

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

На правах рукописи

Шапаренко Елена Олеговна

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

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

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
геолого-минералогических наук

Научный руководитель
кандидат геолого-минералогических наук
Гибшер Надежда Александровна

Новосибирск – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	10
1.1 Месторождение Благодатное.....	11
1.2 Месторождение Доброе	17
Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	23
Глава 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОДАТНОЕ И ДОБРОЕ	31
3.1 Описание флюидных включений в минералах.....	31
3.1.1 Месторождение Благодатное.....	31
3.1.2 Месторождение Доброе	33
3.2 Результаты микротермометрических исследований.....	35
3.2.1 Месторождение Благодатное.....	35
3.2.2 Месторождение Доброе	40
3.3 Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений.....	43
3.3.1 Месторождение Благодатное.....	43
3.3.2 Месторождение Доброе	46
3.4 Валовый состав летучих во флюиде	48
3.4.1 Месторождение Благодатное.....	48
3.4.2 Месторождение Доброе	53
3.5 Сопоставление физико-химических условий образования кварцево-жильных месторождений золота на Енисейском кряже (обсуждение полученных результатов).....	57
Глава 4. ИСТОЧНИКИ РУДОНОСНЫХ ФЛЮИДОВ	64
4.1 Месторождение Благодатное.....	64
4.2 Месторождение Доброе	68
4.3 Обсуждение полученных результатов	70
Глава 5. ВОЗРАСТ РУДООБРАЗОВАНИЯ.....	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	77
ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ	79

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	80
ПРИЛОЖЕНИЕ А	95

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

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

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

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

Объектами исследования являются кварц-золоторудные месторождения Благодатное и Доброе на Енисейском кряже, с запасами золота 340 т и 10 т, соответственно.

Цель исследования

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

Задачи:

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

Фактический материал и личный вклад автора

Каменный материал (120 образцов из скважин и карьеров) с месторождений Благодатное и Доброе предоставлен д.г.-м.н. Сазоновым А.М. (Сибирский Федеральный Университет, г. Красноярск). Из одной половины образца изготавливались шлифы и полированные с двух сторон пластинки для исследования индивидуальных флюидных включений, вторую часть образца дробили, рассеивали на ситах и отбирали монофракции минералов.

Автором лично проанализировано более 120 пластинок и шлифов. Массив использованной аналитической информации включает более 500 микротермометрических измерений, свыше 30 изотопных определений, 200 анализов состава индивидуальных включений методом рамановской спектроскопии, а также 27 газовой-хромато-масс-спектрометрических исследований валового состава газовой фазы флюидных включений. Подробное описание методов исследования приведено в Главе 2.

Научная новизна

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

Теоретическая и практическая значимость работы

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

Основные защищаемые положения

1. Кварцево-жильные зоны золоторудных месторождений Благодатное и Доброе сформированы гидротермальными растворами в интервале температур 180 – 360 °С, давлений – 0.2 – 2.6 кбар и солености от 1.5 до 16.5 мас. % (NaCl-экв.), характерных для золотого оруденения Енисейского кряжа.
2. Минералообразующие флюиды содержали H₂O, CO₂, углеводороды и кислородсодержащие органические соединения, S-, N- и галогенсодержащие соединения. Два типа флюида принимали участие в формировании кварцево-жильных зон месторождений Благодатное и Доброе: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный.

Золотоносные ассоциации были сформированы более восстановленными углекислотно-углеводородными флюидами.

3. Изотопный состав гелия ($^3\text{He}/^4\text{He}=0.14\pm0.3$), серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}=1.9-20.1$) и углекислоты во флюидах ($\delta^{13}\text{C}= -2.8\ldots-20.9$), сформировавших месторождения Благодатное и Доброе, указывают на коровый источник минералообразующих флюидов.

Структура и объем работы

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

Апробация работы

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

Благодарности

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

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

Глава 1. ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Енисейский кряж – одна из богатейших золотоносных провинций мира. В его пределах находятся более 120 рудных объектов. Горнодобывающая деятельность на Енисейском кряже началась еще в 30-40 гг. XIX века [Сазонов и др., 2010] с разработки россыпных месторождений. А в настоящее время, этот регион является лидером по добыче золота из коренных месторождений [Обзор ..., 2020].

Коренные месторождения золота Енисейского кряжа представляют собой золотоносные кварцевые жилы и метасоматически измененные кристаллические сланцы с сульфидной минерализацией. Основными коренными источниками золота считаются золото-кварцевые, золото-кварцево-сульфидные, золото-сульфидные месторождения, сформировавшиеся в период байкальского тектогенеза. Видимое золото локализуется только в жильном кварце, причем характер его распределения крайне неравномерный [Сазонов и др., 2010]. Условия формирования и закономерности размещения золоторудных месторождения на Енисейском кряже изучаются в течение многих лет [Дембо, 1941; Бернштейн, Петровская, 1954; Петровская, 1954; Петров, 1974, 2003; Ли, 1981, 1997, 2003; Томиленко, Гибшер, 2001; Сердюк, 2004, 2006; Неволько и др., 2009; Неволько, Борисенко, 2009; Сердюк и др., 2010; Tomilenko et al., 2010; Гибшер и др., 2011, 2017, 2018, 2019; Макаров и др., 2012; Sazonov et al., 2019; Сазонов и др., 2020].

Енисейский кряж является докембрийским складчатым поясом, который расположен между Сибирским кротоном и Западно-Сибирской плитой [Сазонов и др., 2010; Полева, Сазонов, 2012]. Ангарским региональным разломом Енисейский кряж разделен на два крупных сегмента – Южно-Енисейский и

Заангарский. Исследуемые месторождения, Благодатное и Доброе, находятся в заангарской части кряжа.

1.1 Месторождение Благодатное

Месторождение было открыто в 1967 году Крысиным М.В. в процессе геологической съемки 1:50000. Рудное поле месторождения расположено в Северо-Енисейском районе Енисейского кряжа на юго-восточном крыле Панимбинского антиклинория [Сазонов, Звягина, 2003; Звягина и др., 2004; Sazonov et al., 2009; Сазонов и др., 2016], ограниченного с запада зоной Татарского, а с востока – Ишимбинского глубинного разлома (Рис. 1а). Месторождение залегает в рифейских отложениях кординской свиты, прорванных гранитоидами Татарско-Аяхтинского комплекса [Верниковская и др., 2003]. Радиологический возраст (Rb-Sr изохрона) гранитоидов района составляет 880–752 млн лет. Образование углеродизированных серицитовых метасоматитов в тектонической зоне осуществлялось при $T=571-647\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P=6,1-8\text{ кбар}$ во временном интервале 800-780 млн лет. Окружающие сланцы регионального метаморфизма формировались при $T=474-550\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P=4,5-6,6\text{ кбар}$ 1000-1050 млн лет назад. Этап формирования продуктивной сульфидной минерализации с золотом осуществлялся в период 745 – 698 млн лет [Сазонов и др., 2003; 2010; Полева, Сазонов, 2012].

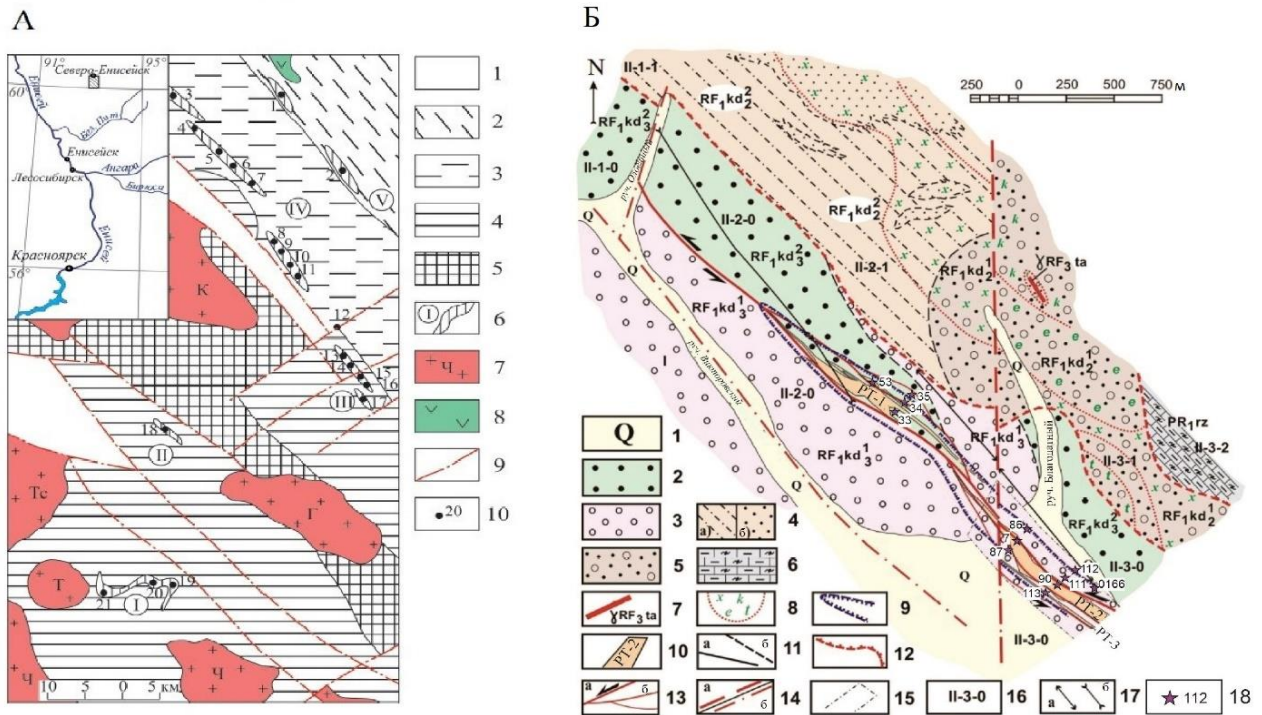


Рисунок 1. А – схема геологического строения Северо-Енисейского рудного района [Сазонов и др., 2016]; 1 – отложения грабенов (PZ); 2 – песчано-алеврито-глинистые породы зон ката- и метатенеза (RF₃); 3 – филлиты удерейской и горбиллоксской свит сухопитской серии (RF₃); 4 – кристаллические сланцы зоны биотита (RF₁, сухопитская серия, кординская свита); 5 – кристаллические сланцы эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций (горбиллокская, кординская свиты; пенченгинская и хребта Карпинского свиты тейской серии PR₁); 6 – рудоносные зоны локального динамотермального метаморфизма: I – Верхне-Енашиминская, II – Благодатнинская, III – Перевальнинская, IV – Александро-Агеевская, V – Советская; 7 – массивы гранитоидов: К – Каламинский, Г – Гурахтинский, Т – Тырадинский, Ч – Чиримбинский, Тс – Тейский; 8 – метабазиты, 9 – дизъюнктивы; 10 – месторождения золота: 1 – Советское, 2 – Огне-Потеряевское, 3 – Скалистое, 4 – Сергиевское, 5 – Полярная Звезда, 6 – Заявка 14, 7 – Успенские жилы, 8 – Буян, 9 – Ишмурат, 10 – Александро-Агеевское, 11 – Албанские жилы, 12 – Пролетарка, 13 – Вершинка, 14 – Ударный, 15 – Первенец, 16 – Эльдорадо, 17 – Ольгинское, 18 – Благодатное, 19–20 – Олимпиада (19 – Восточное, 20 – Западное), 21 – Тырада.

Б: Геологическая карта месторождения Благодатное [Полева, Сазонов, 2012]. 1 - четвертичные отложения; 2 - верхнекординская подсвита. Верхняя пачка (RF₁kd₃²). Ритмично-слоистые кварц-полевошпатовые сланцы; 3 - верхнекординская подсвита. Нижняя пачка (RF₁kd₃¹). Пятнистые ставролитовые сланцы; 4 - среднекординская подсвита. Верхняя пачка (RF₁kd₂²): а) кварцитовидные сланцы; б) лейкократовые кварцитовидные сланцы; 5 - среднекординская подсвита. Нижняя пачка (RF₁kd₂¹). Среднезернистые аркозовые метаалевролиты с

порфиробластами мусковита; 6 - рязановская свита (PR₁rz). Кальцифиры; 7 - дайки гранит-порфира. Татарско-аяхтинский комплекс; 8 - зоны метасоматически измененных пород и диафторитов; х - (хлорит±пирротин±пирит); е - (хлорит±актинолит±эпидот±сульфиды); к - (хлорит±эпидот±капцит±пирротин); т - турмалина; 9 - контур рудоносной минерализованной зоны; 10 - рудные тела; 11 - геологические границы: а) достоверные; б) предполагаемые; 12 - надвиги предполагаемые; 13 - сбросо-сдвиги: а) главные; б) второстепенные; 14 - взбросы: а) предполагаемые; б) скрытые под вышележащими отложениями; 15 – контур полосы развития четвертичных отложений, снятых с карты; 16 – номер тектонической пластины, входящей в тектонический блок; 17 – проекции осевых линий: а – антиклиналей, б – синклиналей, 18 – номера скважин.

Месторождение Благодатное отнесено к золото-кварцевой малосульфидной формации и представлено крутопадающей S-образной золотоносной минерализованной зоной левостороннего сбросо-сдвига протяженностью 3800 м с мощностью в раздувах до 250 м. На глубину зона не оконтурена. Субмеридиональным взбросом, который трассируется участками интенсивного дробления, рудоносная зона разделяется на Северный и Южный участки (Рис. 16). На Северном участке выделено рудное тело №1, на Южном – рудные тела №2 и №3, которые на глубине 120 м сливаются между собой. Центральная часть рудных тел обогащена кварцево-жильными образованиями желваковой и четковидной форм, которые по периферии оконтурены сульфидизированными серицитовыми метасоматитами с кварц-карбонатным прожилкованием. Вмещающими оруденение породами послужили кварц-слюдистые, двуслюдяные, кварц-слюдисто-гранатовые сланцы.

На месторождении выделено три основных стадии гидротермального минералообразования с учетом пространственного размещения, тектонических подвижек и вещественного состава: предрудная, рудная и пострудная. *Стадия предрудных метасоматитов* проявилась в формировании гранатсодержащих кварц-мусковитовых и двуслюдяных с полосчатой углеродизацией разновидностей сланцев. На этой же предрудной стадии отлагаются ранние генерации пирита и пирротина часто в ассоциации с кварцем, которые

территориально приурочены к сульфидизированным серицитовым метасоматитам. Локализаторами сульфидной минерализации в сланцах являются трещины сланцеватости. Эта генерация сульфидов не является золотоносной.

Началу *кварцево-рудной стадии* предшествовали довольно мощные тектонические подвижки, которые привели к образованию серии рудоподводящих трещин, заполненных рудной минеральной ассоциацией с кварцем, сульфидами и самородным золотом. Затухание гидротермального процесса на кварцево-рудной стадии фиксируется по формированию галенит-сфалерит-халькопиритовой ассоциации, в которой раннее золото подвергается перекристаллизации и укрупнению в размере частиц. На рудной стадии формируются золотоносные кварцево-жильные зоны. Эти зоны представлены маломощными (5-10 см) кварцевыми желваками и птитимитовыми кварцевыми жилками. Более мощные жилы кварца (0,5-1,5 м) отмечаются редко. Мощность кварцево-жильных зон изменяется от 5 до 60 м при протяженности по латерали до 450 м и на глубину до 680 м. Золоторудная и сульфидная минерализация предпочтительно развивается по зальбандам кварцевых жил в сланцах и по трещинам в жильном кварце.

Пострудная стадия гидротермальной деятельности представлена участками сближенных нитевидных кварц-карбонатных, реже с флюоритом, прожилков, широко распространенных в пределах рудоносных зон. Они сопровождают кварцевые жилы и наращивают кварцево-жильные зоны по мощности, латерали и на глубину. Мощность этих прожилков редко достигает 1 см, а протяженность – 10-20 см.

Главные рудные минералы в образцах представлены золотом, арсенопиритом, пиритом, пирротином (Рис. 2). Реже встречаются халькопирит, сфалерит, галенит, лёллингит (Приложение Таблица 1). В рудных телах содержание сульфидов меняется и, в некоторых случаях, довольно значительно. Общее содержание сульфидов для рудных тел 1 и 3 одинаково и составляет 3,6 %, а в рудном теле 2 – 6,6 %. Среднее содержание сульфидов по рудным телам достигает 5,1 %, что соответствует малосульфидному типу руд [Полева, Сазонов, 2012].

Арсенопирит располагается между кварцевыми зернами в виде ромбовидных кристаллов и прожилковых выделений, часто в ассоциации с пиритом, пирротином, халькопиритом, леллингитом и золотом. Леллингит встречается в образцах довольно редко, всегда в ассоциации с арсенопиритом. Участки арсенопиритовой минерализации являются наиболее золотоносными на месторождении [Полева, Сазонов, 2012].

Пирит широко распространен на месторождении и чаще всего образует идиоморфные зерна с ровными и четкими краями. Пирротин представлен в образцах аллотриоморфными выделениями, которые образуют прожилки и скопления в межкварцевом пространстве. Халькопирит встречается в виде неправильных изогнутых выделений в сростании с арсенопиритом, пиритом и пирротином.

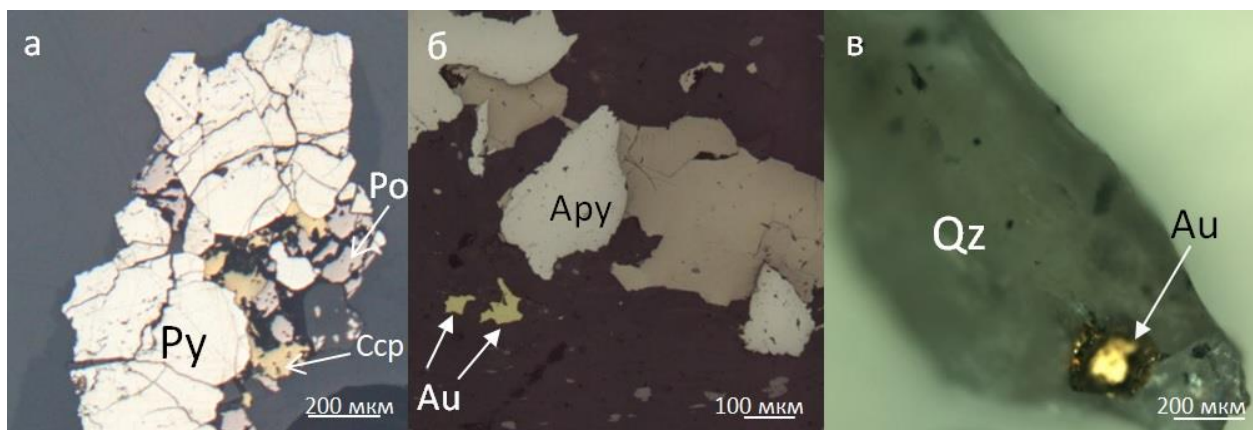


Рисунок 2. Рудная минерализация на месторождении Благодатное: а – сростания пирита (Py), пирротина (Po) и халькопирита (Csp), б – арсенопирит (Apy) и золото (Au) в кварце, в – золото (Au) и частицы углеродистого вещества в кварце (Qz).

Сфалерит и галенит крайне редко встречаются в образцах в виде мелких обособлений и ксеноморфных образований.

Морфология выделений видимого золота разнообразна: прерывистые прожилки, отдельные включения изометричной, пластинчатой, каплевидной, проволоочной формы, обычно располагающиеся в микротрещинах жильного кварца (Рис. 2) или в виде золото-сульфидных агрегатов. Как примесь золото

присутствует в арсенопирите [Sazonov et al., 2019]. Пробность золота меняется от 710 до 993 %. По данным автора и [Полева, Сазонов, 2012] в составе самородного золота в незначительных количествах установлены Cu (0.001-0.15 мас. %) и Hg (0.006-1.73 мас. %).

На всех трех выделенных стадиях гидротермально-метасоматических образований постоянно присутствует кварц. Кварц кристаллизовался в течение всего длительного времени формирования месторождения, начиная от зарождения единичных обычно маломощных кварцевых линз и прожилков во вмещающих сланцах, продолжая отлагаться в период интенсивного образования сложных по строению кварцевых жил, объединенных в кварцево-жильные зоны, и заканчивал кристаллизоваться в позднюю кварц-карбонатную стадию. Кварц на месторождении представлен полупрозрачным агрегатом серого, светло-серого, дымчато-серого и белого цвета. На цвет кварца влияет различное количество тонкораспыленного углеродистого вещества, концентрирующегося в межзерновом пространстве и в виде вкраплений внутри кварцевых зерен (Рис. 3).

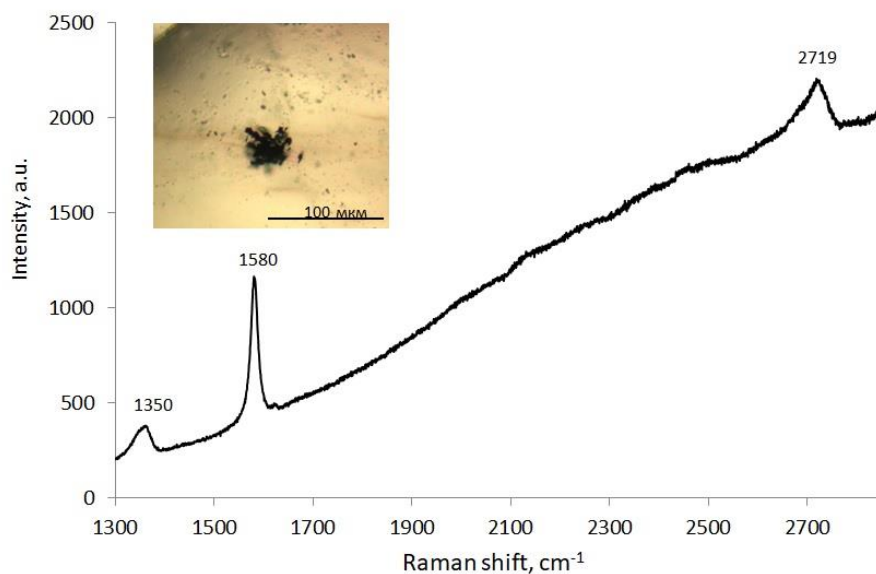


Рисунок 3. Углеродистые частицы и их рамановский спектр в кварце месторождения Благодатное.

В углеродистых частицах находятся частицы дисперсного и кластерного золота, зерна пирита, пирротина, пирита (Рис. 4), а также примеси Fe, Zn, Bi и Se

(Приложение Таблица 1). Кварц нитевидных кварц-карбонатных прожилков обычно не содержит углеродистых вкраплений.

