофен	18794-78-0	182	0.051	
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Октилтиофен	880-36-4		0.054	
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	0.054	
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	0.317	
Неорганические соединения					
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	39.207	
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	26.631	
N2	Азот	7727-37-9	28	0.099	

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей

всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто- формула	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %		
+	Алифат	ические углевод	ороды		1		
Парафины	•	•	•				
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.21	13.766		
C2H6	Этан	74-84-0	30	4.00	8.578		
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.54	0.280		
C5H12	Пентан	109-66-0	72	10.19	0.555		
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	14.28	0.284		
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.50	1.256		
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.61	0.487		
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	26.41	1.868		
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	29.94	0.875		
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	34.28	0.283		
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	41.04	0.391		
$C_{13}H_{28}$	н-Тридекан	629-50-5	184	52.23	0.300		
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	71.09	0.410		
C ₁₅ H ₃₂	2,6,11-триметилдодекан	31295-56-4	212	58.20	0.768		
Олефины		-	•				
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	13.90	0.412		
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	18.14	0.454		
C8H16	1-Октен	111-66-0	112	22.28	0.319		
C9H18	1-Нонен	124-11-8	126	26.13	0.509		
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	29.67	0.283		
C ₁₁ H ₂₂	2-Ундецен	821-96-5	154	33.97	0.511		
C ₁₂ H ₂₄	2-Додецен	7206-13-5	168	40.51	0.337		
C13H26	1-Тридецен	2437-56-1	182	51.36	0.062		
Циклические углеводороды							
Арены							
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	14.86	0.253		
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.47	0.468		
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	23.75	0.373		
C ₁₀ H ₁₄	Бутилбензол	104-51-8	134	31.08	0.331		
C ₁₁ H ₁₆	Пентилбензол	538-68-1	148	36.17	0.319		
	Кислородсо	держащие углев	одороды				
Спирты и эфи	ры						
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.10	0.234		
$C_4H_{10}O$	1-Бутанол	71-36-3	74	15.01	0.370		
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	16.65	0.312		
Альдегиды							
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.45	0.195		
C3H6O	Пропаналь	123-38-6	58	8.72	0.233		
C4H6O	2-Бутеналь	4170-30-3	70	14.11	0.170		
C ₄ H ₈ O	2-Метилпропаналь	78-84-2	72	11.56	0.412		
C ₄ H ₈ O	Бутаналь	123-72-8	72	12.45	0.616		
C ₅ H ₁₀ O	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.91	1.233		

Приложение 23. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№Пн6) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

-		1	-						
C ₆ H ₁₂ O	н-Гексаналь	66-25-1	100	21.31	2.126				
C ₇ H ₁₄ O	н-Гептаналь	111-71-7	114	25.39	3.229				
C ₇ H ₆ O	Бензальдегид	100-52-7	106	26.35	1.107				
$C_8H_{16}O$	н-Октаналь	124-13-0	128	29.51	0.306				
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	33.32	3.973				
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	39.69	2.390				
С11Н22О	<u>Стандо ундеканаль</u> <u>112-44-</u> / <u>1</u> /0 <u>50.00</u> <u>0.295</u>								
Кетоны			50	0.10	0.205				
C_3H_6O	2-Пропанон	67-64-1	<u>58</u>	9.19	0.395				
C_4H_8O		/8-93-3	12	12.01	0.433				
C4H6O2	2(3H)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.00	1.256				
C5H10O	2-Пентанон	107-87-9	86	15.84	0.184				
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	84	19.13	0.337				
C ₆ H ₁₂ O	2- Гексанон	591-78-6	100	21.02	0.952				
C8H16O	6-метил-2-гептанон	928-68-7	128	28.03	1.083				
C ₇ H ₁₄ O	3-Гептанон	106-35-4	114	25.08	0.595				
C ₈ H ₁₆ O	2-Октанон	111-13-7	128	29.13	3.532				
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	32.82	0.208				
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Деканон	693-54-9	156	38.86	0.329				
Карбоновые кислоты									
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	15.45	0.094				
C4H8O2	Бутановая	107-92-6	88	23.27	0.404				
Гетероциклические соединения									
Фенолы									
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	27.12	1.056				
Фураны									
C5H6O	3-Метилфуран	930-27-8	82	16.39	0.236				
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	12.39	0.728				
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	28.68	0.708				
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	20.48	0.163				
C8H12O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	24.64	0.020				
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	28.38	0.252				
C10H16O	2-Гексилфуран	3777-70-6	152	32.27	0.296				
C11H18O	2-н-Гептицфуран	3777-71-7	166	37.99	0.219				
C12H20O		<i>4</i> 170 38 8	180	47.20	0.170				
01211200	Серосод			47.29	0.170				
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	17.73	1.043				
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.21	0.513				
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	5.39	7.367				
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	9.67	0.437				
	Неорган	ические соедин	ения	1	1				
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.18	16.288				
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.42	8.839				
		1	1	1	1				

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси; ⁵A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в TIC-хроматограмме. TIC – общая ионная хроматограмма.