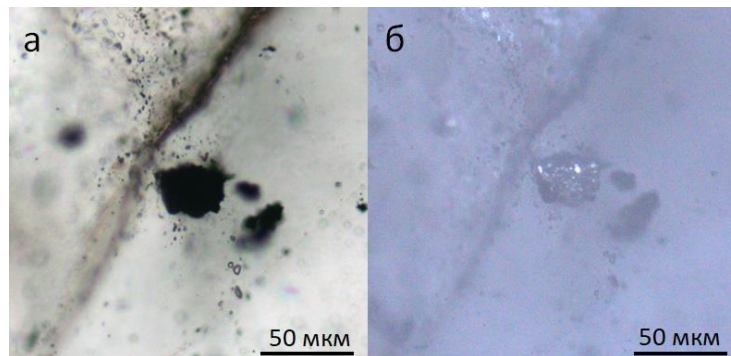


Рисунок 4. Зерна сульфидов в углеродистом веществе: а) в проходящем свете, б) в отраженном свете.

1.2 Месторождение Доброе

Месторождение Доброе входит в состав Советского рудного узла и находится в 12 км к западу от месторождения Советского, одного из крупнейших на Енисейском кряже (Рис. 5). Месторождение относится к золото-кварцевой малосульфидной формации. По результатам геологической съёмки в период 1976-1980 гг. было открыто рудопроявление Доброе. Добыча золота на месторождении ведется открытым способом с 1992 г. Руды месторождения Доброе перерабатывались на Советской золото-извлекательной фабрике по технологической схеме руд Советского месторождения. Рудный узел приурочен к зоне сочленения двух крупных протерозойских структур Енисейского кряжа – Центрального поднятия и Восточной синклинойной зоны [Геология..., 1985]. Границей двух структур является Ишимбинский глубинный разлом, контролирующий размещение большинства месторождений золото-кварцевой формации, к которой отнесены месторождения Советское, Александро-Агеевское, Полярная Звезда, Заявка 14 и Эльдорадо и Доброе [Бернштейн, Петровская, 1954; Бернштейн, 1962; Сазонов и др., 2010].

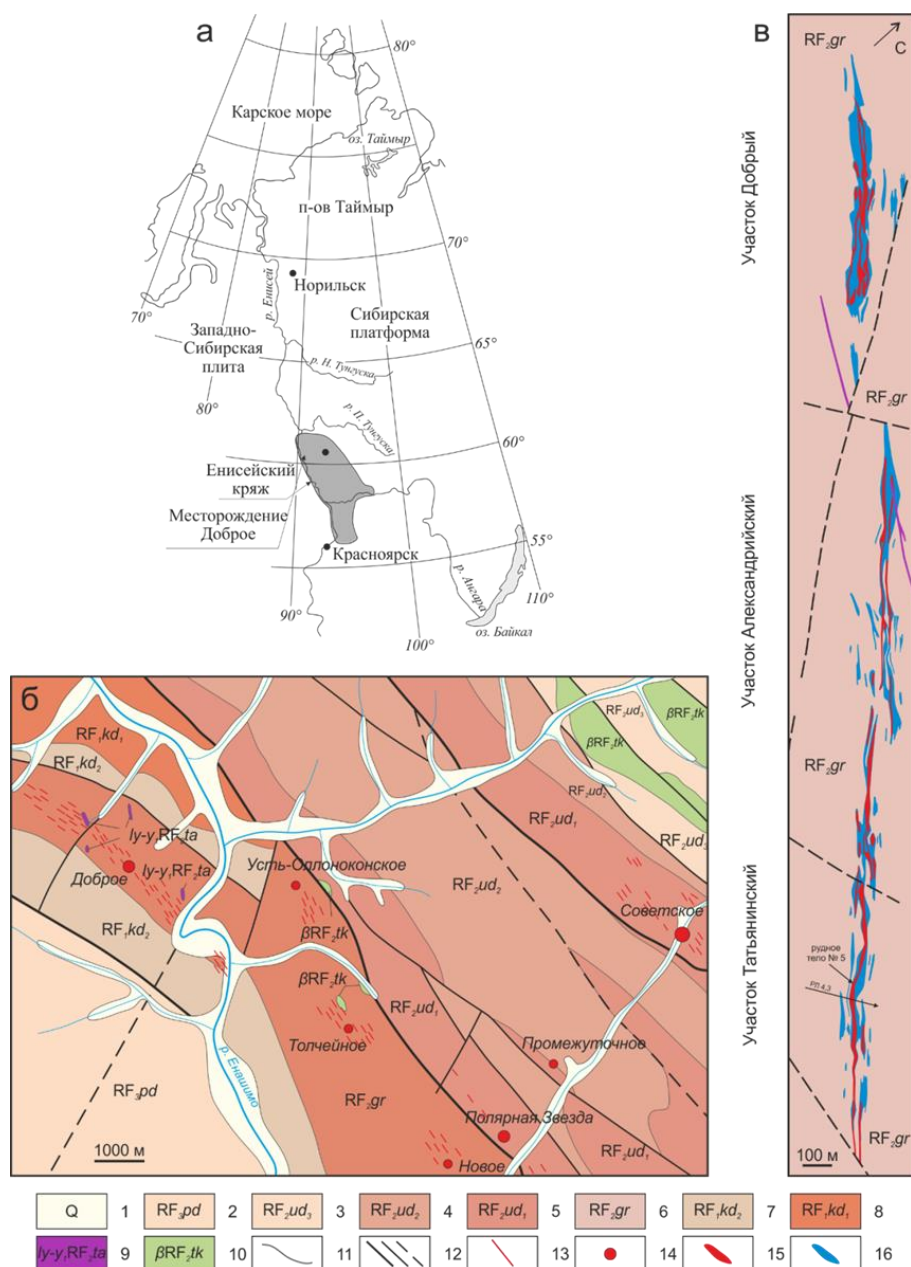


Рисунок 5. а – Географическое положение месторождения золота Доброе; б – геологическое положение месторождения (составлена Масюковым В.И., с дополнениями и изменениями Сильянова С.А.); в – схема месторождения. 1 – четвертичные отложения; 2 – подъемная свита (доломиты, известняки); 3 – верхнеудерейская подсвита (глинистые филлитизированные сланцы); 4 – среднеудерейская подсвита (сланцы филлитизированные, филлиты); 5 – нижнеудерейская подсвита (филлиты углеродистые); 6 – горбиловская свита (кварц-серицит-хлоритовые сланцы); 7 – верхнекординская подсвита (метаалевролиты, песчаники, хлорит-биотитовые сланцы); 8 – нижнекординская подсвита (мраморы, мраморизованные известняки); 9 – граниты Татарско-Аяхтинского комплекса; 10 – долериты Токминского комплекса; 11 – геологические границы; 12 – тектонические нарушения: региональные, достоверные,

предполагаемые; 13 – жильно-прожилковое окварцеванные и серицитовые метасоматиты; 14 – золоторудные месторождения; 15 – рудные тела; 16 – минерализованные зоны.

Основной структурой рудного поля является Сергиевская синклиналь, сложенная отложениями кординской и горбилокской свит, метаморфизованных в условиях зеленосланцевой фации регионального метаморфизма. В пределах рудного поля установлены разрывные нарушения, которые выделяются по зонам дробления и милонитизации мощностью от 1-2 до 10-30 м. В этих зонах сосредоточены рудные тела, представленные гидротермально-измененными сланцами с кварцевыми жилами и прожилками с золото-сульфидной минерализации.

Месторождение расположено в обособленном тектоническом блоке, ограниченном на юго-западе Западно-Ишимбинским глубинным разломом, на северо-востоке – Серафимовским нарушением, а на северо-западе и юго-востоке ограничивается субширотными нарушениями [Стороженко и др., 2018]. В пределах рудного поля установлены разрывные нарушения. Разлом северо-западного простирания выделяется в поверхностных выработках по зонам дробления мощностью от 1-2 до 10-30 м, обрывается на юго-восточном фланге Татьянинского участка субширотным нарушением.

Выходы гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса (RF₃ta) на дневную поверхность удалены от месторождения Доброе на расстояние 5 км в юго-западном направлении. Вдоль зоны Восточно-Ишимбинского разлома на 4,5-5,0 км вытянуты тела долеритов токминского комплекса (RF₃tk).

Месторождение представляет собой кварцево-жильную зону линзовидной формы с протяженностью до 2700 м, мощностью до 27,5 м с вертикальным размахом оруднения до 540 м [Сердюк и др., 2010]. Рудные тела сложены маломощными, не выдержанными по простиранию и падению кварцевыми жилами, линзами, зонками прожилкования и метасоматически проработанными вмещающими кварц-хлорит-серицитовыми сланцами. Рудные тела не имеют естественных геологических границ, их контуры определены по данным

опробования. Внутреннее строение рудных тел сложное, с прерывистым характером оруденения, отмечаются безрудные «окна». Постоянными минералами рудных тел являются кварц и сульфиды, с которыми связана золотоносная минерализация. В процессе предшествующих поисково-оценочных работ на месторождении Доброе выявлено восемь рудных тел, территориально объединенных в рудные участки – Добрый, Александрийский и Татьянинский. Каменный материал для исследования флюидных включений в кварце и сульфидах отобран из рудного тела №5 (участок Татьянинский).

Кварц, являясь постоянным минералом месторождения Доброе, представлен двумя разновидностями – жильным и гранобластическим (Рис. 6). При исследовании под микроскопом для метасоматического гранобластического кварца характерны изометричные, полигональные с прямолинейными очертаниями прозрачные зерна, образующие сотовую текстуру. Размер зерен колеблется от 0,05 до 0,3 мм.

Жильный кварц выполнения трещин представлен агрегатом зерен размером >2-3 мм с извилистыми очертаниями. Окраска этих зерен меняется от светло-серой до серой. В большинстве случаев крупные единичные зерна или прожилковые агрегаты этого кварца тяготеют к центральным частям жил, линзочек, зальбанды которых сложены метасоматическим сотовым кварцем. В рудной зоне месторождения вторая разновидность кварца встречается чаще, чем в кварцевых прожилках из околорудной зоны.

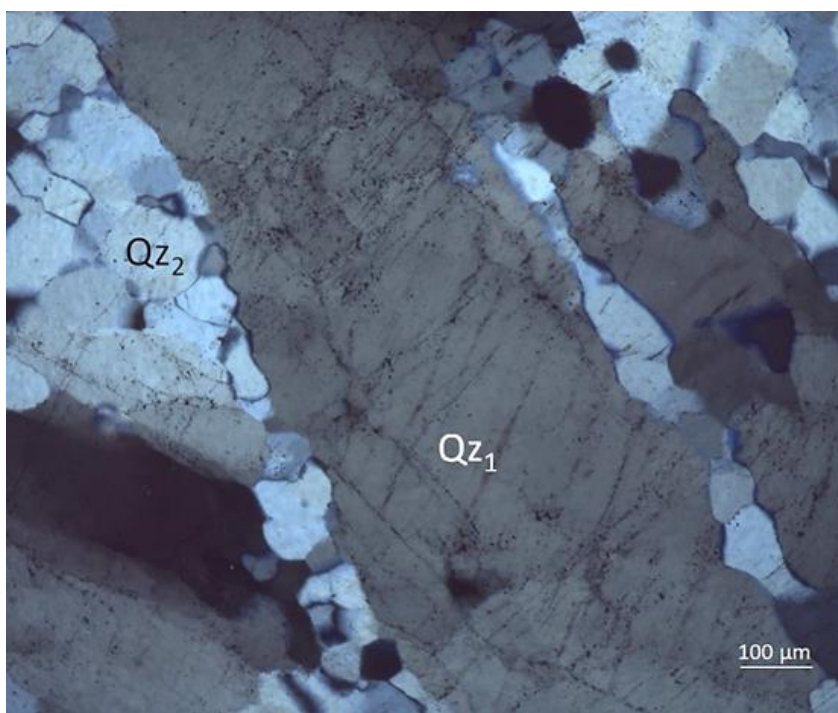


Рисунок 6. Жильный (Qz_1) и гранобластический (Qz_2) кварц месторождения Доброе.

В составе руд отмечаются кальцит, сидерит, хлорит, а также рудные минералы, образующие гнездовую вкрапленность и трещинные выделения. Рудная минерализация представлена в основном пирротинном, арсенопиритом и пиритом. В подчиненном количестве обнаруживаются халькопирит и галенит. Из сульфидов наиболее широкий диапазон распространения имеет пирротин, образующий узкие линзовидные просечки длиной до 2-3 см, согласные с рассланцеванием. Пирротин формирует широкие зоны минерализации, часто без наличия кварцевых жил. Более локальные ореолы, тяготеющие к жильному кварцу, образуют вкрапленники пирита и арсенопирита. Арсенопирит в кварце встречается в виде единичных зерен и агрегатов, нередко образует гнезда в срастании с другими сульфидами. Пирит образует прожилково-вкрапленные выделения, обычно приуроченные к зальбандам жил и их трещинам. Галенит содержится в меньшем количестве, нежели арсенопирит и пирротин и преимущественно распространен в кварцевых жилах и прожилках в виде неправильных зерен и агрегатов, нередко совместно с другими сульфидами образует гнездовую вкрапленность. Халькопирит встречается в виде

аллотриоморфных зерен и агрегатов неправильной формы. По количеству рудных минералов руды месторождения относятся к малосульфидным и убогосульфидным.

В пределах рудной зоны и ближнем ее обрамлении широко проявлено кварц-карбонатное прожилкование в виде одиночных жилок и серий сближенных прожилков. Мощность их варьирует от нитевидных до десятков сантиметров. Ориентировка как субпараллельная сланцеватости, так и секущая.

Видимое самородное золото (0,001–1 мм) развито, преимущественно, в кварцево-жильных рудных образованиях в виде трещинных, пластинчатых и прожилковидных выделений. Золото образует сростки с сульфидами (арсенопирит, пирротин), а также концентрируется в кварце по микротрещинам (Рис. 7).

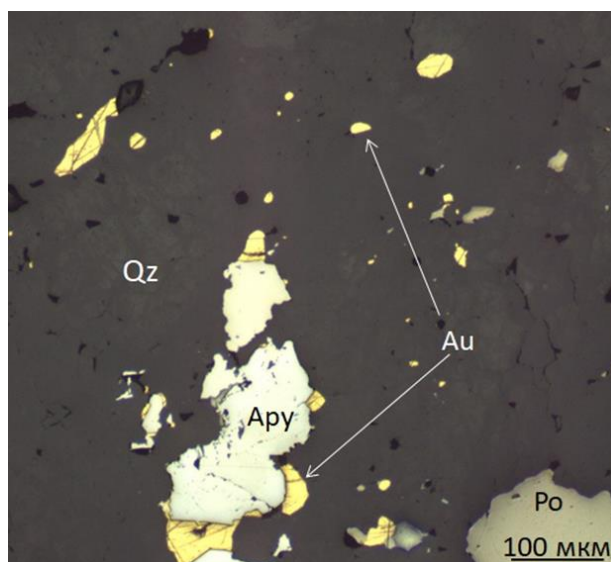


Рисунок 7. Рудные минералы месторождения Доброе: сросток арсенопирита (Apy) и золота (Au), пирротин (Po) кварце и золото в межзерновом кварцевом пространстве.

Проба самородного золота месторождения варьирует в пределах 838-913‰ при среднем значении ~900, главным примесным элементом является серебро.

Балансовые запасы рудного золота на месторождении Доброе не превышают 10 т, на Татьянинском участке – менее 1т [Сердюк и др., 2004; 2010].

Глава 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При выполнении исследования был применен комплекс современных методик для всестороннего детального *изучения включений минералообразующих сред*. Как известно, флюидные включения (ФВ) в минералах – это частицы минералообразующей среды, изолированные в процессе его роста. Флюидные включения являются прямыми источниками информации об условиях образования и преобразования минералов [Рёддер, 1987]. ФВ представляют собой замкнутые природные геохимические многокомпонентные микросистемы, характеризующиеся определенными термодинамическими параметрами и соответствующим агрегатным состоянием. Изучая флюидные включения, можно восстановить физико-химические условия, а также историю кристаллизации минералов. Большое внимание при изучении включений уделяется их генезису. Первичные и первично-вторичные включения в минералах дают информацию об условиях формирования, а по вторичным можно выяснить характер наложенных изменений. В ходе исследования флюидных включений в минералах были применены подходы и методологические приёмы, описанные в работах [Ермаков, 1950, 1972; Ермаков, Долгов, 1979; Калюжный, 1982; Пизнюр, 1986; Рёддер, 1987; Bodnar, 1994; Wilkinson, 2001; Плечов, 2014; Hurai et al., 2015].

На месторождении Благодатное были изучены образцы (100 шт.) с Северного и Южного участков месторождения. Каменный материал был отобран из карьеров и 19 скважин (Рис. 1) с глубины от 0.6 (скв. 112) до 680 м (скв. 0166). Содержание золота в образцах варьирует от 0.2 до 31.5 г/т.

Образцы (21 шт.) для исследования с месторождения Доброе представляют собой каменный материал, отобранный вкрест рудного тела №5 (РЛ 4,3) с горизонтов 380-390 с участка Татьянинский (Рис. 5). Содержание золота в образцах составляет 0.1-1.4 г/т.

Из одной половины образца изготавливались петрографические шлифы и полированные с двух сторон пластинки для исследования флюидных включений. Вторую половину этого же образца дробили, рассеивали на ситах и под бинокулярной лупой выбирали чистые без видимых примесей кварц и сульфиды размером 0.5 – 2 мм.

Шлифы и пластинки изучались в проходящем и отраженном свете на оптическом поляризационном микроскопе Olympus BX51 с цифровой фотокамерой ColorView III.

Микротермометрия. Микротермометрические методы основаны на определении температур фазовых переходов внутри вакуолей. Они разделяются на два вида: нагревание выше комнатной температуры (термометрия) и охлаждение ниже комнатной температуры (криометрия). Для микротермометрических исследований была использована термо-крио-камера ТН-MSG-600 Linkam, с помощью которой можно было нагревать образец до 600°C или охлаждать до -195 °C с различной скоростью (от 0,1 до 90°C/мин). Данная установка реализует нагрев/охлаждение в автоматическом режиме. Калибровка микротермокамеры проводилась с использованием природных флюидных включений с чистой углекислотой и искусственных газовой-жидких включений с известными температурами фазовых переходов. Стандартная температурная ошибка измерений составляет $\pm 0,1^\circ\text{C}$. Для охлаждения образцов используется жидкий азот, который имеет температуру кипения -195,8°C. Данной температуры вполне достаточно для различных исследований в широкой области отрицательных температур.

В индивидуальных флюидных включениях, в кварце и кальците замерялись температуры общей гомогенизации ($T_{\text{гом}}$) и фиксировался вид гомогенизации – в жидкую, газовую фазу или с критическими явлениями. В большинстве экспериментов было отмечено, что флюид близок к линии двухфазового равновесия, поэтому $T_{\text{гом}}$ рассматриваются в качестве температур захвата включений. В водной фазе включений замерялись температуры эвтектики ($T_{\text{эвт}}$) и плавления последнего кристаллика льда ($T_{\text{пл}}$). По $T_{\text{эвт}}$ был определен тип водно-

соленовой системы в соответствии с данными [Борисенко, 1977], а по $T_{пл}$ рассчитывались концентрации солей в растворе [Киргинцев и др, 1972]. В газовой фазе включений замерялись температуры частичной гомогенизации ($T_{ч.гом.}$) и плавления твердой углекислоты ($T_{пл.CO_2}$), а также отмечался вид гомогенизации (Ж – в жидкость, Г – в газ, ЖГ – с критическими явлениями).

Давление флюида в гидротермальной системе рассчитывалось по сингенетичным включениям ($Ж_{H_2O}+Г$, $Ж_{CO_2\pm CH_4\pm N_2}$, $Г_{CO_2\pm CH_4\pm N_2}$). По газово-жидким ($Ж_{H_2O}+Г$) включениям замерялась общая температура гомогенизации. По углекислотно-метан-азотным включениям определялась температура плавления, температура частичной гомогенизации смеси $CO_2+CH_4+N_2$ и вид гомогенизации (в жидкую или газовую фазу). Полученные параметры позволили определить давление флюида по методикам, приведенных в работах [Brown, 1989; Bakker, 2003].

Метод раман-спектроскопии (спектроскопия комбинационного рассеивания) использовался для анализа и диагностики определенных компонентов в газовой, твердой и жидкой фазах флюидных включений без их вскрытия [Dubessy et al., 1989; Burke, 2001; Frezzotti et al., 2012]. Рамановские спектры записывали с использованием прибора Horiba J.Y. спектрометр LabRAM HR800 в сочетании с микроскопом Olympus BX41 (ИГМ СО РАН). В качестве источника возбуждения использовался твердотельный лазер с диодной накачкой и длиной волны 532 нм (Torus, Laser Quantum). Каждое соединение имеет свою линию на спектре (например, для CO_2 – 1388 см^{-1} , для CH_4 – 2917 см^{-1} и N_2 - 2331 см^{-1}). Более того не существует двух молекул, имеющих одинаковые рамановские спектры. Интенсивность рассеянного света связана с количеством вещества, что дает нам возможность получать качественную и количественную информацию о составе включений. Пропорции газов в смеси рассчитаны по данным раман-спектроскопии с использованием уравнений из [Burke, 2001].

Метод газовой хромато-масс-спектрометрии (GC-MS или ГХ-МС) был применен для анализа состава летучих компонентов во флюидных включениях. Детальное описание принципов используемого метода приведено в работах

[Tomilenko et al., 2019; Бульбак и др., 2020]. При подготовке проб к анализу не использовались кислоты, растворители и какие-либо органические вещества, которые могли бы внести искажения в первоначальный состав флюида. Исследуемые пробы объёмом до 0.06 см^3 помещались пинцетом в лодочку в специальное устройство (Рис. 8, узел 4), включенное онлайн в газовую схему хроматографа перед аналитической колонкой. Образцы перед анализом прогревались при $130\text{-}160^\circ\text{C}$ в течение 133 минут в токе газа-носителя гелия при давлении 45 кПа. Чистота гелия составляла 99.9999%. Анализ газовой смеси, извлеченной при однократном ударном разрушении образца, выполнен на газовом хромато-масс-спектрометре Focus GC / DSQ II MS (Thermo Scientific, USA). Все газовые тракты хроматографа, по которым перемещалась газовая смесь, в том числе инжектор и кран, узел 4 и капилляры, имели сульфинертное покрытие.

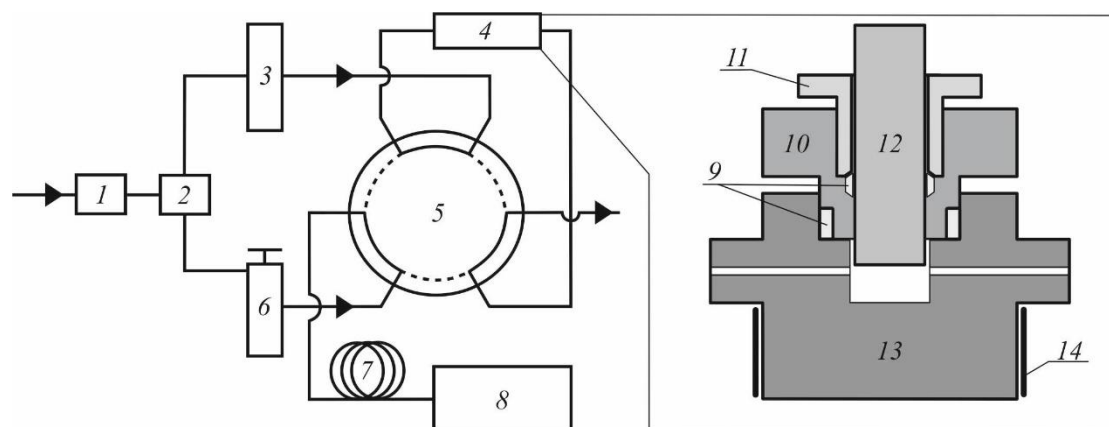


Рисунок 8. Принципиальная пневматическая схема с основными узлами использованного газового хромато-масс-спектрометра [Бульбак и др., 2020]: 1 - фильтр; 2 - тройник; 3 – регулятор расхода газа; 4 – ячейка для разрушения образца; 5 – 6-портовый 2-ходовой кран; 6 – SSL-инжектор; 7 – аналитическая колонка; 8 – масс-селективный детектор. На вставке упрощенная разрез-схема 4 узла: 9 - фторопластовые уплотнения; 10 - упорная гайка; 11 - нажимная гайка; 12 – ударопрочный шток; 13 – корпус с углублением для образца и сквозным газовым трактом; 14 – нагреватель печи.

Разделение пробы на компоненты осуществлялось в газовом хроматографе на неполярной капиллярной аналитической колонке Rt-Q-BOND (Restek, USA;

неподвижная фаза – 100% дивинилбензол, длина – 30 м, внутренний диаметр – 0.32 мм, толщина неподвижной фазы – 10 мкм) при следующих условиях: смесь без деления и без концентрирования, включая криофокусировку, вводилась через шестипортовый двухпозиционный термостатируемый (270 °C) кран (Valco, USA) в аналитическую колонку, скорость постоянного потока He с вакуумной компенсацией составляла 1.7 мл·мин⁻¹, температура GC-MS соединительной линии – 300°C; колонка выдерживалась 2 мин при температуре 70°C, затем нагревалась со скоростью 25 °C·мин⁻¹ до температуры 150°C, а далее нагревалась со скоростью 5 °C·мин⁻¹ до 290°C 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. Масс-спектральные условия: энергия электронов – 70 эВ, ток эмиссии – 100 μА, температура в источнике ионов – 200°C, напряжение усилителя – 1350 В, полярность регистрируемых ионов – положительная, диапазон сканирования масс – 5-500 а.е.м., скорость сканирования – 1 скан в секунду. Старт анализа синхронизировался с моментом разрушения образца.

В этом аналитическом методе образцы не подвергались пиролизу, а только прогревались для десорбции поверхности и перевода воды, возможно содержащейся в образце, в газовую фазу. Поэтому анализировалась газовая смесь почти *in situ*, а не пиролизат, содержащий более окисленные соединения (H₂O, CO, CO₂ 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. По результатам последующего анализа определялась степень и полнота элюирования тяжелых углеводородов и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) с аналитической колонки при программировании температуры в термостате

хроматографа. При необходимости аналитическая колонка термокондиционировалась до достижения необходимого бланка.

Использованный для определения состава газовой фазы в самородном золоте, сульфидах, кварцах и кальците GC-MS анализ объединяет достоинства двух 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. Масс-спектрометрия предоставила набор масс-спектров для каждого соединения и информацию об его ионных и диагностических фрагментах. Идентификация каждого соединения выполнена путем интеграции обоих методов (Рис. 9).

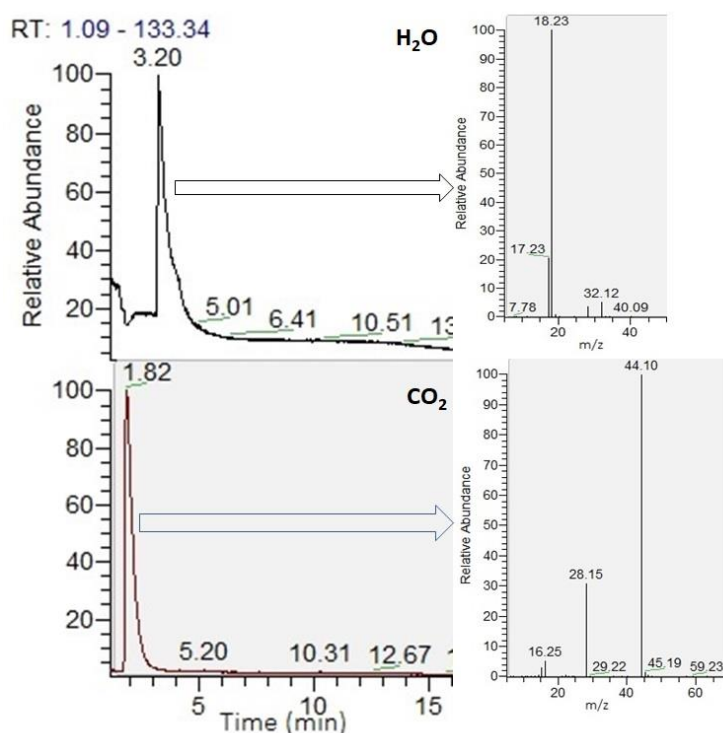


Рисунок 9. Фрагменты хроматограммы и масс-спектры, соответствующие H_2O и CO_2 .

Интерпретация полученных GC-MS 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 Registry 12th Edition с помощью программы NIST MS Search версии 2.4, параметры поиска стандартные. Относительные концентрации (отн.%) летучих компонентов в разделяемой смеси устанавливались методом нормировки: сумма площадей всех хроматографических пиков анализируемой смеси приравнивалась к 100%, а по величине площади отдельного компонента определялось его процентное содержание в анализируемой смеси. Площади пиков в хроматограмме определялись по алгоритму ICIS с использованием Qual Browser 1.4 SR1 из пакета программ Xcalibur. Предлагаемая методика пригодна для обнаружения следовых содержаний индивидуальных летучих компонентов уже от десятков фемтограмм. Метод GC-MS, использованный для определения газовой составляющей флюидных включений в минералах, в последние годы широко применяется в различных исследованиях [Жимулев и др., 2015; Tomilenko et al. 2015; Sokol et al., 2017; Tomilenko et al., 2019; Бульбак и др., 2020], способствуя получению дополнительных данных для установления физико-химических условий минералообразования.

Методом микрорентгеноспектрального анализа был проанализирован состав сульфидов и золота на Jeol JXA-8100 в ИГМ СО РАН (аналитик В. Н. Королук). Условия съемки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда 50 нА, размер пучка 3–4 мкм.

Изотопы серы ($\delta^{34}\text{S}$) сульфидов измерялись в газе SO_2 , полученном при взаимодействии сульфидов с CuO при 1000 °С и нормированы относительно изотопного состава троилита из метеорита Каньон-Дьябло. Воспроизводимость значений $\delta^{34}\text{S}$, включая подготовку образца, составляет 0.1 % [Пальянова и др., 2016]. Аналитики: В.Н. Реутский, М.Н. Колбасова.

Изотопный состав гелия во флюидных включениях в кварце определен в лаборатории геохронологии и геохимии изотопов Геологического института Кольского НЦ ГАИ (г. Апатиты). Методические приемы изложены в работах

[Толстихин, Прасолов, 1971; Ветрин и др., 2003; Икорский и др., 2006, 2014; Прасолов и др., 2018].

Доля мантийного гелия (^3He), рассчитывалась по формуле (1), исходя из значений отношения $^3\text{He}/^4\text{He}$ в мантии Земли и ее коре 1.2×10^{-5} и 2×10^{-8} , соответственно [Прасолов и др., 2018].

$$m(\%) = \frac{\left(\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}\right)_{\text{образец}} - \left(\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}\right)_{\text{кора}}}{\left(\frac{^3\text{He}}{^4\text{He}}\right)_{\text{мантия}}} * 100 \quad (1)$$

Изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ углекислоты во флюидных включениях в кварце определялся в газе, извлеченном из навесок в 1000 мг методом декрепитации при нагревании до 600 °С. CO_2 связывалась при температуре жидкого азота, после чего криоловушка изолировалась от вакуумной линии. Ампулы с CO_2 анализировались на масс-спектрометре ThermoFinnigan Delta Plus-XP, оснащенной системой двойного напуска. Результаты были нормированы через стандарт VPDB (Pee Dee Belemnite). Аналитики: В.Н. Реутский, М.Н. Колбасова, О.П. Изох.

Изотопно-геохронологические данные получены на основе *Ar-Ar метода определения возраста* мусковита из сланцев кварц-мусковит-биотитового±гранатового состава из зон динамотермального метаморфизма рудного поля месторождения Благодатное. На оригинальной установке, использующей кварцевый реактор с малоинерционной печью внешнего прогрева, проведены $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ исследования образцов методом ступенчатого прогрева [Травин, 2016].

Микротермометрические, раман и ГХ-МС анализы были выполнены на базе лаборатории Термобарогеохимии ИГМ СО РАН. Исследования изотопного состава проведены в ЦКП Многоэлементных и изотопных исследований СО РАН.

Глава 3. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ БЛАГОДАТНОЕ И ДОБРОЕ

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

3.1 Описание флюидных включений в минералах

3.1.1 Месторождение Благодатное

На месторождении Благодатное индивидуальные флюидные включения исследованы в кварце и кальците. Среди просмотренных 65 кварцевых пластинок не обнаружены зерна кварца с зонами роста. Известно [Ермаков, Долгов, 1979; Рёддер, 1987], что приуроченность флюидных включений к зонам роста позволяет разделить флюидные включения по времени их консервации на первичные, первично-вторичные и вторичные генерации. Из-за отсутствия зерен кварца с зонами роста в исследованных образцах мы руководствовались следующим приёмом выделения генераций. К первичным и первично-вторичным генерациям отнесены включения, которые либо равномерно распределены по всему зерну кварца, либо образуют группы из 5-10 включений, не приуроченные к залеченным трещинам. Вторичные генерации включений образуют цепочки в залеченных трещинах, секущих границы кварцевых зерен.

При комнатной температуре было выделено три типа флюидных включений (Рис. 10):

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

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

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

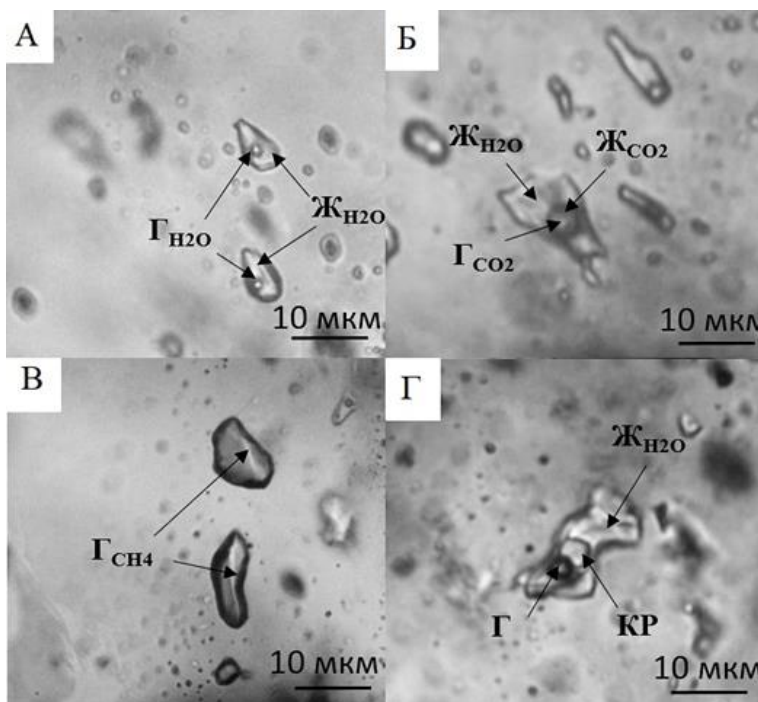


Рисунок 10. Типы флюидных включений в кварце золоторудного месторождения Благодатное: а,б – двухфазные газовой-жидкие включения, в – однофазные включения, г – трехфазные.

В кальците обнаружен только один тип флюидных включений – газовой-жидкие, где фаза жидкой воды преобладает ($\text{Ж}_{\text{H}_2\text{O}} \gg \Gamma$).

В кварце прорудных метасоматитов законсервированы первичные и первично-вторичные двухфазные и однофазные флюидные включения, размер которых редко превышает 5-10 мкм. В этом же кварце присутствуют три типа вторичных флюидных включений, которые приурочены к трещинам, секущим границы кварцевых зерен. Вторичные флюидные включения с размерами вакуолей менее 5-7 мкм заполнены водно-газовой смесью, в которой фаза жидкой H_2O всегда преобладает. К вторичным генерациям отнесены однофазовые существенно газовые флюидные включения и включения с кристалликом соли.

В кварце рудной стадии законсервированы все три типа флюидных включений: двухфазные ($J_{H_2O} + \Gamma_{CO_2 \pm CH_4 \pm N_2}$) первичные, первично-вторичные и вторичные генерации; однофазные ($J_{CO_2 \pm CH_4 \pm N_2}$, $\Gamma_{CO_2 \pm CH_4 \pm N_2}$) первично-вторичные и вторичные генерации; трехфазные ($J_{H_2O} + \Gamma + KР$) вторичные генерации.

В кварце и кальците из кварц-кальцитовых прожилков пострудной стадии законсервированы первичные газовой-жидкие включения ($J_{H_2O} + \Gamma$), водная фаза преобладает над газовой (чаще в соотношении 85:15).

3.1.2 Месторождение Доброе

На месторождении Доброе индивидуальные флюидные включения исследовались в гранобластическом и жильном кварце (Рис. 11) из линзочек, прожилков и жил, залегающих в зеленых сланцах околорудной и рудной зон. По фазовому составу при комнатной температуре выделены два типа флюидных включений в кварце. Первый тип представлен двухфазными ($J_{H_2O} + \Gamma(J)_{CO_2 \pm CH_4 \pm N_2}$) включениями (Рис. 11б) с меняющимися соотношениями объемов воды и газа. Форма вакуолей этого типа включений самая разнообразная, размеры их не превышают 10-15 мкм. Второй тип – однофазные газовые или жидкие углекислотно-углеводородные включения ($\Gamma(J)_{CO_2 \pm CH_4 \pm N_2}$) (Рис. 11б). В проходящем свете под микроскопом эти включения выглядят темными (иногда черными), имеют самую разнообразную, но чаще удлиненную форму вакуолей, а их размеры в 2-3 раза превосходят размеры двухфазных включений первого типа.

В гранобластическом кварце как из околорудной, так и рудной зоны первичных и первично-вторичных генераций включений практически не обнаружено. В нем присутствуют в основном вторичные генерации флюидных включений, приуроченные к микротрещинам, иногда взаимно пересекающихся, секущих границы зерен гранобластического кварца (Рис. 11в).

В жильном кварце флюидные включения представлены первичными, первично-вторичными и вторичными генерациями. Первичные и первично-вторичные генерации включений располагаются внутри кварцевых зерен в виде отдельных изолированных образований или групп из 5-10 включений, не связанных с трещинами. К вторичным генерациям отнесены включения, приуроченные к залеченным микротрещинам, секущим границы кварцевых зерен (Рис. 11).

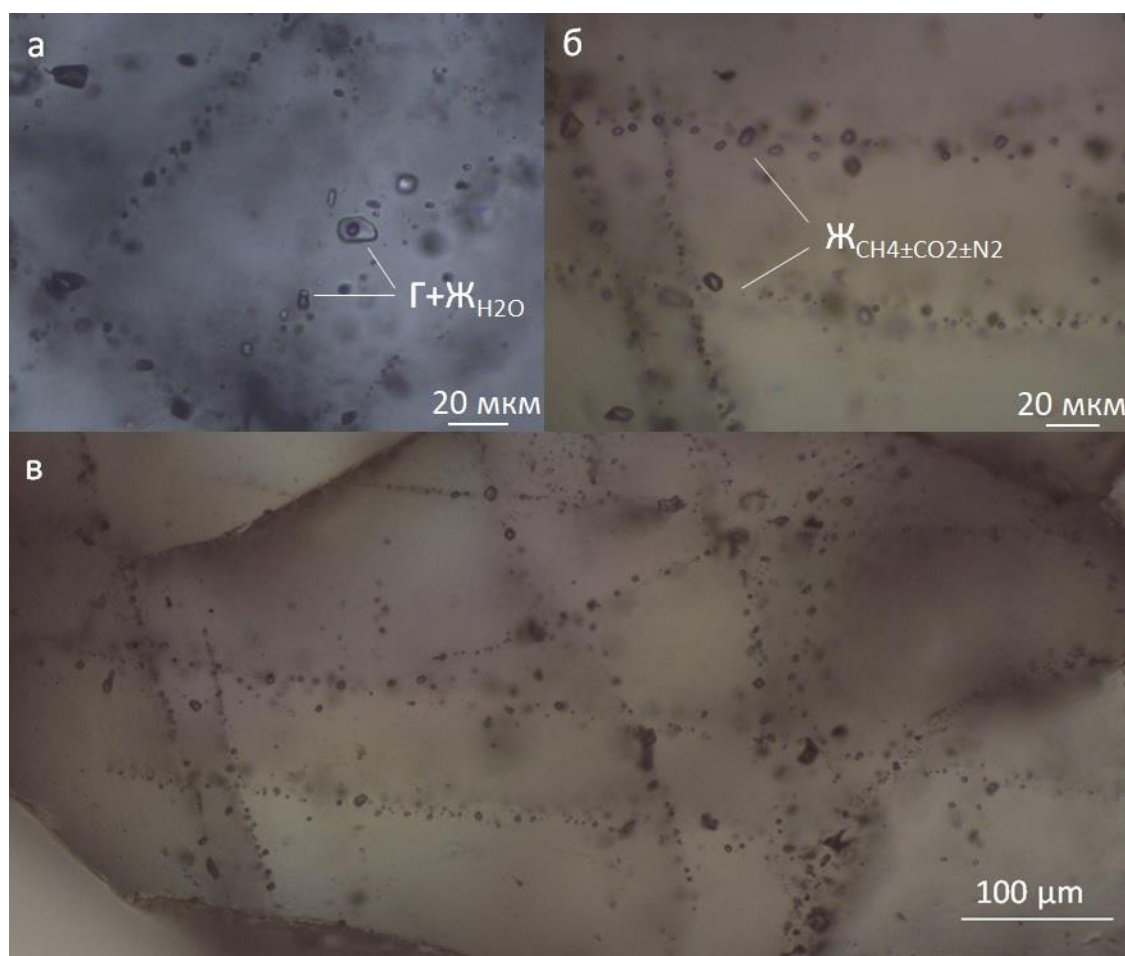


Рисунок 11. Флюидные включения в кварце месторождения Доброе: а – двухфазные ФВ, б – однофазные ФВ, в – системы пересекающихся трещинок, в которых захвачены однофазные флюидные включения.

В жильном кварце присутствуют оба типа флюидных включений, различающихся по фазовому и химическому составу. Соотношение между двухфазными и однофазными флюидными включениями в жильном кварце разнообразно. Оба типа ФВ могут присутствовать в группе первичных включений, но гораздо чаще однофазные ФВ тяготеют к взаимно пересекающимся микротрещинам как внутри зерен кварца, так и за их пределами (Рис. 11в).

3.2 Результаты микротермометрических исследований

3.2.1 Месторождение Благодатное

Результаты термометрических и криометрических исследований флюидных включений в кварце предрудной, рудной и пострудной стадии формирования Благодатного месторождения представлены в сводной таблице 1.

Предрудная стадия. Температуры общей гомогенизации первичных и первично-вторичных флюидных включений в кварце предрудных метасоматитов колеблются в интервале 180-300 °С при гомогенизации в жидкую фазу. Водная фаза включений представлена смесью хлоридов Na и Mg с соленостью 6-15 мас.%, экв. NaCl. В составе этих флюидов присутствует CO₂, о чем свидетельствуют замеренные в этой фазе температуры плавления (-58.1÷-60.3 °С) с температурой частичной гомогенизации в интервале от +15.1 до -31.8 °С (Табл. 1). В кварце предрудных метасоматитов в виде включений вторичных генераций законсервированы низкотемпературные (140-170 °С) слабосоленые (2-6 мас.%, NaCl-экв.) газовой-жидкие, однофазные и высокосолёные трехфазные (>30 мас.%) флюидные включения (Табл. 1). Давление флюида на этой стадии минералообразования колебалось в интервале 0.2-1.6 кбар.

Рудная стадия. В кварце золотоносных ассоциаций температуры общей гомогенизации первичных и первично-вторичных флюидных включений колебались в интервале 220-350 °С (Рис. 12) при гомогенизации как в жидкую, так и в газовую фазу. Хлориды Mg и Na присутствуют в водной фазе включений, на что указывают температуры эвтектики (Табл. 1). Соленость флюида составляет 8-

16.5 мас.%, NaCl-экв. Среди первично-вторичных и вторичных генераций включений постоянно присутствуют газово-жидкие включения с CO_2 и однофазные. Во вторичных включениях с дочерними кристалликами соли законсервирован флюид с соленостью выше 30 мас.%, NaCl-экв., солевой фон флюида определяют хлориды Na и Ca. Температуры общей гомогенизации изменялись в интервале 150-250 °C при гомогенизации в жидкую фазу, в этом же интервале растворялись и дочерние кристаллики (Табл. 1), которые при понижении температуры вновь появлялись.