Брутто-	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %		
	Алифат	ические углевод	ороды				
Парафины		e i i					
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.21	10.933		
C2H6	Этан	74-84-0	30	4.00	0.083		
C ₃ H ₈	н-Пропан	74-98-6			0.298		
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.54	0.098		
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	14.28	0.015		
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.50	0.009		
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.61	0.007		
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	26.41	0.076		
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	29.94	0.037		
$C_{11}H_{24}$	н-Ундекан	1120-21-4	156	34.28	0.023		
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	41.04	0.010		
C ₁₄ H ₃₀	Тетрадекан	629-59-4	198	71.09	0.034		
Олефины	1				- 1		
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9			0.029		
C ₆ H ₁₂	1-Гексен	592-41-6	84	13.90	0.009		
C7H14	1-Гептен	592-76-7	98	18.14	0.012		
C9H18	1-Нонен	124-11-8	126	26.13	0.013		
C ₁₀ H ₂₀	1-Децен	872-05-9	140	29.67	0.017		
C11H22	2-Унлецен	821-96-5	154	33.97	0.027		
Пиклические углеволоролы							
Арены	• · · ·		/ 1				
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	14.86	0.029		
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.47	0.029		
C ₈ H ₁₀	Этилбензол	100-41-4	106	23.75	0.025		
C10H14	Бутилбензол	104-51-8	134	31.08	0.027		
	Кислородс	одержащие угле	водороды				
Спирты и эфи	пры						
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.10	0.228		
C5H8O2	Метилметилкрилат	80-62-6	100	16.65	0.011		
Альдегиды	*						
C ₃ H ₄ O	2-Пропеналь	107-02-8	56	8.45	0.015		
C4H4O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0			0.119		
C ₄ H ₆ O	2-Бутеналь	4170-30-3	70	14.11	0.013		
C ₄ H ₆ O	2-Бутенаць	4170-30-3			0.013		
CHO	2-Метилпопаналь	78-84-2	72	11 56	0.005		
C_4H_8O	Бутанаці	123_72_8	72	12.45	0.003		
	и Пентаналь	110 62 3	86	16.01	0.012		
$C_5H_4O_2$	Фурфураци	08 01 1	00	10.71	0.014		
	чурфураль и Гохориан	70-01-1 66 25 1	100	21.21	0.010		
$C_6 \Pi_{12} O$	н-тексаналь	111 71 7	114	21.51	0.055		
$C_7\Pi_{14}O$	п-і спіаналь Бензалі перил	100_52 7	106	25.39	0.000		
$C_{0}H_{1}O$	н-Октаналь	124_13_0	128	20.55	0.013		
U8116U		12-T-1J-U	120	27.JI	0.017		

Приложение 24. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении кварца (№Пн19) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