Таблица 1. Обобщенные результаты микротермометрических исследований флюидных включений в минералах золоторудного месторождения Благодатное

Тип включений	Генерация включений*	Т _{гом.} , °С	Вид гом. **	Т пл.кр., °С	Водная фаза			Т пл. CO ₂ ±CH ₄ ±N ₂ , °С	Т ч. гом., °С	Вид гомогенизации	Давление, кбар
					Т эвт., °С	Т пл. льда, °С	Соленость, мас. %, NaCl-экв.				
Предрудный этап. Кварц предрудных метасоматитов.											
Ж _{H2O} +Г	П, ПВ	180-290 (37)	Ж	-	-31.3÷-30.5 (19)	-3.0÷-10.0 (15)	6-15	-	-	-	0.2 - 1.6
	В	140-170 (8)	Ж	-	-22.0÷-26.3 (3)	-1.0÷-3.0 (3)	2-6	-	-	-	
Ж _{H2O} +Ж _{CO2±CH4±N2}	П, ПВ	250-300 (19)	Ж	-	-33.4÷-39.0 (11)	-5.9÷-7.0 (11)	10-11	-58.1÷-60.3 (9)	-31.8÷+15.1 (9)	ж, г	
Ж(Г) _{CO2±CH4±N2}	В	-	-	-	-	-	-	-59.3÷-61.3 (7)	-19.0÷-23.8 (7)	ж, г	
	В	-	-	-	-	-	-	-103.5÷120.3 (5)	-90.5÷-92.5 (5)	г	
Ж _{H2O} +Г+КР	В	190-210 (9)	Ж	170-200 (3)	-49.4÷-56.0 (5)	-21.4÷-20.5 (5)	>30	-	-	-	
Рудный этап. Кварц золотосульфидных жил.											
Ж _{H2O} +Г	П, ПВ	220-350 (68)	ж, г	-	-29.3÷-34.2 (28)	-3.9÷-12.0 (27)	8-16.5	-	-	-	1.8 - 2.6
	В	130-230 (31)	Ж	-	-18.0÷-21.5 (15)	-0.5÷-2.5 (15)	1-8.5	-	-	-	
Ж _{H2O} +Ж _{CO2±CH4±N2}	П, ПВ	230-280 (39)	Ж	-	-36.8÷-45.9 (16)	-6.1÷-8.0 (16)	10-12.5	-57.9÷-63.8 (19)	-53.3÷+21.3 (19)	ж, г	
Ж(Г) _{CO2±CH4±N2}	П, ПВ	-	-	-	-	-	-	-59.0÷-61.3 (31)	-37.6÷+19.8 (31)	ж, г	
	ПВ	-	-	-	-	-	-	-90.1÷-105.1 (17)	-78.5÷-96.6 (17)	ж, г	
Ж _{H2O} +Г+КР	В	150-250 (19)	Ж	140-190 (15)	-47.2÷-54.3 (11)	-38.1÷-42.1 (11)	>30	-	-	-	

Пострудный этап. Кварц, кальцит нитевидных прожилков.											
Ж _{H2O} >>Г	П, ПВ	Кварц									
		110-180 (9)	Ж	-	-18.5÷-21.0 (5)	-0.5÷-3.0 (6)	1-6	-	-	-	-
Ж _{H2O} >>Г	П, ПВ	Кальцит									
		120-160 (7)	Ж	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: *П – первичные, ПВ – первично-вторичные, В-вторичные.

** ж – в жидкую фазу, г – в газовую фазу.

Во вторичных газово-жидких включениях температуры гомогенизации составляли интервал 130-230 °С при гомогенизации в жидкость, соленость этого флюида составляла 1 – 5 мас.%, NaCl-экв., состав флюида определяли хлориды Na. Давление флюида при минералообразовании золотоносных ассоциаций на Благодатном месторождении менялось в интервале 1.8-2.6 кбар (Табл. 1).

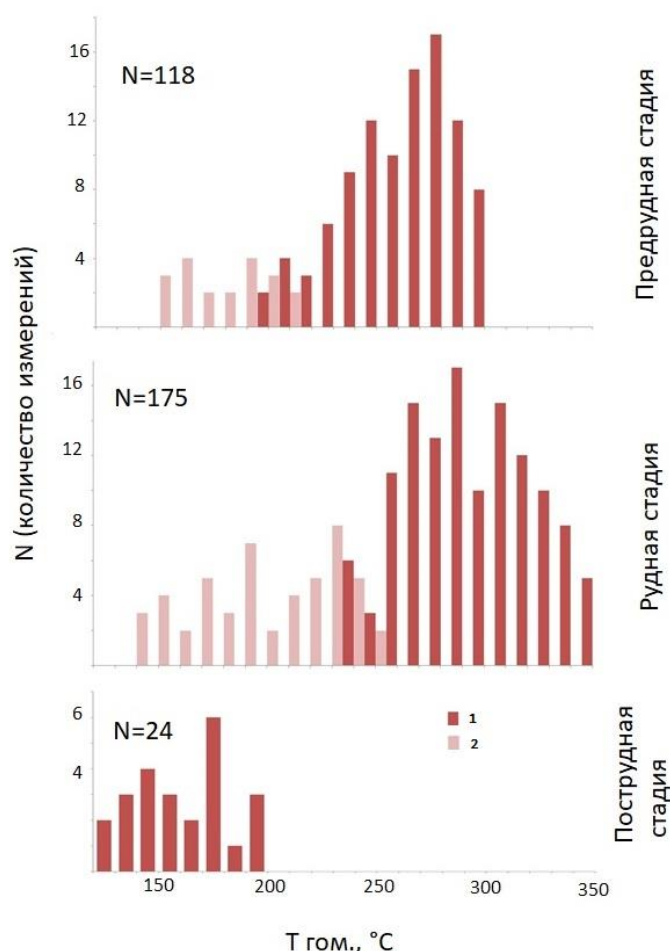


Рисунок 12. Интервалы температур гомогенизации флюидных включений на различных стадиях: 1 – первичные и первично-вторичные ФВ, 2 – вторичные ФВ.

Пострудная стадия. В кварце и кальците из нитевидных кварц-кальцитовых прожилков определены температуры гомогенизации первичных и первично-вторичных включений в интервале 110 – 180 °С при гомогенизации в жидкую фазу. Соленость флюида составляла 1 – 6 мас. % (NaCl-экв.).

Рудная стадия продуктивной минерализации на месторождении Благодатное характеризуется более высокотемпературным режимом (220-350 °С),

чем стадия предрудных метасоматитов (180-300 °С) и поздняя пострудная кварц-кальцитовая стадия (110-180 °С) (Рис. 11). Соленость рудообразующих растворов рудной и предрудной стадии была средней, в пределах от 6 до 16.5 мас. % (экв. NaCl). На уже существующие кварцевые жилы накладывались как слабосоленые (1 – 5 мас.%, NaCl-экв), так и высокосолёные (>30 мас.%, NaCl-экв.) растворы в температурном интервале 130 – 350 °С. На пострудной стадии были активны низкосолёные растворы (1 – 6 мас. %, NaCl-экв.). Давление на предрудной стадии составляло 0.2-1.6 кбар, а на рудной повышалось до 2.6 кбар.

Сосуществование множества генераций флюидных включений в кварце различных стадий рудообразования, которые отличаются по температуре, солености и давлению указывает на сложный полистадийный процесс, в результате которого сформировались золотосные кварцево-жильные зоны месторождения.

3.2.2 Месторождение Доброе

Результаты микротермометрических исследований флюидных включений в кварце месторождения Доброе представлены в таблице 2. В гранобластическом кварце практически не обнаружено первичных и первично-вторичных генераций. Температура гомогенизации двухфазных вторичных включений из околорудной зоны ($Au < 0,1$ г/т) колеблется в интервале от 180 до 320 °С при гомогенизации в жидкую или газовую фазу. В этих включениях захвачен флюид с соленостью 1,5-9,0 мас. %, NaCl-экв. Состав водной фазы определяют хлориды Mg и Na, на это указывают температуры эвтектики, которые колеблются в интервале от -23,6 до -36,5 °С. Во вторичных генерациях включений, где фаза воды преобладает над газовой, температура общей гомогенизации не превышает 210 °С, при гомогенизации в жидкость, соленость флюида не превышает 3,0 мас. %, NaCl-экв. В однофазных вторичных включениях в гранобластическом кварце температура плавления сжиженного газа составляет интервал -72,6 до -83,0 °С при температуре частичной гомогенизации в газ и жидкость в интервале от -10,5 до -140,6 °С. Давление флюида колеблется от 0.2 до 0.8 кбар (Табл. 2).

Таблица 2. Обобщенные результаты микротермометрических исследований флюидных включений в кварце месторождения Доброе, Енисейский кряж.

Генерация включений	T _{гом.} , °C	Вид гомогенизации* *	T _{эвт.} , °C	T _{пл.} льда, °C	Соленость, мас. %, NaCl-экв.	T _{пл.} CO2±CH4±N2, °C	T _{ч. гом.} , °C	Вид гомогенизации	Давление, кбар
Рудная зона, Au>1,4 г/т									
П, ПВ Ж _{H2O} +Г	$\frac{240-360}{320}$ (44)	Ж, Г	$\frac{-23.6 \dots -32.0}{-30.8}$ (9)	-2.0...-10.0 (8)	4.5-15.0	-63.8...-80.4	-3.1...-28.4	Г, Ж	0.8-1.3
ПВ, В Ж(Г) _{CO2±CH4±N2}	-	-	-	-	-	-69.8...-89.6	-8.2...-93.6	Г, Ж	
В Ж _{H2O} +Г	$\frac{110-230}{200}$ (16)	Ж	$\frac{-19.3 \dots -24.0}{-21.4}$ (5)	-0.5...-1.5 (5)	1.5-2.5	-	-	-	
Околорудная зона, Au<0.1 г/т									
В Ж _{H2O} +Г	$\frac{180-320}{280}$ (15)	Ж, Г	$\frac{-20.7 \dots -29.5}{-24.8}$ (7)	-0.7...-5.0 (5)	1.5-9.0	-57.6...-71.2	-1.5...-8.3	Г, Ж	0.2-0.8
В Ж(Г) _{CO2±CH4±N2}	-	-	-	-	-	-72.6...-83.0	-10.5...-140.6	Г, Ж	
В Ж _{H2O} +Г	$\frac{120-210}{190}$ (11)	Ж	$\frac{-17.5 \dots -19.8}{-18.0}$ (5)	-0.3...-1.5 (5)	0.5-3.0	-	-	-	

Примечание: *П – первичные, ПВ – первично-вторичные, В-вторичные.

** ж – в жидкую фазу, г – в газовую фазу.

В кварце золотоносной рудоносной зоны ($Au=1,4$ г/т) температура общей гомогенизации первичных и первично-вторичных газовой-жидких ФВ составляет интервал 240-360 °С при гомогенизации как в жидкость, так и в газ. Соленость флюида достигала 15,0 мас. %, NaCl-экв. Давление флюида менялось в интервале 0,8-1,3 кбар. В газовой-жидких включениях температура плавления твердой углекислоты составляет интервал от -63,8...-80,4 °С, при температуре частичной гомогенизации в интервале от -3,1 до -28,4 °С, гомогенизация происходит и в газ, и в жидкость. В первично-вторичных и вторичных генерациях однофазных флюидных включениях захвачен флюид с температурой плавления в интервале от -69,8 до -89,6 °С и температурой частичной гомогенизации от -8,2 до -93,6 °С как в жидкость, так и в газ. Вторичные газовой-жидкие включения, где фаза жидкой воды преобладает над газовой ($J_{H_2O} \gg \Gamma$), гомогенизировались только в жидкую фазу в интервале температур 110-230 °С, соленость колебалась в интервале от 1,5 до 2,5 мас. %, NaCl – экв.

Полученные термобарогеохимические характеристики ФВ в кварце из рудной и околорудной зоны близки. Учитывая, что в гранобластическом кварце отсутствуют первичные ФВ, можно сделать вывод о том, что он кристаллизовался раньше, чем жильный кварц. Вероятнее всего, гидротермальная деятельность на месторождении Доброе начиналась с формирования ранних кварцевых жил, прожилков, линзочек при участии метаморфогенной перегруппировки кремнезема вмещающих пород. В последующие геологические периоды в зонах тектонических нарушений ранние кварцевые образования претерпели локальный градиент давления. В результате действия которого произошла перегруппировка (грануляция) кварца. В этих местах кварц приобрел гранобластический структурный узор. При поступлении новой нагретой до температуры 300-360 °С порции флюида в места локализации ранних кварцевых жил и линзочек, сложенных гранобластическим кварцем, кристаллизуется жильный кварц в виде крупных зерен и прожилков, секущих гранобластический кварц. В зернах гранобластического кварца появляется множество взаимно пересекающихся микротрещин, заполненных вторичными включениями (Рис. 11в).

Таким образом, продуктивная стадия рудного минералообразования протекала при температуре 180-360 °С, солености 1.5-15 мас. %, NaCl – экв. и давлении 0.2-1.3 кбар. Наложение более поздних флюидов происходило при температуре 110 – 230 °С, солености 0.5 – 2.5 мас. %, NaCl – экв.

3.3 Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений

3.3.1 Месторождение Благодатное

Методом рамановской спектроскопии в индивидуальных флюидных включениях в кварце выявлено наличие трех основных компонентов: CO₂, CH₄ и N₂ (Табл. 3, Рис. 13, 14). В газовой-жидких двухфазных включениях преобладают CO₂ и N₂, содержание CH₄ гораздо ниже. В однофазных газовых или жидких включениях, превалирует CH₄, содержание которого достигает 98.5 мол.%, тогда как двухфазных газовой-жидких – не превышает 9.0 мол.%.

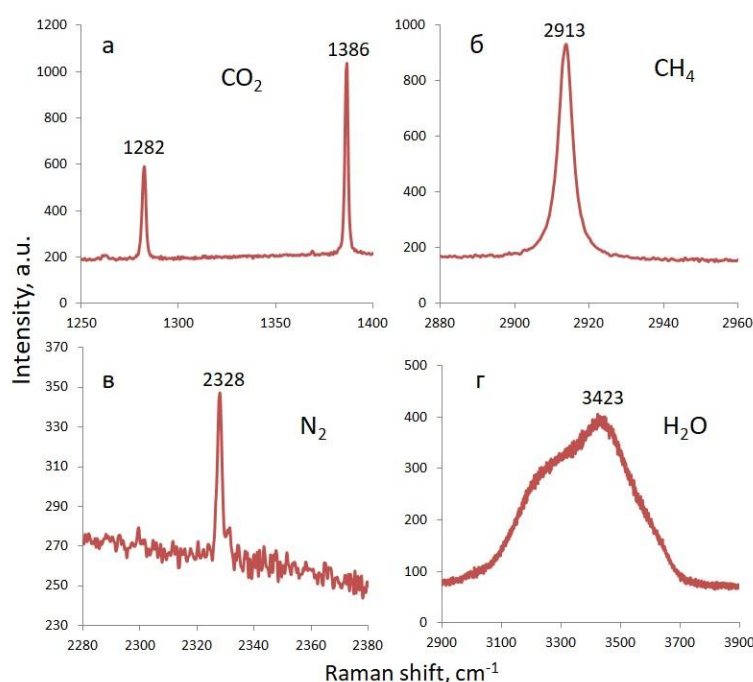


Рисунок 13. Рамановские спектры газовой (а, б, в) и водной (г) фаз флюидных включений в кварце месторождения Благодатное.

Таблица 3. Микротермометрические характеристики и состав газовой фазы индивидуальных включений в кварце золоторудного месторождения Благодатное (по данным рамановской спектроскопии).

N обр.	Т плавлен ия, °C	Т гомогенизации, °C	Вид* гомогени- зации	Содержание, мол.%			CO ₂ /CH ₄
				CO ₂	CH ₄	N ₂	
Двухфазные ФВ (Ж _{H2O} +Ж(Г) _{CO2±CH4±N2})							
111/59.3/1	- 58.1	+ 8.0	Ж	78.0	2.0	20.0	39.0
111/59.3/2	- 57.1	+ 10.0	Ж	76.0	2.0	22.0	38.0
111/60.8/1	- 56.8	+ 13.0	Ж	94.0	1.0	5.0	93.0
111/60.8/2	- 57.3	+ 19.0	Ж	88.0	2.0	10.0	44.0
111/90.3/1	- 59.5	- 6.5	Ж	81.5	1.0	17.5	81.5
111/90.3/2	- 61.2	- 9.5	Ж	74.5	2.5	23.0	29.8
111/120.6/1	- 60.3	- 8.0	Ж	85.0	1.5	13.5	56.7
111/129.5/1	- 64.0	- 29.5	Г	52.0	1.0	47.0	52.0
111/129.5/2	- 63.8	- 32.5	Ж	47.0	1.5	51.5	31.3
33/29.3/1	-	-	-	74.7	0.9	24.4	83.0
33/29.3/2	-	-	-	42.7	9.0	48.3	4.7
33/29.3/3	-	-	-	61.4	4.0	34.6	15.4
16/14.6/4	- 62.5	- 22.0	Г	85.7	7.4	6.9	11.65
16/14.6/5	- 62.0	- 22.5	Г	87.2	5.6	7.2	15.57
7/106/4	-	- 13.0	Г	83.0	2.7	14.3	30.8
7/106/5	-	- 15.5	Г	85.2	1.5	13.3	56.8
0166/520/1	-	-10.0	Г	99.3	0.7	-	145.3
Однофазные ФВ (Ж(Г) _{CO2±CH4±N2})							
111/76.5/1	-	- 90.0	Г	8.0	49.0	43.0	0.2
111/90.3/1	-	- 82.0	Ж	10.5	80.0	9.5	0.1
111/120.6/2	- 94.5	- 79.0	Ж	10.5	76.0	13.5	0.1
111/120.6/3	-	- 78.5	Г	0.0	87.5	12.5	-
111/120.6/4	-	- 86.5	Г	0.5	98.5	1.0	0.01
111/120.6/5	-	- 78.5	Ж	11.0	86.5	2.5	0.1
111/129.5/3	-	- 83.0	Ж	4.5	86.0	13.5	0.05
111/129.5/4	-	- 84.0	Г	0.5	98.0	1.5	0.01
33/29.3/4	-	-	-	7.7	38.6	53.5	0.2
100/216.5/1	- 88.5	- 108.5	Ж	10.5	88.0	1.5	0.12
100/216.5/2	- 90.0	- 108.0	Ж	8.9	49.3	41.8	0.18
100/216.5/3	- 88.5	- 108.3	Ж	5.0	49.5	45.5	0.10
7/106/1	-	- 91.0	Ж	0.0	76.4	23.6	-
7/106/2	-	- 96.5	Ж	0.8	78.3	21.0	0.01
7/106/3	-	- 93.0	Ж	0.5	63.8	35.8	0.01
0166/520/2	-	-115.5	Г	0.7	92.3	7.0	0.01
0166/520/3	-	-117.0	Г	1.2	88.4	10.4	0.01

Примечание: * вид гомогенизации: ж – в жидкую фазу, г – в газовую фазу.

Таким образом, двухфазные включения представляют собой захваченный водно-углекислотный флюид, а однофазные – углекислотно-углеводородный. Частичная гомогенизация в водно-углекислотных и углекислотно-углеводородных протекает чаще в жидкую, и реже газовую фазу (Табл. 3). Отношение CO_2/CH_4 в водно-углекислотных включениях меняется в интервале 4.7-145.3, в среднем составляет 47.4 ($n=12$), тогда как в углекислотно-углеводородных включениях это соотношение колеблется в интервале от 0.01 до 0.2, в среднем – 0.1 ($n=8$).

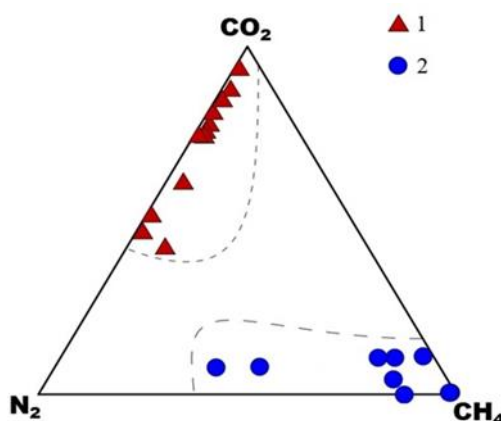


Рисунок 14. Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений в кварце золоторудного месторождения Благодатное (по данным рамановской спектроскопии): 1 – двухфазные газовой-жидкие, 2 – однофазные газовой или жидкие.

Результаты рамановского анализа газовой фазы индивидуальных флюидных включений демонстрируют, что содержание CO_2 , CH_4 и N_2 варьирует в широких пределах. Тем не менее, можно выделить два типа флюида (Рис. 14) – в одном преобладает CO_2 , в другом – CH_4 . На это указывает и отношение CO_2/CH_4 , которое используется как индикатор окислительно-восстановительных условий гидротермальных систем. Таким образом, флюид со значением $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 0.01$ до 0.2 является показателем восстановительной среды, а со значением $\text{CO}_2/\text{CH}_4 = 4.7$ – 145.3 – окислительной. На всех глубинных уровнях залегания кварцевых прожилков и жил месторождения (от 42 до 680 м) в кварце обнаружены газообразные углекислотно-углеводородные включения, т. е. эти флюиды функционировали на всех уровнях гидротермальной системы, и поступали, скорее

всего, с более глубоких горизонтов. Похожие результаты были получены на Олимпиадинском гигантском месторождении золота в интервале глубин от 4,5 м до 817 м рудного тела № 4 в восточной части месторождения [Гибшер и др., 2019], на месторождении Панимба на глубине до 692,5 м [Гибшер и др, 2017] и на золоторудном месторождении Эльдorado [Гибшер и др, 2018].

3.3.2 Месторождение Доброе

Состав газовой фазы 46 индивидуальных флюидных включений в кварце месторождения Доброе определен методом рамановской спектроскопии (Табл. 4, Рис. 15, 16). В составе газовой фазы флюида выявлено наличие трех компонентов: CO_2 , CH_4 , N_2 , содержание которых варьирует в широких пределах.

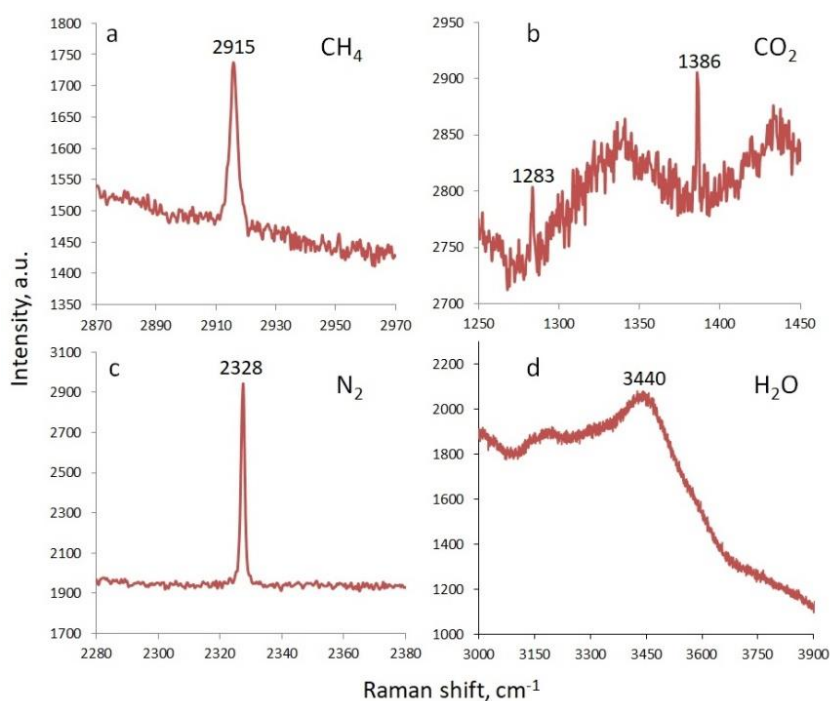


Рисунок 15. Рамановские спектры газовой (а, б, в) и водной (г) фаз флюидных включений в кварце месторождения Доброе.

В двухфазных газовой-жидкой включениях из оклорудной и рудной зон преобладает CO_2 , а в однофазных включениях – CH_4 , N_2 (Рис. 16). В двухфазных включениях отношение CO_2/CH_4 меняется от 1.7 до 329.3 и в среднем составляет 31.0 ($n=28$). В то время как в однофазных величина отношения CO_2/CH_4 заметно меньше (0.04-30.5) и в среднем составляет 4.15 ($n=18$).

Таблица 4. Микротермометрические характеристики и состав газовой фазы индивидуальных включений в кварце золоторудного месторождения Благодатное (по данным рамановской спектроскопии).

№ образца/ включения	Тпл, °C CO ₂ ±CH ₄ ±N ₂	Тгом, °C CO ₂ ±CH ₄ ±N ₂	Вид гомогениза ции	Содержание. мол %			CO ₂ /CH ₄
				CO ₂	CH ₄	N ₂	
Двухфазные ФВ (Ж _{H2O} +Г(Ж) CO ₂ ±CH ₄ ±N ₂)							
Д-1-1/18	-71.3	-28.4	Г	82.0	17.0	1.0	48.0
Д-1-1/20	-70.8	-5.0	Ж	53.0	10.0	37.0	5.3
Д-1-1/21	-69.3	-6.1	Г	50.0	10.0	40.0	5.0
Д-1-1/22	-74.3	-6.9	Г	47.0	11.0	42.0	4.3
Д-6/1	-75.4	-7.8	Ж	47.0	7.6	45.4	6.2
Д-6/2	-80.4	-9.3	Г	94.2	1.3	4.5	72.5
Д-6/3	-69.8	-7.4	Г	62.6	22.6	14.8	2.8
Д-6/4	-58.4	-9.3	Ж	80.0	1.2	18.8	66.7
Д-6/5	-63.8	-3.1	Г	60.7	3.7	35.6	16.4
Д-2-5-a	-	-	-	39.6	7.3	53.1	5.4
Д-2-5-f	-	-	-	22.8	1.4	75.8	16.3
Д-6-d	-	-	-	98.8	0.3	0.9	329.3
Д-1-3/2	-62.5	-3.6	Ж	71.5	22.9	5.6	3.1
Д-1-3/3	-59.8	-8.3	Г	54.1	14.1	31.8	3.8
Д-1-3/4	-57.6	-11	Г	91.4	8.6	-	10.3
Д-1-3/7	-66.3	-4.2	Ж	78.0	20.0	2.0	3.9
Д-1-3/9	-71.2	-1.5	Ж	94.0	4.0	2.0	23.5
Д-1-3/10	-63.6	-4.5	Г	76.4	23.2	0.4	3.3
Д-1-5/1	-59.9	-3.8	Ж	81.7	6.7	11.6	12.2
Д-1-5/2	-65.8	-5.1	Г	91.3	7.3	1.4	12.5
Д-1-5/3	-63.4	-4.9	Г	93.0	5.9	1.1	15.8
Д-1-5/4	-	-	-	93.8	2.3	3.9	40.8
Д-1-5/6	-61.3	-6.1	Ж	98	0.7	1.3	140
Д-1-5/7	-	-7.3	Г	45.9	6.0	48.1	7.6
Д-1-5/11	-64.1	-4.3	Г	41.0	24.0	35.0	1.7
Д-1-5/13	-66.5	-6.3	Ж	43.8	16.2	40.0	2.7
Д-1-5/14	-69.8	-5.1	Г	72.0	14.0	14.0	5.1
Д-1-5/15	-68.3	-6.5	Г	75.9	23.0	1.1	3.3
Однофазные ФВ (Г/Ж) CO ₂ ±CH ₄ ±N ₂							
Д-1-9/4	-	-93.6	Г	3.6	5.7	90.7	0.6
Д-1-8/19	-89.6	-8.2	Г	9.0	89.0	2.0	0.1
Д-1-8/29	-	-122.1	Г	15.0	16.0	69.0	0.9
Д-2-5/3	-69.8	-14.8	Ж	35.8	17.5	32.1	2.0
Д-6/7	-72.3	-15	Ж	43.6	36.8	19.6	1.2
Д-6/8	-	-89.3	Г	16.3	8.1	75.6	2.0
Д-6/9	-	-91.4	Ж	15.2	8.7	76.1	1.7
Д-2-5-b	-	-	-	17.7	2.8	79.5	6.3
Д-2-5-e	-	-	-	13.1	2.6	84.3	5.0
Д-6-b	-	-	-	39.7	1.9	58.4	20.9
Д-6-c	-	-	-	54.9	1.8	43.3	30.5

Продолжение Табл. 4

№ образца/ включения	Тпл, °С	Тгом, °С	Вид гомогениза ции	Содержание, мол %			CO ₂ /CH ₄
				CO ₂	CH ₄	N ₂	
Д-1-3/1	-	-123.5	Г	4.0	15.0	81.0	0.3
Д-1-3/2	-	-140.6	Г	13.0	15.0	72.0	0.9
Д-1-3/4	-	-135.2	Ж	12.0	18.0	70.0	0.7
Д-1-3/5	-	-93.0	Г	15.0	29.0	56.0	0.5
Д-1-3/8	-	-89.0	Г	4.0	90.0	6.0	0.04
Д-1-3/16	-83.0	-13.0	Ж	35.0	65.0	-	0.5
Д-1-3/17	-82.6	-10.5	Ж	37.0	63.0	-	0.6

Полученные данные указывают на наличие двух типов флюида, захваченного в кварце месторождения Доброе: водно-углекислотный и углекислотно-углеводородный (Рис. 16). Углекислотно-углеводородный тип флюида захвачен в основном в виде первично-вторичных и вторичных генераций. Это позволяет сделать вывод о более позднем его участии в формировании кварцево-жильных зон.

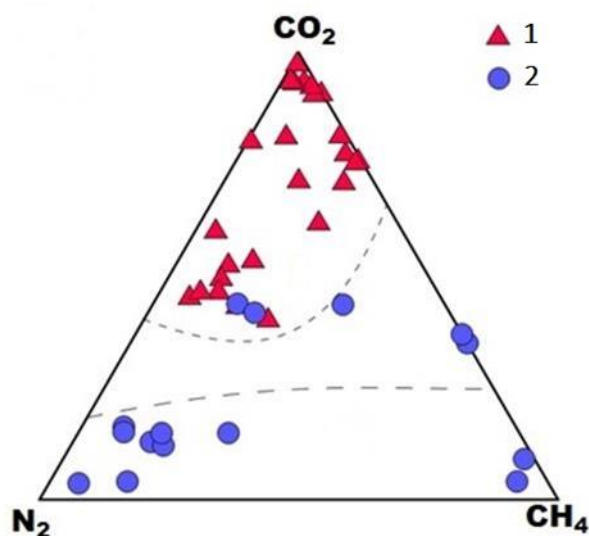


Рисунок 16. Состав газовой фазы индивидуальных флюидных включений в кварце золоторудного месторождения Доброе (по данным рамановской спектроскопии): 1 – двухфазные ФВ, 2 – однофазные ФВ.

3.4 Валовый состав летучих во флюиде

3.4.1 Месторождение Благодатное

Методом GC-MS в газовой фазе флюидных включений из кварца, арсенопирита, пирротина, золота и кальцита определены вода, углекислота, широкий спектр бескислородных и кислородсодержащих углеводородов, азот-,

серо- и галогенсодержащих соединений (Табл. 5). В таблице 5 приведены наиболее представительные результаты, а на рисунке 16 использованы данные 15 образцов. Общее количество обнаруженных соединений во флюидах Благодатного месторождения достигает 209 в сульфидах, 172 в золоте, 168 в кварцах и 162 в кальците.

По данным GC-MS, в составе летучих из флюидных включений в кварце, сульфидах и кальците вода и углекислота являются основными компонентами, при этом преобладает вода (Рис. 17). Доля воды составляет 58.7 – 96.4 отн. % (в среднем 81.2 отн.%), доля CO_2 0.83 – 15.0 отн. % (в среднем 6.19), доля остальных соединений составляет 2.6 – 38.8 (в среднем 12.6) (Табл. A2-A15). Отношение $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ варьирует в интервале от 0.01 до 0.15.

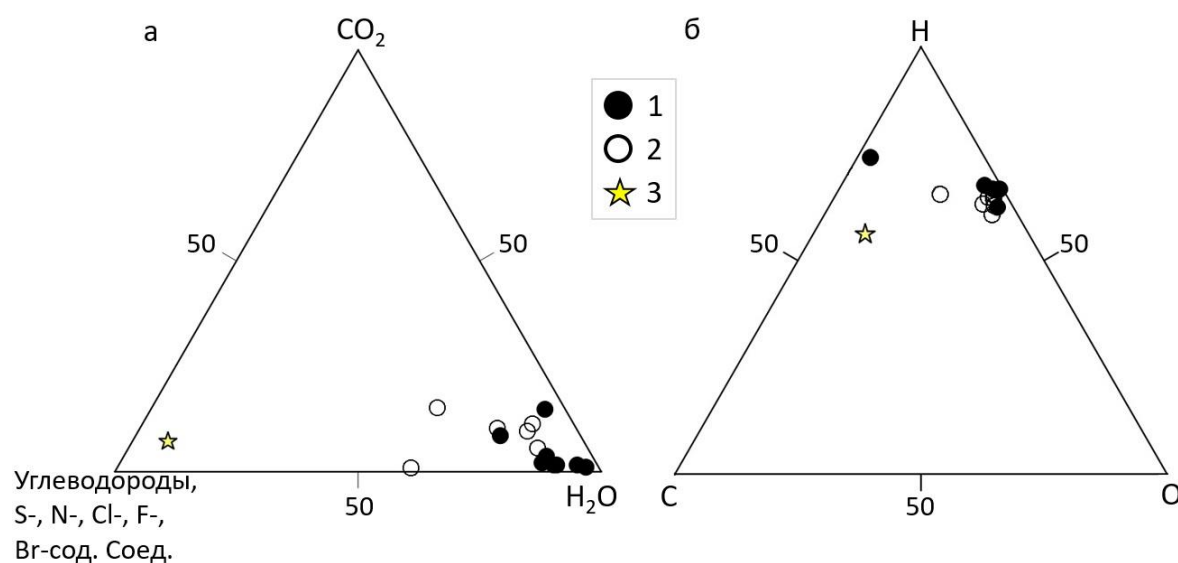


Рисунок 17. Состав летучих во флюидных включениях в минералах месторождения Благодатное (по результатам GC-MS): 1 – в кварце и сульфидах золотоносной зоны, 2 – кварце и сульфидах незолотоносной зоны, 3 - в золоте.

В гомологическом ряду бескислородных алифатических углеводородов преобладает метан (CH_4), на долю которого приходится от 67.6 до 93.8 % в золотоносных ассоциациях. В газовой фазе флюидных включений из кварца и сульфидов незолотоносных ассоциаций доля CH_4 понижается до 6.3 %.

Таблица 5. Состав (в отн.%) и количество (в скобках) летучих компонентов, выделившихся при однократном ударном вскрытии флюидных включений в минералах месторождения Благодатное (данные GC-MS).

Компонент	Минеральная ассоциация						
	золотоносная (Au=1-35.5 г/т)				незолотоносная (Au=0.2-0.8 г/т)		
	Золото	Кварц	Арсенопи- рит	Арсено- пирит	Кварц	Пирротин	Кальцит
	310-13	Бл-7/96.0	Бл-7/96.0	БКС-10	86/107.7	34/105.9	35/178.1
Алифатические углеводороды							
Парафины (алканы)	9.75 (16)	7.48 (21)	2.24 (18)	3.64 (14)	1.04 (12)	0.87 (16)	0.57 (16)
Олефины (алкены)	1.31 (15)	0.12 (19)	1.08 (20)	0.11 (19)	2.77 (31)	0.96 (27)	0.06 (19)
Циклические углеводороды							
Циклоалканы, циклоалкены, арены, ПАУ	2.36 (21)	0.09 (14)	0.44 (24)	0.14 (22)	2.27 (16)	0.68 (28)	0.04 (20)
Кислородсодержащие углеводороды							
Спирты, эфиры (простые и сложные)	18.05 (22)	0.61 (19)	0.24 (11)	2.78 (19)	28.14 (28)	0.71 (27)	1.13 (17)
Альдегиды	12.96 (21)	0.30 (24)	0.33 (22)	1.17 (22)	0.85 (17)	1.08 (26)	0.44 (21)
Кетоны	1.73 (19)	0.21 (15)	0.08 (11)	0.13 (18)	1.47 (12)	0.91 (21)	0.08 (19)
Карбоновые кислоты	4.99 (12)	0.76 (15)	0.96 (13)	0.3 (14)	0.95 (12)	5.71 (21)	0.41 (13)
Гетероциклические соединения							
Диоксаны, фураны	0.14 (10)	0.01 (3)	<0.01 (4)	< 0.01 (5)	0.02 (4)	0.025 (7)	<0.01 (6)
Азотсодержащие соединения							
Азот, аммиак, нитрилы	26.81 (19)	1.44 (7)	0.38 (3)	1.21 (19)	0.78 (4)	1.71 (22)	23.28 (18)
Серосодержащие соединения							
H ₂ S, SO ₂ , CS ₂ , COS, тиофены	6.90 (14)	0.08 (8)	2. 59 (10)	0.24 (10)	0.46 (5)	3.85 (11)	0.22 (9)
Неорганические соединения							
CO ₂	7.24	2.13	1.53	1.48	0.83	10.3	15.09
H ₂ O	7.26	86.78	90.14	89.52	60.42	73.45	58.67
Ar	0.10	0.01	<0.01	-	<0.01	<0.01	<0.01
Общее количество компонентов	172	149	139	165	144	209	162
Алканы/алкены	7.4	60.8	2.1	33.4	0.4	0.9	9.5
CO ₂ /(CO ₂ +H ₂ O)	0.5	0.02	0.02	0.02	0.01	0.12	0.2
Σ(C ₅ -C ₁₇)/ Σ(C ₁ -C ₄)	24.58	0.5	0.31	0.04	14.8	0.14	0.63
H/(H+O)	0.84	0.7	0.67	0.69	0.76	0.67	0.64

В группе азотсодержащих соединений молекулярный азот (N_2) является преобладающим компонентом газовой фазы флюидов как в золотоносных, так и в незолотоносных минеральных ассоциациях.

Среди карбоновых кислот постоянно присутствует уксусная кислота, доля которой во флюидах золотоносных ассоциаций в среднем составляет 22.3 % ($n=10$) и значительно ниже в незолотоносных – 8.5 % ($n=5$).

В числе серосодержащих соединений, определенных в газовой фазе флюидов из кварца и сульфидов золотоносных и незолотоносных минеральных ассоциаций, преобладает SO_2 , доля которого колеблется в интервале от 42.9 до 98.3 %.

Кроме того, в составе флюидов определены галогенсодержащие соединения, такие как C_7H_7F , C_4H_4Cl , C_8H_9F , $C_6H_{11}BrO$, $C_{10}H_{21}Cl$, C_4H_7ClO , содержание которых составляет 0.001 – 0.06 отн. % (Таблицы A2-A15).

Состав летучих во флюидных включениях в самородном золоте Благодатного месторождения также был определен методом GC-MS. В ряде работ показано, что самородное золото содержит вакуоли газовых включений, которые представляют собой реликты минералообразующей среды [Петровская, 1973; Неронский и др., 1982; Неронский, Левицкий, 1988].

Было установлено, что среди летучих соединений во флюидных включениях в самородном золоте преобладает группа углеводородов, S-, N- и галогенсодержащих соединений (85.5 отн.%). Доля воды составляет 7.3 %, а углекислоты – 7.2 % (Рис. 17-19, Табл. A16).

В гомологическом ряду предельных углеводородов обнаружены соединения от метана до гептадекана (CH_4 - $C_{17}H_{36}$). Тяжелые углеводороды преобладают над легкими, отношение $(C_5-C_{17})/(C_1-C_4)$ составляет 24.58. Превалирующим компонентом является н-гексадекан, доля которого среди предельных углеводородов составляет 55 %. Гомологический ряд непредельных углеводородов представлен соединениями от 1-бутена (C_4H_8) до 1-пентадецена ($C_{15}H_{30}$).

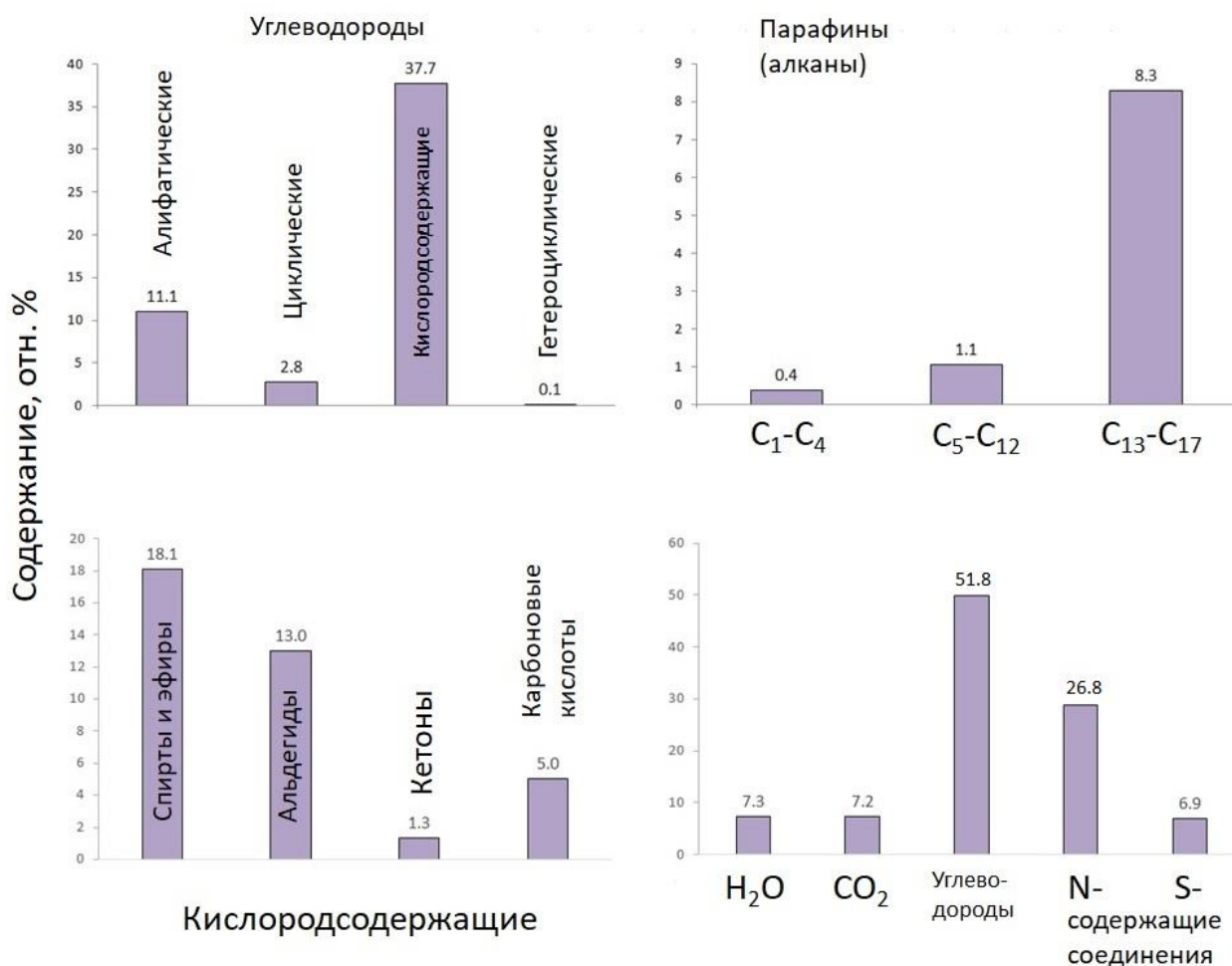


Рисунок 18. Распределение летучих компонентов (отн. %) во флюидных включениях, извлеченных из самородного золота месторождения Благодатное (данные GC-MS).

В группе циклических углеводородов преобладают бензолы – C₆H₆-C₁₅H₂₄ (2.66 отн.%), а также входят циклоалкены – C₁₀H₁₆ (0.04 отн.%) и полициклические ароматические соединения – C₁₀H₈-C₁₁H₁₀ (0.06 отн. %).

Кислородсодержащие углеводороды представлены спиртами (1.5 отн. %), сложными и простыми эфирами (16.55 отн. %), альдегидами (12.96 %), кетонами (1.73 отн. %) и карбоновыми кислотами (4.99 отн. %).

Гетероциклические соединения представлены диоксанами (C₄H₈O, 0.017 отн. %) и фуранами – C₅H₆O-C₁₂H₂₀O (0.12 отн.%).

Доля галогенсодержащих соединений (Фторметилбензол C₇H₇F, Фторэтилбензол C₈H₇F) составляет 0.026 отн.%.