G IL O	TT	104.10	1.10	22.22	0.077		
$C_9H_{18}O$	н-Нонаналь	124-19-6	142	33.32	0.067		
$C_{10}H_{20}O$	н-Деканаль	112-31-2	156	39.69	0.022		
С11Н22О	Ундеканаль	112-44-7	170	50.06	0.034		
Кетоны	1	1	-	1			
C ₃ H ₆ O	2-Пропанон	67-64-1	58	9.19	0.019		
C_4H_8O	2-Бутанон	78-93-3	72	12.61	0.012		
C4H6O2	2(3Н)-Фуранон-дигидро- Бутиролактон	96-48-0	86	23.00	0.014		
C4H6O2	2,3-Бутандион	431-03-8			0.017		
C5H10O	2-Пентанон	107-87-9	86	15.84	0.015		
C5H8O	Циклопентанон	120-92-3	84	19.13	0.016		
C5H8O2	Дигидро-5-метил-2(3H)- Фуранон (ү-Валеролактон)	108-29-2			0.009		
C ₆ H ₁₂ O	2- Гексанон	591-78-6	100	21.02	0.052		
C8H16O	6-метил-2-гептанон	928-68-7	128	28.03	0.108		
C ₇ H ₁₄ O	3-Гептанон	106-35-4	114	25.08	0.024		
C9H18O	2-Нонанон	821-55-6	142	32.82	0.016		
C10H20O	2-Деканон	693-54-9	156	38.86	0.120		
Карбоновые кислоты							
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	15.45	0.011		
Гетероциклические соединения							
Фенолы							
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	27.12	0.029		
Фураны				•			
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	12.39	0.019		
C5H8O2	Тетрагидро- 2Н-фуран-2-1	695-06-7	100	28.68	0.042		
C7H10O	2-Пропилфуран	4229-91-8	110	20.48	0.009		
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	28.38	0.019		
	Азотсод	ержащие соеди	нения	·			
CH4N2S	Тиомочевина	62-56-6			0.006		
Серосодержашие соединения							
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	17.73			
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.21	0.058		
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	5.39	0.129		
CS ₂	Сероуглерод	75-15-0	76	9.67	0.026		
	Неорган	ические соеди	нения	·	•		
H ₂ O	Вода	7732-18-5	18	5.18	15.581		
CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.42	68.990		
N2	Азот	7727-37-9			2.063		

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.

Брутто- формула	Название	CAS ¹ /(NIST)	MW ²	³ RT, мин	⁵ A, %		
φοριτιγιτα	Алифати	ческие углеводо	роды	I			
Парафины	^	e , , ,					
CH ₄	Метан	74-82-8	16	3.21	1.169		
C2H6	Этан	74-84-0	30	4.00	0.720		
C ₄ H ₁₀	н-Бутан	106-97-8	58	6.54	0.076		
C ₆ H ₁₄	Гексан	110-54-3	86	14.28	0.024		
C ₇ H ₁₆	н-Гептан	142-82-5	100	18.50	0.038		
C ₈ H ₁₈	н-Октан	111-65-9	114	22.61	0.106		
C ₉ H ₂₀	н-Нонан	111-84-2	128	26.41	0.093		
$C_{10}H_{22}$	н-Декан	124-18-5	142	29.94	0.035		
C ₁₁ H ₂₄	н-Ундекан	1120-21-4	156	34.28	0.046		
$C_{12}H_{26}$	н-Додекан	112-40-3	170	41.04	0.093		
C ₁₃ H ₂₈	Тридекан	629-50-5	184	36.18	0.513		
C14H30	Тетрадекан	629-59-4	198	71.09	0.008		
C ₁₅ H ₃₂	Пентадекан	629-62-9	212	45.31	0.031		
C ₁₆ H ₃₄	Гескадекан	544-76-3	226	57.97	0.056		
C ₁₇ H ₃₆	Гептадекан	629-78-7	240	68.25	0.013		
C ₁₈ H ₃₈	Октадекан	593-45-3	254	92.04	0.115		
Олефины							
C ₄ H ₈	1-Бутен	106-98-9	56	6.34	0.005		
C4H8	2-Бутен	107-01-7	56	6.57	0.005		
C ₈ H ₁₆	2-Октен	13389-42-9	112	19.83	0.025		
C ₁₂ H ₂₄	1-Додецен	112-41-4	168	32.16	0.018		
C16H32	1-Гексалецен	629-73-2	224	54.39	0.022		
	Циклич	еские углеводор	оды	I	I		
Арены							
C ₆ H ₆	Бензол	71-43-2	78	14.86	0.273		
C ₇ H ₈	Толуол	108-88-3	92	19.47	0.102		
C8H10	Этилбензол	100-41-4	106	23.75	0.142		
C9H12	Пропилбензол	103-65-1	120	25.21	0.040		
	Кислородсо	цержащие углев	одороды	I	I		
Спирты и эфи	ры						
CH ₄ O	Метанол	67-56-1	32	5.51	0.014		
C ₂ H ₆ O	Этанол	64-17-5	46	7.10	0.032		
C ₈ H ₄ O ₃	Фталевый ангидрид	85-44-9	148	39.63	0.069		
$C_{14}H_{18}O_4$	Дипропилфталат	131-16-8	250	86.74	0.013		
C ₁₈ H ₂₆ O ₄	Дипентилфталат	131-18-0	306	122.1	0.080		
Альдегиды							
C ₃ H ₆ O	Пропаналь	123-38-6	44	8.72	0.005		
C ₄ H ₄ O	Ацетальдегид (этаналь)	75-07-0	44	6.13	0.028		
C ₄ H ₈ O	Бутаналь	123-72-8	72	12.45	0.021		
C5H4O2	Фурфураль	98-01-1	96	21.13	0.072		
5 7 2	- JPTJP - JPTJP		٢×		<u>-</u>		