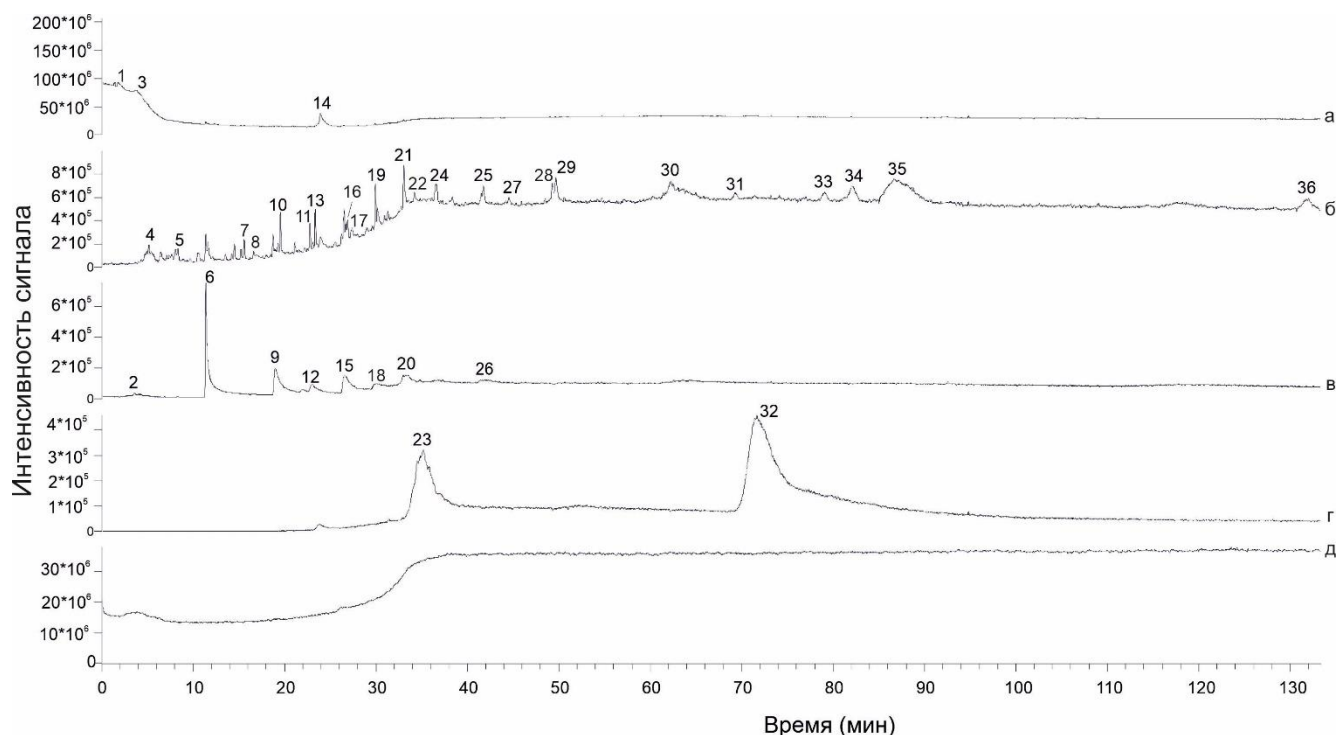


Рисунок 19. Результаты GC-MS анализа летучих компонентов, извлеченных из флюидных включений в глендоните. а — хроматограмма по полному ионному току (TIC) и реконструированные ионные хроматограммы по току ионов: б — m/z (43+57+71+85); в — m/z 60, г — m/z 149, д — бланк. 1 – Диоксид углерода (CO_2); 2 – Оксид-сульфид углерода (COS); 3 – Вода (H_2O); 4 – Ацетальдегид ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$); 5 – (Е)-1,3-Пентадиен (C_5H_8); 6 – Уксусная кислота ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$); 7 – н-Гептан (C_7H_{16}); 8 – Ацетамид ($\text{C}_2\text{H}_5\text{NO}$); 9 – н-Бутановая кислота ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$); 10 – н-Октан (C_8H_{18}); 11 – н-Гептаналь ($\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}$); 12 – н-Пентановая кислота ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$); 13 – н-Нонан (C_9H_{20}); 14 – 2,6-Диэтилпиридин ($\text{C}_9\text{H}_{13}\text{N}$); 15 – н-Гексановая кислота ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$); 16 – н-Декан ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$); 17 – γ -Гексалактон ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_2$); 18 – н-Гептановая кислота ($\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$); 19 – н-Нонаналь ($\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$); 20 – н-Октановая кислота ($\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$); 21 – н-Деканаль ($\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$); 22 – γ -Окталактон ($\text{C}_8\text{H}_{14}\text{O}_2$); 23 – 1-Метокси-4-метил-2-(1-метилэтил)бензол ($\text{C}_{11}\text{H}_{16}\text{O}$); 24 – 1-Тридецен ($\text{C}_{13}\text{H}_{26}$); 25 – н-Тетрадекан ($\text{C}_{14}\text{H}_{30}$); 26 – н-Декановая кислота ($\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$); 27 – γ -Декалактон ($\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}_2$); 28 – 1-Пентадецен ($\text{C}_{15}\text{H}_{30}$); 29 – н-Пентадекан ($\text{C}_{15}\text{H}_{32}$); 30 – н-Гексадекан ($\text{C}_{16}\text{H}_{34}$); 31 – γ -Додекалактон ($\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_2$); 32 – Диэтилфталат ($\text{C}_{12}\text{H}_{14}\text{O}_4$); 33 – 2-Пентадеканон ($\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}$); 34 – н-Пентадеканаль ($\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}$); 35 – н-Гептадекан ($\text{C}_{17}\text{H}_{36}$); 36 – γ -Тетрадекалактон ($\text{C}_{14}\text{H}_{26}\text{O}_2$).

3.4.2 Месторождение Доброе

Методом GC-MS во флюидных включениях в кварце, арсенопирите и пирите (12 образцов) определен валовый состав летучих (Табл. 6, Табл. А17-А28). В таблице 6 приведены наиболее представительные результаты GC-MS анализа летучих из образцов золотоносной и незолотоносной зон, а для рисунка 7

использованы анализы всех двенадцати образцов. В составе летучих во флюиде обнаружены вода, углекислота, широкий спектр углеводородов и их производных, а также азот-, серо-, и хлорсодержащих соединений (Рис. 20, 21). Общее количество обнаруженных компонентов в сульфиде составляет от 133 до 148, а в кварце достигает 202.

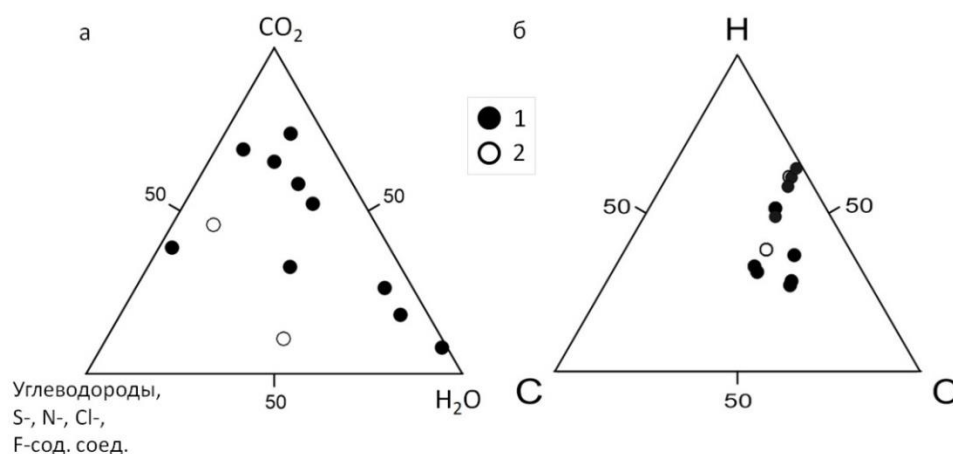


Рисунок 20. Состав летучих во флюидных включениях в кварце и сульфидах месторождения Доброе (по результатам GC-MS): 1 – золотоносная зона, 2 – незолотоносная зона.

В составе летучих из флюидных включений в жильном и гранобластическом кварце преобладает CO_2 , доля которой достигает 60-70 отн. % при колебании в интервале от 10.7 до 73.8 отн. %. Доля воды в этих включениях в среднем составляет 21.9 отн. % ($n=8$). Содержание углеводородов, представленных алифатическими, циклическими и кислородсодержащими соединениями, в среднем составляет в кварцах – 16.3 отн. % ($n=8$), а в сульфидах – 7.4 отн. % ($n=5$).

Особо следует отметить высокую долю (до 47 отн. %) азотсодержащих соединений в составе флюидных включений из кварца (Табл. 3, обр. Д-2-12; Д-1-2; Д-1-3). В этих образцах среди азотсодержащих соединений выявлено 23 химических соединения, что почти в два раза больше, чем в сульфидах (Табл. 6). В азотсодержащих соединениях преобладает молекулярный азот (N_2), доля которого достигает 80-90%.

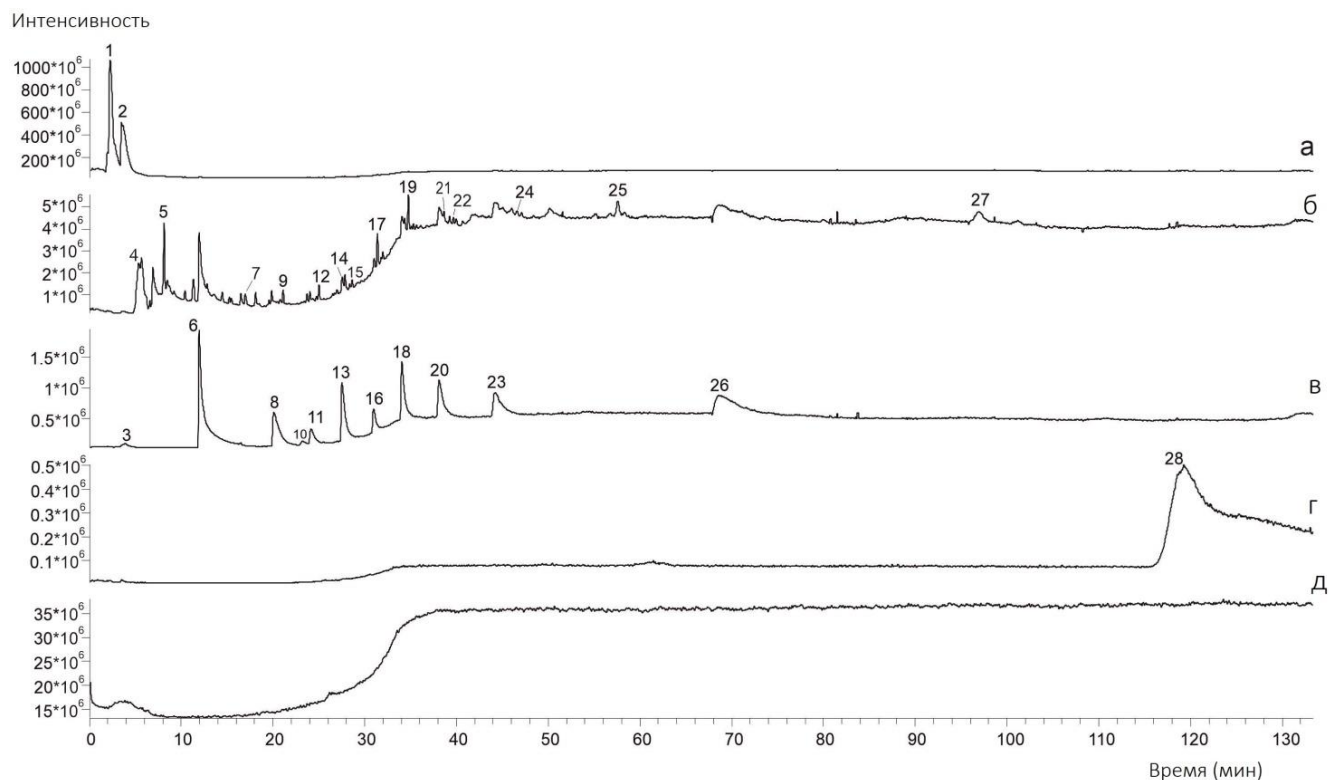


Рисунок 21. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных ударно-механическим дроблением из кварца (обр. Д10) месторождения Доброе. Хроматограмма по полному ионному току (TIC) (а) и реконструированные ионные хроматограммы (RIC) для m/z (43 + 57 + 71 + 85) (б), m/z 60 (в), m/z 149 (г), бланк (TIC) (д). 1 — Углекислота (CO_2); 2 — вода (H_2O); 3 — Карбонилсульфид (COS); 4 — Ацетальдегид ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$); 5 — 2-Пропанон ($\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$); 6 — Уксусная кислота ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$); 7 — н-Гептан (C_7H_{16}); 8 — н-Бутановая кислота ($\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$); 9 — н-Октан (C_8H_{18}); 10 — 3-Метилбутановая кислота ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$); 11 — н-Пентановая кислота ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$); 12 — н-Нонан (C_9H_{20}); 13 — н-Гексановая кислота ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_2$); 14 — н-Октанал ($\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}$); 15 — н-Декан ($\text{C}_{10}\text{H}_{22}$); 16 — н-Гептановая кислота ($\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}_2$); 17 — н-Нонанал ($\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}$); 18 — н-Октановая кислота ($\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$); 19 — н-Деканал ($\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}$); 20 — н-Нонановая кислота ($\text{C}_9\text{H}_{18}\text{O}_2$); 21 — 2-Ундеканон ($\text{C}_{11}\text{H}_{22}\text{O}$); 22 — 1-Тридецен ($\text{C}_{13}\text{H}_{26}$); 23 — н-Декановая кислота ($\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$); 24 — 1-Тетрадецен ($\text{C}_{14}\text{H}_{28}$); 25 — 1-Пентадецен ($\text{C}_{15}\text{H}_{30}$); 26 — н-Додекановая кислота ($\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$); 27 — 2-Пентадеканон ($\text{C}_{15}\text{H}_{30}\text{O}$); 28 — Дипропиловый эфир фталевой кислоты ($\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$).

Таблица 6. Состав (в отн.%) и количество (в скобках) летучих компонентов, выделившихся при однократном ударном вскрытии флюидных включений в сульфидах и кварце золоторудного месторождения Доброе (по данным газовой хромато-масс-спектрометрии, GC-MS).

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

3.5 Сопоставление физико-химических условий образования кварцево-жильных месторождений золота на Енисейском кряже (обсуждение полученных результатов)

Температурные диапазоны образования месторождений Благодатное и Доброе схожи. Интервалы температур гомогенизации составляют 180 – 350 и 180 – 360 °С, соответственно, что отражает среднетемпературный характер минералообразующей среды. По данным [Полева, Сазонов, 2012], температура гомогенизации на Благодатном месторождении достигала 400 °С. Другие золоторудные месторождения Енисейского кряжа также демонстрируют широкий спектр значений температур формирования кварцево-жильных зон. Наиболее высокие температуры гомогенизации и широкий диапазон значений от 100 до 630 °С с гомогенизацией как в жидкую, так и газовую фазу, а также с критическими явлениями отмечается на месторождении Советское [Томиленко, Гибшер, 2001; Tomilenko et al., 2010]. Олимпиадинское месторождение, по данным ряда исследователей [Мельников и др., 2008; Кряжев, 2017; Гибшер и др., 2019] характеризуется температурами от 150 до 495 °С. Месторождение Герфед сформировалось при температурах 150 – 400 °С [Гибшер и др., 2011]. На Богунайском месторождении температурный интервал формирования золотоносных кварцевых жил составляет 220 – 420 °С [Рябуха и др., 2015]. Золото-кварцевые жилы месторождения Панимба образованы в интервале температур от 180 до 410 °С [Гибшер и др., 2017]. Месторождение Ведуга сформировано при температурах 164–368 °С [Генкин и др., 2002]; а Удерей – 120–180 °С [Оболенский и др., 2007]. В целом температуры формирования золоторудных месторождений Енисейского кряжа варьируют в широких пределах. Эти вариации могут быть признаком многократного поступления минералообразующих растворов в периоды тектонической активизации.

Полученные результаты согласуются с данными [Groves et al., 2020; Gaboury, 2021] о том, что большинство орогенных золоторудных месторождений мира сформированы флюидами при температурах в среднем 200 – 500 °С.

Солевой фон водной фазы флюидов, сформировавших месторождения Благодатное и Доброе, определяют хлориды натрия и магния. Соленость флюидов составляет 1.5 – 16.5 мас.%, NaCl-экв (Рис. 22). Для минералообразующих флюидов крупных (>100 тонн) месторождений золота Енисейского кряжа (Советское, Олимпиада, Ведуга) соленость составляет 5.5 – 25 мас.%, при широкой общей вариативности солености (от 0.1 до 63 %) на месторождениях с различными запасами золота [Прокофьев и др., 2017; Tomilenko et al., 2010; Гибшер и др., 2019]. В более поздних наложенных флюидах на месторождение Благодатное присутствует хлорид кальция с соленостью более 30%, в то время как на месторождении Доброе отсутствуют признаки наложения таких флюидов.

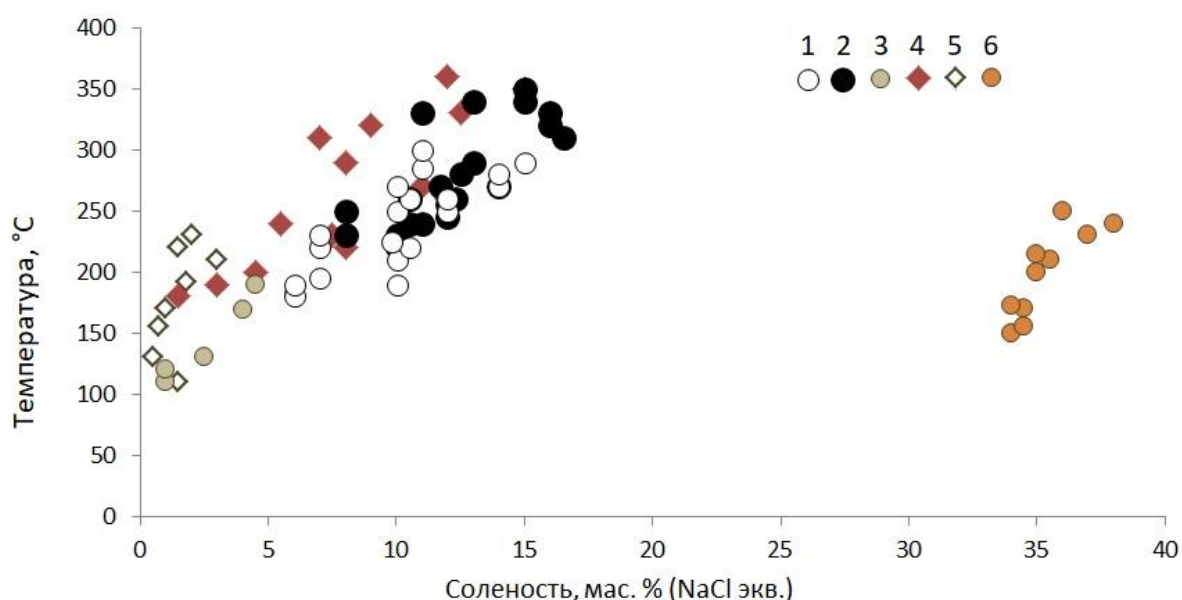


Рисунок 22. Температура и соленость флюидов различных стадий формирования месторождений. Благодатное: 1 – предрудная стадия, 2 – рудная стадия, 3 – пострудная стадия, 6 – наложенные высокосолёные флюиды. Доброе: 4 – рудная стадия, 5 – пострудная.

Воздействие высокосолёных (30-40 мас. %) флюидов отмечено на месторождениях Олимпиада [Кряжев, 2017; Гибшер и др., 2019], Панимба [Гибшер и др., 2017], Богунай [Рябуха и др., 2015], Эльдорадо [Гибшер и др., 2018]. Наличие высокосолёных CaCl_2 -содержащих флюидов на мировых месторождениях золота является специфической особенностью протерозойских

гидротермальных систем [Hardie, 1983; Robert and Kelly, 1987; Xu, 2000; Shelton et al., 2004; Bhattacharya and Panigrahi, 2011]. Источником таких флюидов могли быть постмагматические гидротермальные растворы гранитоидов, которые располагаются в непосредственной близости к месторождениям.

Флюидное давление во время процесса рудообразования на месторождениях Благодатное и Доброе менялось в пределах 0.2 – 2.6 кбар. Резкие изменения давления (0.1 – 2.5 кбар) также отмечаются и на ряде других месторождений Енисейского кряжа, что, по-видимому, было связано с тектоно-магматической активизацией в этом районе. Такие колебания приводят к кипению флюида и его разделению на существенно водные и газовые составляющие. При этих процессах происходит разрушение металлоносных соединений и отложение рудных компонентов, в том числе и золота, на что неоднократно указывалось в литературе [Ермаков, Долгов, 1979; Реддер, 1987; Robert, Kelly, 1987; Bowers, 1991; Матель, 2012; Ляхов, Павлунь, 2013].

Обобщение микротермометрических и данных анализов раман-спектроскопии и GC-MS, позволяет выделить два типа флюида, сформировавших золотое оруденение месторождений Благодатное и Доброе. Водно-углекислотный тип флюида захвачен в газовой-жидких флюидных включениях, по данным раман-спектроскопии, преобладает углекислота, соотношение CO_2/CH_4 варьирует от 4.7 до 145.3 (Благодатное) и от 1.7 до 329.3 (Доброе). Второй тип флюида – углекислотно-углеводородный – захвачен в однофазных газовых или жидких флюидных включениях. Для флюида второго типа характерно преобладание метана и отношения CO_2/CH_4 составляют 0.01-0.2 (Благодатное) и 0.04-30.5 (Доброе). Вариации соотношения CO_2/CH_4 указывают на смену окислительно-восстановительных условий. Стоит отметить, что продуктивные стадии минералообразования и отложения золота на исследуемых объектах связаны с более поздними восстановленными углекислотно-углеводородными порциями флюида. Характер окислительно-восстановительной обстановки имеет важное значение для золотоносной минерализации. Для многих месторождений Енисейского кряжа отмечается похожий характер вариаций значений CO_2/CH_4 :

Герфед (2.2-20.8) [Гибшер и др., 2011], Богунай (12-110) [Рябуха и др., 2015], Советское (0.7-315) [Tomilenko et al., 2010], Панимба (0.1-161) [Гибшер и др., 2017], Олимпиада (0.1-46.5) [Гибшер и др., 2019]. Характерной чертой месторождений Сигма в Канаде [Robert, Kelly, 1987] и Чармитан в Узбекистане [Бортников и др., 1996] также является изменение отношения CO_2/CH_4 в широких пределах.

На смену окислительно-восстановительных условий также указывает отношение $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$, вычисленное по результатам GC-MS. Так, для флюидов месторождения Благодатное этот параметр меняется от 0.01 для кварца до 0.5 для золота. На месторождении Доброе $\text{CO}_2/(\text{CO}_2+\text{H}_2\text{O})$ составляет 0.2-0.9. По данным [Norman et al., 2002; Blamey, 2012] отношение алканы/алкены используются для реконструкции окислительно-восстановительного потенциала флюидов. При доминировании алканов – флюид восстановленный, а при преобладании алкенов – флюид окисленный. По данным GC-MS, во флюидах месторождения Доброе отношение алканы/алкены варьирует от 1.2 до 36.7, а на Благодатном – от 0.4-9.5 в незолотоносной зоне до 2.1-60.8 в золотоносной зоне месторождения. Эти показатели указывают на то, что флюиды, которые принимали участие в формировании исследуемых месторождений, отвечают восстановленному состоянию.

Прямым доказательством того, что золото на месторождении Благодатное отлагалось в восстановительной обстановке, является состав летучих, извлеченных из самородного золота (Рис. 18, Табл. А16). В газовой составляющей флюидов преобладают углеводороды, S-, N- и галогенсодержащие соединения, их доля составляет 85.5 отн. %. Вода и углекислота присутствуют во флюиде в подчиненном количестве, 7.3 и 7.4 %, соответственно. Эти данные указывают на то, что флюиды, действующие на рудном этапе, имели сложный водно-углекислотно-углеводородный состав. Отношение $\text{H}/(\text{O}+\text{H})$, которое является индикатором окислительно-восстановительных параметров флюида, составляет 0.84. Таким образом, минералообразующие растворы отвечают восстановленному

состоянию. На восстановленный характер флюидов также указывает отношение алканы/алкены, которое составляет 7.4.

Низкое содержание воды и высокая доля углеводородов и их производных также отмечается в золотоносных флюидах на крупных месторождениях Советское и Олимпиада (Рис. 23). Органические соединения обнаружены во флюидах крупных месторождений Перрон, рудник Детур (Канада) [Gaboury, 2021], Витватерсранд (ЮАР) [Fuchs et al., 2015] и многих других.

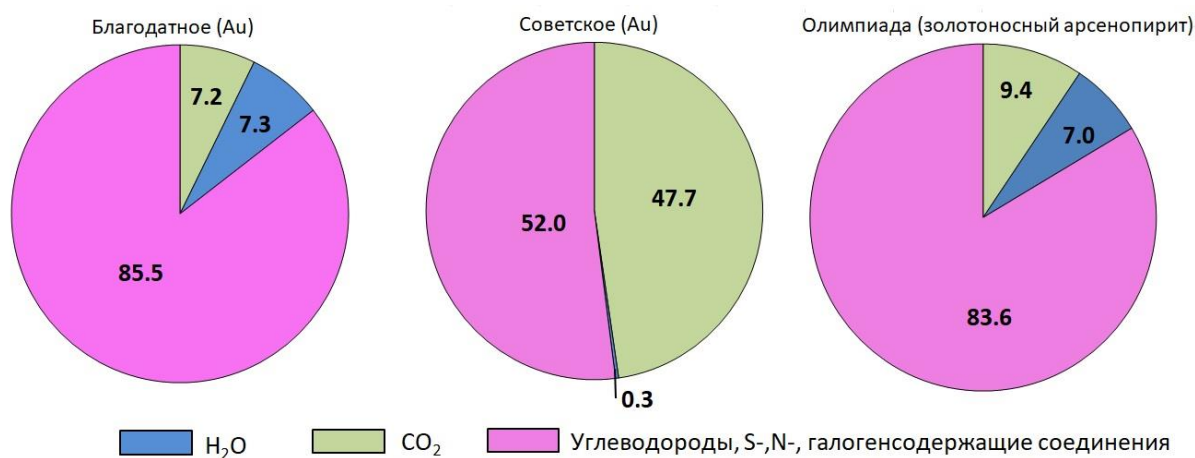


Рисунок 23. Содержание (отн. %) воды, углекислоты и углеводородов, S-, N-, галогенсодержащих соединений в газовой составляющей флюидов на месторождениях Енисейского края [Гибшер и др, 2019; Бульбак и др., 2020; Shararenko et al., 2021].

Летучие компоненты играют важную роль в формировании золоторудных месторождений, повышая растворимость золота в рудоносных флюидах [Hu et al., 2022]. Органическое вещество, обнаруженное в минералообразующих флюидах, могло участвовать в транспорте металлов. В экспериментальных работах [Migdisov et al, 2017; Crede et al., 2019] показано, что в присутствии в растворе углеводородов растворимость золота и многих других элементов увеличивается. Таким образом, различные органические соединения внесли огромный вклад в формирование богатых золотом залежей на Енисейском кряже. Согласно опубликованным работам [Паддефет, 1982; Эльшенбройх, 2011] золото входит в состав целого ряда легкоподвижных органических соединений, где золото со

степенью окисления Au^{1+} , Au^{3+} образует сложные комплексы, содержащие в своем составе такие элементы, как C, H, O, S, N, Cl и др.

Золото могло переноситься в виде металлоорганических соединений, н-р, в форме диалкильных производных золота (III), легкорастворимых во многих органических растворителях [Армер, Шмидбаур, 1971; Баликов, Дементьев, 2015; Коршунова, Чарыкова, 2018]. При распаде элементоорганических соединений происходит кристаллизация золота и сульфидов, а их транспортеры (углеводороды) консервируются во флюидных включениях. Вследствие реакций распада углеводородных соединений образуются и тонкодисперсные выделения углерода. Такие черные частички, часто сопровождающие флюидные включения, отмечаются на месторождении Благодатное, а также на других золоторудных объектах Енисейского кряжа: на Богунайском [Рябуха и др., 2015], Эльдорадо [Гибшер и др., 2018] и Олимпиадинском [Гибшер и др., 2019].

Транспортировка золота могла также происходить в виде коллоидных наночастиц. Этот механизм характерен для образования исключительно богатых золотых минерализаций [Petrella et al., 2020]. Коллоиды могут содержать очень высокие концентрации золота во взвешенном состоянии. Ключевым параметром коллоидного транспорта является наличие серы и органических компонентов [Liu et al., 2019]. Доля серосодержащих соединений (H_2S , SO_2 , CS_2 , COS, тиофены и др.) составляет 0.03 – 6.9 отн. %, причем наибольшие содержания обнаружены в самородном золоте.

Углекислота в разных количествах постоянно присутствует во флюидах месторождения Благодатное и Доброе как по данным рамановской спектроскопии (Табл. 4,5), так и газовой хромато-масс-спектрометрии (Табл. 6,7). Маловероятно, что CO_2 является непосредственным транспортером золота, т.к. химическая связь между ионами золота и частицами CO_2 не является прочной. Вероятнее всего, роль углекислоты состоит в поддержании буферной емкости раствора для поддержания высокой растворимости в нём золота [Phillips, Evans, 2004]. Карбоновые кислоты (уксусная кислота $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ – тетрадекановая кислота $\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$), постоянно присутствующие в составе флюидов (Табл. 6, 7), также

способствуют комплексообразованию. С одной стороны, карбоновые кислоты хорошо растворяются в воде, образуя металлоорганические анионные комплексы, т. е. они потенциально способны транспортировать рудные элементы, в том числе и золото. С другой, карбоновые кислоты увеличивают пористость вмещающих пород, что способствует миграции металлоорганических комплексов [Greenwood et al., 2013].

Наличие молекулярного азота и других азотсодержащих соединений (до 46.9 %) во флюидных включениях в кварце и сульфидах, вероятно, связано с химическими реакциями между флюидом и аммонийсодержащими силикатами вмещающих пород, в которых азот в форме NH_4^+ изоморфно замещает калий [Bottrel, Miller, 1990].

Месторождения Благодатное и Доброе являются яркими примерами эффективного взаимодействия ряда факторов, которое привело к формированию залежей, богатых золотом. Геологическая обстановка способствовала появлению Татарского и Ишимбинского глубинных разломов и оперяющих трещин, которые стали рудопроводящими каналами для флюидов сложного водно-углекислотно-углеводородного состава. Близлежащие гранитоиды тарарско-аяхтинского комплекса служили источником тепла для поддержания функционирования гидротермальных растворов и их миграции. Перепады давлений, температур, изменение окислительно-восстановительных условий среды в нестабильной тектонической обстановке привело к формированию золотоносных кварцево-жильных зон изучаемых объектов.

Глава 4. ИСТОЧНИКИ РУДОНОСНЫХ ФЛЮИДОВ

Вопрос источника минералообразующего флюида и рудного вещества широко обсуждается в рамках разработки единой генетической модели формирования орогенных золоторудных месторождений [Ridley, Diamond, 2000; Goldfarb, Groves, 2015; Кряжев, 2017; Gaboury, 2019; Groves et al., 2022]. Принято считать, что есть два вероятных источника золота: (1) метаморфические или осадочные породы, из которых образуются флюиды и выделяются металлы при повышении температуры и давления; и (2) кислые промежуточные магмы, которые выделяют флюиды по мере кристаллизации [Tomkins, 2013].

Для установления источника рудоносных флюидов, которые принимали участие в формировании исследуемых объектов, в данной работе был применен комплекс изотопно-геохимических методов, таких как: определение изотопного состава гелия во флюидных включениях ($^3\text{He}/^4\text{He}$), изотопного состава серы сульфидов ($\delta^{34}\text{S}$) и изотопного состава углерода углекислоты из флюидных включений ($\delta^{13}\text{C}$).

4.1 Месторождение Благодатное

Изотопный состав гелия. Известно, что отношение мантийного (^3He) к радиогенному гелию (^4He) – $^3\text{He}/^4\text{He} = R$ – является уникальным изотопным индикатором участия мантийного или корового источника флюидов. Каноническим радиогенным считается типичное для древней земной коры значение $R_{\text{кор}} \approx 2 \cdot 10^{-8}$, в то время как для флюидов мантийного происхождения характерны значения R порядка $\sim 10^{-5}$ [Graham, 1999; Поляк, 2000]. Также в работах [Ветрин и др., 2003; Икорский и др., 2006; 2014] показано, что мантийный

флюид обогащен изотопом ^3He , а коровый – ^4He , поэтому отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ может быть использовано для диагностики источника этого элемента.

На Благодатном месторождении во флюидных включениях в кварце из рудного тела №2 (обр. 100/216.5, с содержанием золота 10.2 г/т) определены изотопы гелия ^3He и ^4He . Содержание ^3He и ^4He составляет $0.12 \cdot 10^{-12}$ и $0.85 \cdot 10^{-6}$ см³/г, соответственно. Отношение $^3\text{He}/^4\text{He}$ составляет $0.14 \pm 0.3 \cdot 10^{-6}$. Доля мантийного гелия (^3He), рассчитанная по методу [Халенёв, 2010; Прасолов и др., 2018] во флюидах Благодатного месторождения составляет около 1 %, указывая на преимущественно коровый источник рудоносных флюидов.

Изотопный состав серы сульфидов. Изотопы серы ($\delta^{34}\text{S}$) определены в 27 монофракциях сульфидов, из них в пирротине – 5, пирите – 4 и арсенопирите – 18. Изотопный состав серы в пирротине меняется в интервале от 2.6 до 8.9 ‰, в пирите – от 9.1 до 11.0 ‰, в арсенопирите – от 6.3 до 20.1 ‰ (Рис. 24, Табл. 7).

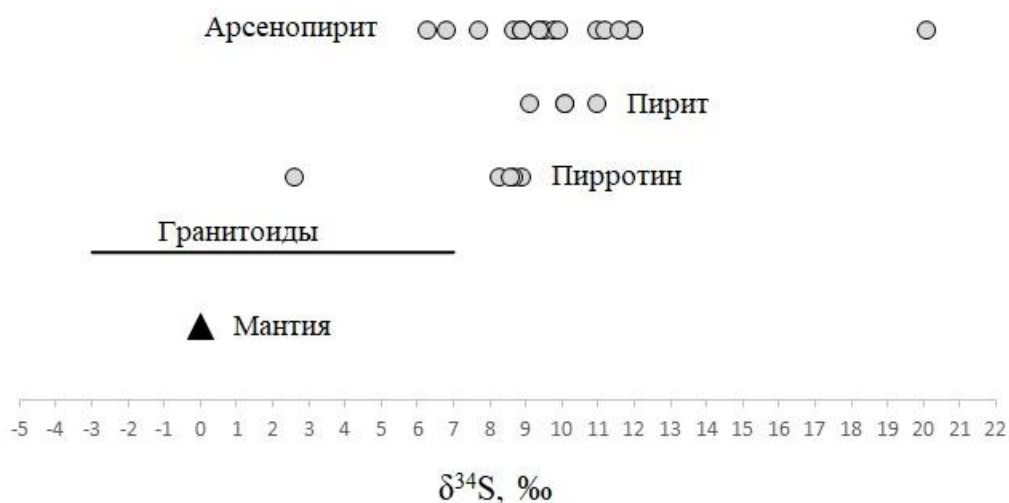


Рисунок 24. Изотопный состав серы сульфидов золоторудного месторождения Благодатное. Изотопный состав серы гранитоидов приведен по данным [Ohmoto, Rye, 1979]

Сульфидная сера арсенопирита, основного концентратора золота на Благодатном месторождении [Сазонов и др., 2016], обогащена тяжелым изотопом в узком диапазоне вариаций от 6.3 до 12.0 ‰. Более 90 % значений лежит в еще более узком диапазоне от 7.7 до 12.0 ‰.

Таблица 7. Изотопный состав серы сульфидов золоторудного месторождения Благодатное.

N скважины/глубина, м	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$, ‰ CDT
34/105.9	пирротин	8.3
53/112.8	»	2.6
100/216.5	»	8.9
0166/500	»	8.7
0166/540	»	8.6
111/76.5	пирит	10.1
111/129.5	»	9.1
Б-10, карьер	»	11.0
Б-14-б, карьер	»	10.1
7/42.6	арсенопирит	6.8
7/48.5	»	9.4
7/61.3	»	12.0
7/96.0	»	8.9
87.69.3	»	6.3
100/221	»	9.5
100/223	»	8.7
111/76.5	»	8.9
111/97.1	»	11.0
112/191.2	»	12.0
0166/340	»	20.1
0166/570	»	11.2
Б-2, карьер	»	7.7
Б-3, карьер	»	9.8
Б-6, карьер	»	8.9
Б-11-а, карьер	»	9.9
Б-16, карьер	»	11.6
Б17, карьер	»	9.4

Высокая гомогенность серы выдержана и на глубину залегания кварцево-жильных зон от 42.0 м (скв. 7) до 570 м (скв. 0166). В этом же интервале находится и большая часть значений $\delta^{34}\text{S}$ пирита и пирротина (Рис. 24). Полученные изотопные данные серы сульфидов значительно тяжелее интервала значений ($\delta^{34}\text{S} = 0 \pm 3$, ‰), приписываемого магматической сере [Ohmoto, Rye, 1986, Taylor, 1986; Goldfarb et al., 1991].

Полученные значения $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов Благодатного месторождения отвечают гидротермально-осадочным сульфидам золоторудных месторождений в углеродисто-терригенных комплексах, приведенных в работах С.Г. Кряжева [Кряжев, Гриненко, 2007; Кряжев, 2017]. Сера в рудах месторождения могла быть получена путем «усреднения» серы вмещающих пород, что указывает на коровую природу [Ohmoto, Rye, 1979].

Изотопный состав углерода углекислоты флюидных включений. Изотопы углерода ($\delta^{13}\text{C}$) определены во флюидных включениях золотоносного и незолотоносного кварца (Табл. 8). Значение $\delta^{13}\text{C}$ во флюидах золотоносного кварца меняется от -2.8 до -12.0 ‰. Во флюидах незолотоносного кварца с содержанием золота менее 0.6 г/т определен более легкий изотоп углерода в интервале от -3.3 до -20.9 ‰ (Рис. 25).

Таблица 8. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) углекислоты флюидных включений в кварце золоторудного месторождения Благодатное.

№ обр.*	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, ‰ (VPDB)	Au, г/т
Кварц золотоносных ассоциаций		
7/48	- 10.8	8.6
7/61.3	- 2.8	1.6
7/96	- 3.0	31.5
100/216.5	- 9.8	10.2
100/221	- 12.0	1.3
100/223	- 10.8	1.6
111/97.1	- 4.4	0.8
112/191.2	- 3.0	4.9
Кварц незолотоносных ассоциаций		
7/55	- 10.0	0.6
86/107.7	- 17.4	0.2
86/131.8	- 3.3	0.2
86/241.4	- 4.6	0.3
69/157	- 20.9	0.4
34/105.9	- 6.4	0.5

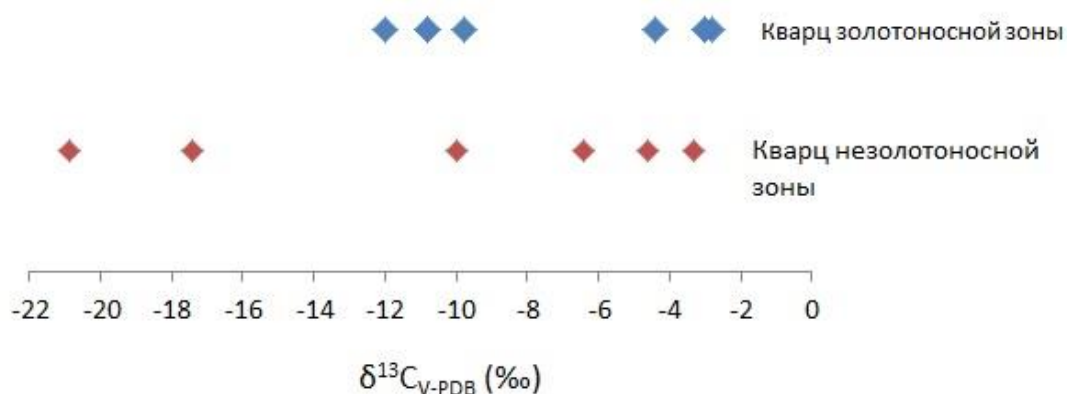


Рисунок 25. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) углекислоты из флюидных включений в кварце золотоносной и незолотоносной зон месторождения Благодатное.

4.2 Месторождение Доброе

Изотопный состав серы сульфидов. Изотопы серы ($\delta^{34}\text{S}$) определены в 10 монофракциях сульфидов, из них в арсенопирите -3, пирите – 4 и пирротине -3 (Табл. 9, Рис. 26). Сульфидная сера арсенопирита обогащена тяжелым изотопом $\delta^{34}\text{S}$ в узком интервале от +1,9 до +4,2 ‰. В интервале от +6,0 до +9,0 ‰ определен изотоп серы ($\delta^{34}\text{S}$) в пирротине. Существенно расширяется диапазон вариаций $\delta^{34}\text{S}$ в пирите – от +3,2 до +17 ‰.

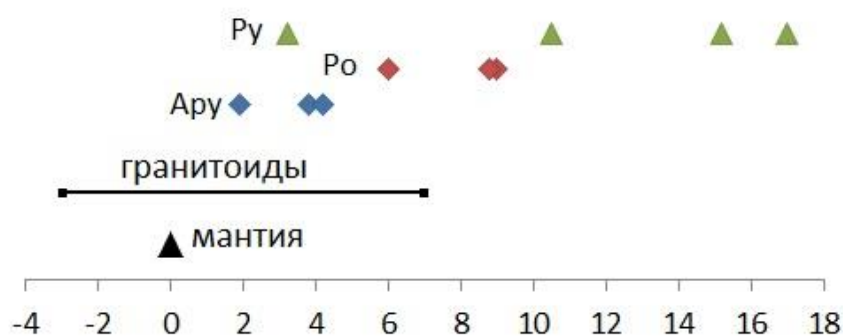


Рисунок 26. Диапазон вариаций изотопного состава серы сульфидов месторождения Доброе: Ару – арсенопирит, По – пирротин, Py – пирит. Изотопный состав серы сульфидов из гранитоидов приведен по данным [Ohmoto, Rye, 1979].

Таблица 9. Изотопный состав серы сульфидов золоторудного месторождения Доброе.

№ образца	Минерал	$\delta^{34}\text{S}$
Золотоносная зона		
Д-10	арсенопирит	1.9
Д-4	арсенопирит	3.8
Д-2-12	арсенопирит	4.2
Д-2	пирротин	6.0
Д-2-13	пирротин	9.0
Д-1	пирит	3.2
Незолотоносная зона		
Д-1-2	пирит	10.5
Д-1-17	пирит	15.2
Д-1-12	пирит	17.0
Д-1-3	пирротин	8.8

Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) углекислоты флюидных включений.

Изотопы углерода ($\delta^{13}\text{C}$) углекислоты определены во флюидных включениях в кварце из золотоносной (n=8) и незолотоносной (n=3) зон (Табл. 10, Рис. 27). Значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ во флюидах золотоносной зоны меняются от -4,9 до -8,3 ‰, показывая достаточно узкий интервал колебаний. Во флюидах незолотоносной зоны определен более легкий изотоп углерода ($\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2} = -11,3\text{‰}$) и расширяется интервал значений от -3,6 до -11,3 ‰ (Рис.27).

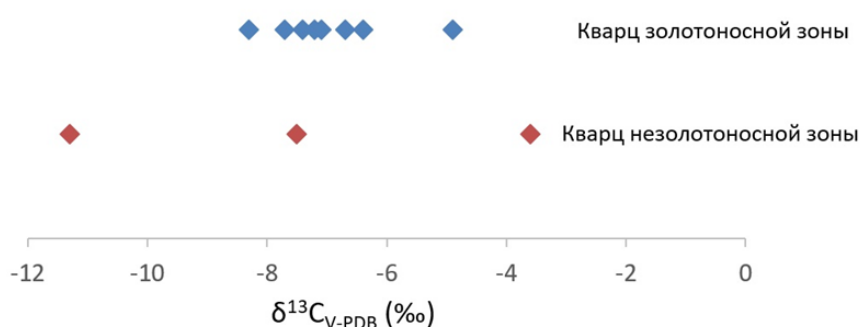


Рисунок 27. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) углекислоты из флюидных включений в кварце золотоносной и незолотоносной зон месторождения Доброе.

Таблица 10. Изотопный состав углерода ($\delta^{13}\text{C}$) уголекислоты флюидных включений в кварце золоторудного месторождения Доброе.

N обр.*	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$, ‰ (VPDB)
Золотоносная зона	
Д-1	-6.7
Д-2	-7.2
Д-4	-6.4
Д-10	-4.9
Д-2-3	-8.3
Д-2-12	-7.4
Д-2-13	-7.7
Д-2-17	-7.1
Незолотоносная зона	
Д-1-2	-7.5
Д-1-3	-11.3
Д-1-17	-3.6

4.3 Обсуждение полученных результатов

Малая доля мантийного гелия (1%) во флюидных включениях в кварце из золотоносной зоны Благодатного месторождения является признаком того, что флюиды, сформировавшие месторождение, имели преимущественно коровое происхождение. Во флюидных включениях из кварца кварц-золото-сурьмяной ассоциации близлежащего Олимпиадинского месторождения содержание изотопов гелия составляет $^3\text{He} = 2.8 \times 10^{-12}$ и $^4\text{He} = 56 \times 10^{-6}$ см³/г ($^3\text{He}/^4\text{He} = 0.05 \times 10^{-6}$) [Гибшер и др., 2019]. Рассчитанная доля мантийного гелия во флюидах составляет 0.25 %, также указывая на преимущественно коровый источник минералообразующих флюидов. Доля мантийного гелия повышается во флюидных включениях на месторождении Эльдorado и составляет 11 % [Гибшер и др., 2018]. Наиболее вероятно, что флюиды, сформировавшие месторождение Эльдorado, имели более глубинную природу.

Вариации состава изотопов серы сульфидов золоторудных месторождений Енисейского кряжа показаны на Рис. 28. Для большинства изученных месторождений характерно отсутствие изотопной однородности серы. Согласно полученным данным, величина $\delta^{34}\text{S}$ изменяется в широком диапазоне от 0,8 до

21,3‰. Это свидетельствует о разнообразии источников серы в рудах месторождений золота Енисейского края и сложной схеме их взаимодействия.