Приложение 25. Результаты хромато-масс-спектрометрического (GC/MS) анализа газовой фазы, извлеченной при ударном разрушении пирротина (№Пн19) Панимбинского золоторудного месторождения, Енисейский кряж

<i>a</i> o	H	110 10 0	6.6	4 4 6 4	0.000			
$C_5H_{10}O$	н-Пентаналь	110-62-3	86	16.91	0.020			
$C_6H_{12}O$	н-1 ексаналь	00-25-1	100	21.31	0.067			
$C_7H_{14}O$	н-тепланаль	111-/1-/	114	25.39	0.049			
$C_7\Pi_6O$	вензальдегид	100-32-7	100	20.33	0.030			
C ₂ H ₂ O	2-Проданон	67-64-1	58	9 1 9	0.168			
C4H ₆ O ₂	2(3Н)-Фуранон-дигидро-	96-48-0	86	23.00	0.053			
C5H10O	Бутиролактон 2-Пентанон	107-87-9	86	15.84	0.033			
Карбоновые кислоты								
$C_2H_4O_2$	Уксусная кислота	64-19-7	60	15.45	0.392			
C ₃ H ₆ O ₂	Пропановая кислота	79-09-4	74	16.73	0.040			
C4H8O2	Бутановая кислота	107-92-6	88	20.13	0.132			
	2-метил- метиловый эфир							
C5H8O2	2-пропеновой кислоты, (=Метилметилкрилат)	80-62-6	100	15.87	0.048			
C5H10O2	3-Метилбутановая кислота	503-74-2	102	22.82	0.047			
C5H10O2	Пентановая кислота	109-52-4	102	23.88	0.137			
C6H12O2	Гексановая кислота	142-62-1			0.037			
	Сетеропиклические соелинения							
Фенолы			-					
C ₆ H ₆ O	Фенол	108-95-2	94	27.12				
Фураны								
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	116	27.17	0.040			
C5H6O	2-Метилфуран	534-22-5	82	12.39	0.084			
C ₈ H ₁₂ O	2-н-Бутилфуран	4466-24-4	124	21.44	0.103			
C9H14O	2-Пентилфуран	3777-69-3	138	28.38	0.025			
Серосолержашие соелинения								
C ₂ H ₆ S ₂	Диметилдисульфид	624-92-0	94	16.45	0.115			
C4H4S	Тиофен	110-02-1	84	13.04	0.002			
C5H6S	2-Метилтиофен	554-14-3	98	17.44	0.022			
C5H6S	3-Метилтиофен	616-44-4	98	17.81	0.041			
C6H8S	2-Этиптиофен	872-55-9	112	21.85	0.053			
C6H8S	3-Этилтиофен	1795-01-3	112	21.03	0.061			
C7H10S	2-Пропилтиофен	1551-27-5	126	24.98	0.027			
CoH12S		1455 20 5	140	29.70	0.009			
CoH14S		1455-20-5	140	20.49	0.009			
C10H16S		4801-38-3	1.54	31.02	0.028			
		18794-77-9	108	30.03	0.301			
	2-1 ептилтиофен	18/94-/8-0	182	38.34	0.044			
C13H22S	2-Нонилтиофен	57/54-07-1	210	50.93	0.025			
SO ₂	Диоксид серы	7446-09-5	64	6.21	0.188			
COS	Карбонилсульфид	463-58-1	60	5.39	0.033			
	Сероуглерод	75-15-0	76	9.67	0.078			
H_2S	Сероводород	//83-06-4	34	3.05	0.185			
Coll-NO-	Азотсоде	ержащие соедин	ения	40.22	0.064			
C8H5NU2	Фталимид	85-41-6	14/	49.23	0.064			
	Неорган	ические соедин	ения	5.10	10.244			
н20	Вода	//32-18-5	18	5.18	19.344			

CO ₂	Диоксид углерода	124-38-9	44	3.42	72.563
N2	Азот	7727-37-9	28	1.63	1.127

Примечания: ¹CAS – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service; ²MW – номинальная масса; ³RT – время удержания аналитической колонкой индивидуального компонента газовой смеси;

⁵А – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в ТІС-хроматограмме.