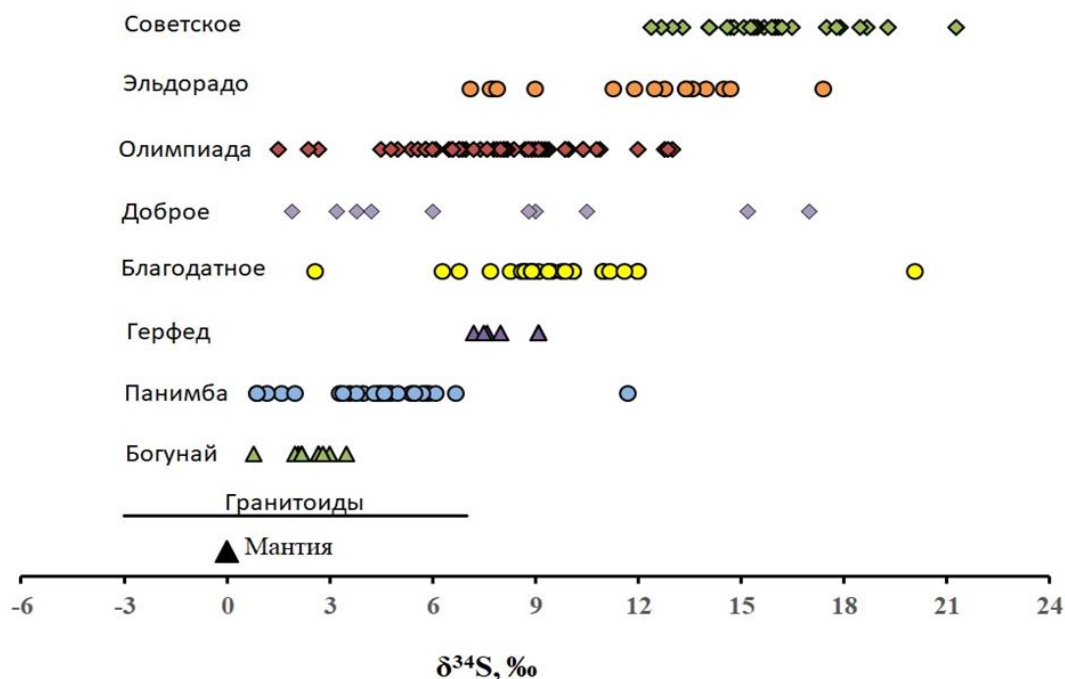


Рисунок 28. Распределение изотопов серы ($\delta^{34}\text{S}$) сульфидов золоторудных месторождений Енисейского края: Советское [Tomilenko et al., 2010], Эльдorado [Гибшер и др., 2018], Олимпиада [Гибшер и др., 2019], **Благодатное** [Shaparenko et al., 2021], **Доброе** (данные автора), Герфед [Гибшер и др., 2011], Панимба [Гибшер и др., 2017] и Богунай [Рябуха и др., 2015].

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

Значение $\delta^{13}\text{C}$ во флюидных включениях месторождений Благодатное и Доброе варьирует в широких пределах (от -20.9 до -2.8 ‰) (Рис. 30), что указывает на полистадийный механизм формирования месторождений. Наиболее

вероятный сценарий – это выделение CO_2 во время коллизионных событий и отложение в зоне разлома [Rollingson, 1993; Luders et al.; 2015; Groppo et al., 2022].

Стоит отметить, что характер распределения $\delta^{13}\text{C}$ во флюидах месторождения Доброе и Благодатное одинаковый: наблюдается тенденция обогащения флюида незолотоносных зон легким изотопом углерода, по сравнению с $\delta^{13}\text{C}$ флюидных включений в кварце золотоносных зон. Более выраженной эта тенденция наблюдается на месторождении Советское (Рис. 29).

Значения изотопа углерода во флюидных включениях месторождений Благодатное и Доброе значительно тяжелее органического углерода терригенных толщ, для которого $\delta^{13}\text{C}$ попадает в интервал от -22,4 до -28,7 ‰ [Галимов, 1968; Хёвс, 1983; Кулешов, 1986; Авгенко и др., 2002]. Утяжеление $\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$ во флюидах могло быть вызвано поступлением во флюидную систему CH_4 в интервале температур 250-350 °C [Ohmoto, Rye, 1979]. При таких же температурах сформированы исследуемые объекты, а в составе флюидов постоянно присутствует CH_4 и другие более тяжелые, чем метан, углеводороды и их производные (Табл. 3,4). Наиболее вероятным источником углекислоты во флюиде месторождения Доброе могли быть внутрикоровые гидротермы.

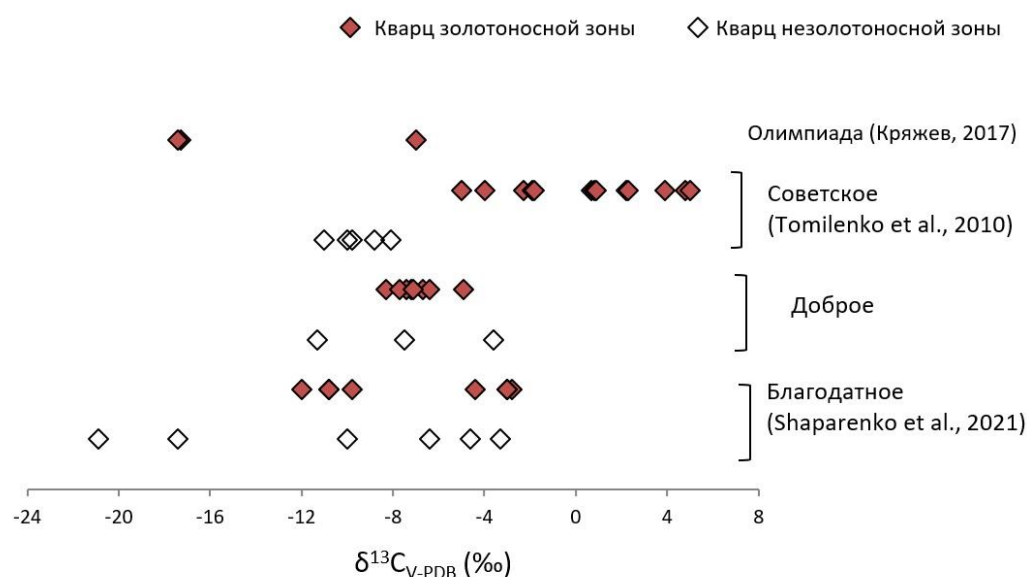


Рисунок 29. Вариации изотопного состава углерода ($\delta^{13}\text{C}$) во флюидных включениях в кварце золоторудных месторождений Енисейского кряжа.

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

Глава 5. ВОЗРАСТ РУДООБРАЗОВАНИЯ

Возраст золоторудных месторождений является одним из факторов, играющих роль в формировании крупных месторождений [Goldfarb et al., 2001; Goldfarb, Groves, 2015; Groves et al., 2016; Гибшер и др., 2019; Shaparenko et al., 2021].

Согласно данным, полученным Полевой и Сазоновым [Полева, Сазонов, 2012], возраст регионального метаморфизма отложений кординской свиты составляет 1490 ± 600 , $1486,9$ млн лет; двуслюдяных сульфидизированных сланцев кординской свиты – 1190 ± 140 млн лет; двуслюдяных и ставролит-мусковитовых сланцев вне рудной зоны – 1070 ± 130 , 1030 ± 130 млн лет (Sm-Nd метод); окружающие сланцы регионального метаморфизма отложений сухопитской серии имеют датировку 1030-1000 млн лет (Rb-Sr) [Сазонов и др., 2003].

Вмещающие породы месторождения прорваны гранитоидами татарско-аяхтинского комплекса в период 880–752 млн лет [Полева, Сазонов, 2012, Верниковский, Верниковская, 2006].

Автором был определен Ar-Ar возраст мусковита из сланцев локальных зон динамотермального метаморфизма и кварцевых жил рудного поля месторождения Благодатное. Этот метод является одним из наиболее точных и надежным для определения возраста геологических событий [Lee, 2015]. Учитывая, что температуры закрытия изотопной системы слюд сопоставимы с температурами гидротермальных преобразований, полученные датировки должны соответствовать времени образования соответствующих минеральных парагенезисов. Таким образом, проведенные определения $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возраста плато позволяют нам восстановить хронологические связи между событиями, в результате которых сформировалось золоторудное месторождение Благодатное.

Ar-Ar возраст кристаллизации мусковита из кварцевых жил рудного поля составляет 756 ± 8 (Рис. 30а), а из сланцев локальных зон динамотермального

метаморфизма – 799 ± 10 , 798.6 ± 6.2 и 735.7 ± 5.9 млн лет (Рис. 30б-г). Эти данные дополняют полученные ранее данные о возрасте формирования рудной минерализации (754-698 млн лет, Rb-Sr) на Благодатном месторождении [Сазонов и др., 2003]. Таким образом длительность процесса формирования рудных кварцево-жильных зон составляет около 100 млн лет. На заключительном этапе в период 368-364 млн лет (Rb-Sr, Sm-Nd) происходило образование безрудных зон нитевидного кварц-, кварц-карбонатного, калишпат-альбитового прожилкования [Сазонов и др., 2003].

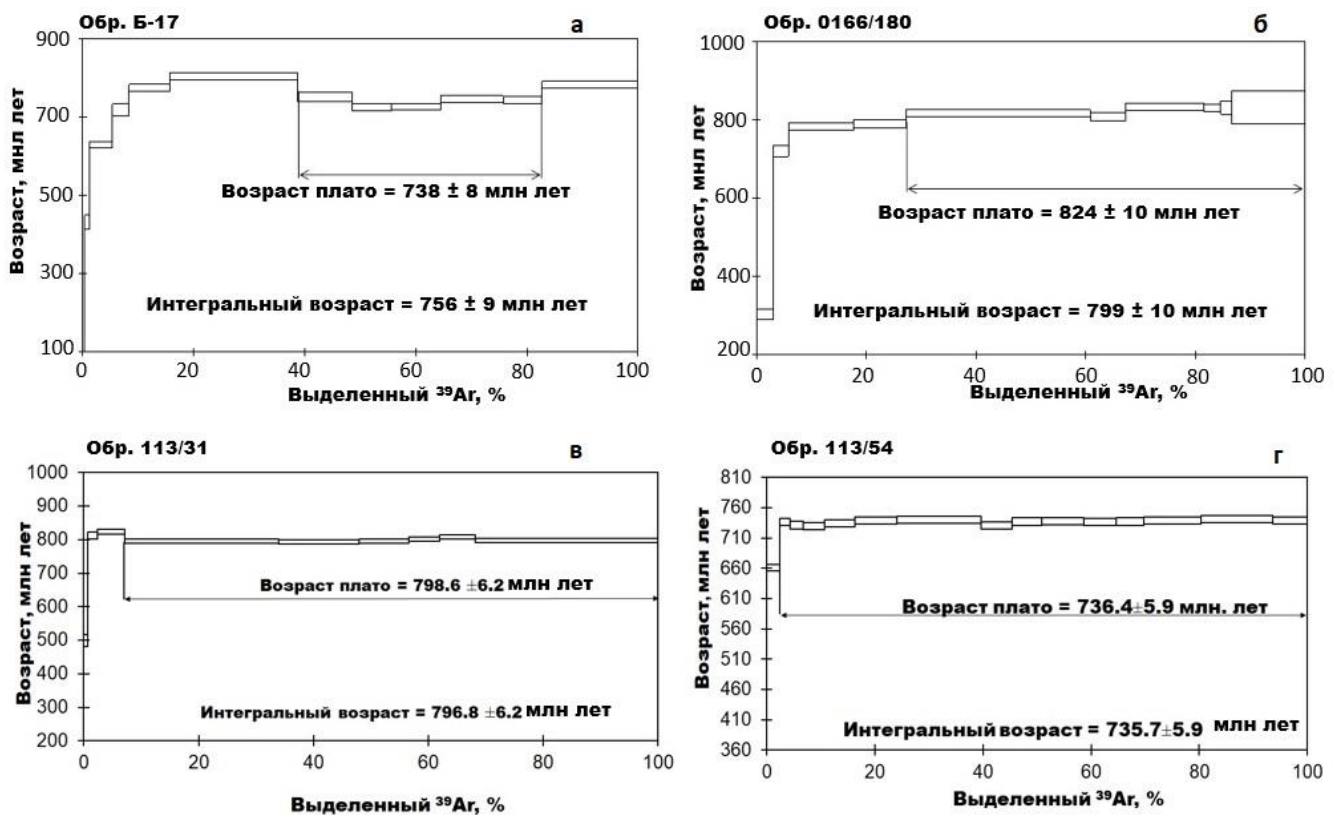


Рисунок 30. Спектры $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ возрастов мусковита из кварцевых жил и сланцев локальных зон динамотермального метаморфизма рудного поля месторождения Благодатное.

Важно отметить, что на других крупных золоторудных месторождениях Енисейского кряжа продолжительность продуктивной золотоносной стадии также составляет 100 и более млн лет. По Ar-Ar датировкам, гидротермальная деятельность на Олимпиадинском месторождении продолжалась во временном

интервале 817 – 660 млн лет [Гибшер и др., 2019], Советском – (820 – 730) млн лет [Tomilenko et al., 2010], Панимба – (817 – 744) млн лет [Гибшер и др., 2017]. Таким образом, длительное функционирование гидротермальных систем этих месторождений привело к формированию богатых рудных залежей.

Приведенные данные указывают на то, что процесс формирования кварцево-жильных зон месторождения Благодатное, с которыми связано золотое оруденение, имел полистадийный характер. Длительное функционирование гидротермальной системы Благодатного месторождения может быть связано с тепловым эффектом деятельности мантийного плюма. По мнению Гертнера и соавторов [Gertner et al., 2011], плюм, вероятно, контролировал мобилизацию гидротермальных флюидов в метаморфических образованиях.

Период внедрения гранитоидов татарско-аяхтинского комплекса (880–752 млн лет) близок к возрасту формирования золотоносных кварцево-жильных зон Благодатного месторождения (798–698 млн лет). Сами граниты, по мнению ряда исследователей [Mernagh, Bierlein, 2008; Константинов, 2009], вряд ли могут быть источниками золотосодержащих флюидов, но они могут быть ответственны за более медленное остывание области рудоотложения и, таким образом, поддерживать более длительное функционирование гидротермальных растворов.

В рамках тектонической эволюции Енисейского кряжа этот период характеризуется процессами континентального рифтогенеза, связанного с распадом древних суперконтинентов. Их распад обусловлен глубинными мантийными процессами, вероятными механизмами которых служат мантийные плюмы [Ernst et al., 2008; Ножкин и др., 2008; Лиханов и др., 2020]. В работах [Groves et al., 2022, Santosh, Groves, 2022] отмечается временная приуроченность образования крупных орогенных золоторудных месторождений к формированию Мезопротерозойских и ранних Неопротерозойских орогенных поясов. В работе Горячева [Горячев, 2019] рассматривается несколько интервалов накопления золота в истории Земли. Формирование месторождения Благодатное попадает в неопротерозойский интервал (0.8–0.55 млрд лет), который связан с байкальским тектоногенезом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

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

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

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

Малая доля мантийного гелия (1%) во флюидных включениях в кварце из золотоносной зоны Благодатного месторождения является признаком того, что

флюиды, сформировавшие месторождение, имели преимущественно коровое происхождение.

Исходя из того, что сера сульфидов на исследуемых объектах в большей степени обогащена тяжелым изотопом ($\delta^{34}\text{S}=1.9\text{--}20.1$), наиболее вероятным источником рудного вещества были глубинные коровые породы. Характер распределения $\delta^{13}\text{C}$ во флюидах месторождения Доброе и Благодатное ($-20.9\text{...}-2.8\text{ ‰}$) также указывает на коровый источник CO_2 во флюиде.

В формировании золоторудных месторождений Благодатное и Доброе огромную роль сыграли множественные разрывные нарушения Енисейского кряжа. Они послужили рудоподводящими каналами для флюидов, которые поднимались из глубин земной коры. Перепады давлений, температур, изменение окислительно-восстановительных условий способствовали осаждению золота из водно-углекислотно-углеводородных флюидов. По результатам Ar-Ar датирования, гидротермальная система месторождения Благодатное функционировала в период 799–735 млн лет.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

ФВ – флюидное(ые) включение(я)

$T_{\text{гом}}$ – температура общей гомогенизации

$T_{\text{эвт}}$ – температура эвтектики

$T_{\text{пл}}$ – температура плавления последнего кристаллика льда

$T_{\text{ч.гом.}}$ – температура частичной гомогенизации

$T_{\text{пл.CO}_2}$ – температура плавления твердой углекислоты

NaCl-экв. – эквивалент NaCl

мол.% – мольные проценты

отн.% – относительные проценты

GC-MS (ГХ-МС) – газовая хромато-масс-спектрометрия

m/z – отношение массы иона к заряду

Pu – пирит

Po – пирротин

Csp – халькопирит

Apy – арсенопирит

Au – золото

Qz – кварц

Cu – медь

Hg – ртуть

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Армер Б., Шмидбаур Х. Химия золотоорганических соединений // Успехи химии. – 1971. – 40. – С. 1211–1235.
2. Баликов С.В., Дементьев В.Е. Золото: Свойства. Геохимические аспекты. Иркутск, 2015. 328 с.
3. Бернштейн П.С. Условия локализации золоторудных месторождений Енисейского края // Труды института «ЦНИГРИ». – 1962. – Вып.43. – С. 47–55.
4. Бернштейн П.С., Петровская, Н.В. Золоторудное месторождение Советское (Енисейский край) // Геология главнейших золоторудных месторождений СССР. М.: Наука, 1954. Т. VI. 162 с.
5. Борисенко А.С. Исследование солевого состава растворов газово–жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. – 1977. – №8. – С. 16–27.
6. Бортников Н.С., Гамянин Г.Н., Викентьева О.В., Прокофьев В.Ю., Алпатов В.А., Бахарев А.Г. Состав и происхождение флюидов в гидротермальной системе нежданинского золоторудного месторождения (Саха–Якутия, Россия) // Геология рудных месторождений. – 2007. – Т.49. – № 2. – С. 99–145.
7. Бортников Н.С., Прокофьев В.Ю., Раздолина Н.В. Генезис золото–кварцевого месторождения Чармитан (Узбекистан) // Геология рудных месторождений. – 1996. – Т.38. – № 3. – С. 238–257.
8. Бульбак Т.А., Логвинова А.М., Сонин В.М., Соболев Н.В., Томиленко А.А. Особенности состава летучих компонентов в алмазах из россыпей северо–востока сибирской платформы (по данным газовой хромато–масс–спектрометрии) // Доклады Академии наук. – 2018. – Т.481. – № 3. – С.310–314.
9. Бульбак Т.А., Томиленко А.А., Гибшер Н.А., Сазонов А.М., Шапаренко Е.О., Рябуха М.А., Хоменко М.О., Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Углеводороды во флюидных включениях из самородного золота, пирита и кварца месторождения Советское (Енисейский край, Россия) по данным беспиролизной газовой хромато–масс–спектрометрии // Геология и Геофизика. – 2020. – №11. – С. 1535 – 1560.

10. Буряк В.А. Метаморфизм и рудообразование. М.: Недра, 1982. 256 с.
11. Буряк, В.А., Неменман И.С., Бердников Н.В., Кокин А.В., Демихов Ю.И. Флюидный режим формирования и источники рудообразующих растворов золото–кварцевых жил Аллах–Юньской зоны // Тихоокеанская геология. – 1990. – Т.9. – № 3. – С. 62–70.
12. Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Сальникова Е.Б., Котов А.Б., Ковач В.П., Травин А.В., Палесский С.В., Яковлева С.З., Федосеенко А.М., Яснев А.М. Неопротерозойские постколлизийные гранитоиды Глушихинского комплекса Енисейского кряжа // Петрология. – 2003. – т. 11. – № 1. С. 54–68.
13. Верниковский В.А., Верниковская А.Е. Тектоника и эволюция гранитоидного магматизма Енисейского кряжа. // Геология и геофизика. – 2006. т.47. – № 1. – С. 35–52.
14. Ветрин В.Р., Каменский И.Л., Икорский С.В., Ганнибал М.А. Ювенильный гелий в архейских эндербитах и щелочных гранитах Кольского полуострова // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 699–705.
15. Генкин А.Д., Вагнер Ф.Е., Крылова Т.Л., Цепин А.И. Золотоносный арсенопирит и условия его образования на золоторудных месторождениях Олимпиада и Ведуга (Енисейский кряж, Сибирь) // Геология рудных месторождений – 2002. – №44. – С. 59-76.
16. Геология и металлогения Енисейского рудного пояса / Отв. ред. Г.Н. Бровков, Л.В. Ли, М.Л. Шерман – Красноярск: СНИИГГиМС–ПГО «Красноярскгеология», 1985. – 289 с.
17. Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Бульбак, Т.А., Рябуха, М.А., Сильянов С.А., Некрасова Н.А., Хоменко М.О., Шапаренко Е.О. Олимпиадинское золоторудное месторождение (Енисейский кряж): температура, давление, состав рудообразующих флюидов, $\delta^{34}\text{S}$ сульфидов, $^3\text{He}/^4\text{He}$ флюидов, Ar–Ar возраст и продолжительность формирования // Геология и геофизика. – 2019. – Т.60. – № 9. – С.1310–1329.
18. 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 край, Россия) // Геология и геофизика. 2017. – т. 58. – № 11. – С. 1721–1741.

19. Гибшер Н.А., Томиленко А.А., Сазонов А.М., Бульбак Т.А., Хоменко М.О., Рябуха М.А., Шапаренко Е.О., Сильянов С.А., Некрасова Н.А. Рудоносные флюиды золоторудного месторождения Эльдorado (Енисейский край, Россия) // Геология и геофизика. – 2018. – т. 59. – № 8. – С. 1220–1237.

20. 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 край, Россия) // Геология и геофизика. – 2011. – т. 52 (11). – С. 1851–1867.

21. Горячев Н.А. Месторождения золота в истории Земли // Геология рудных месторождений. – 2019 – том 61. – № 6. – С. 3–18.

22. Дембо Т.М. Петрология месторождений группы Эльдorado в Северной Енисейской тайге // Тр. НИГРИЗолото. Вып. 7. М. – 1941. – С. 10–15.

23. Ермаков Н.П. Геохимические системы включений в минералах. М.: Недра, 1972, 175 с.

24. Ермаков Н.П. Исследования минералообразующих растворов // Издательство Харьковского госуниверситета, Харьков. – 1950. 460 с.

25. Ермаков Н.П., Долгов Ю.А. Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979. – 346 с.

26. Жимулев Е.И., Сонин В.М., Бульбак Т.А., Чепуров А.И., Томиленко А.А., Похиленко Н.П. Летучие соединения серы в системе Fe–C–S при 5.3 гпа и 1300°С // Доклады Академии наук. – 2015. – Т.462. – № 3. – Ст.340. – ISSN 0869–5652.

27. Звягина Е. А., Сазонов М. А., Гончарова С. П. Термодинамические параметры метаморфизма и рудообразования в золоторудном поле месторождения Благодатное. Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология, 2004, с. 87 – 89.

28. Икорский С.В., Ганнибал М.А., Аведисян А.А. Импрегнирование гелия во флюидные включения в минералах при высоких температурах (по

экспериментальным данным на примере кварца и нефелина) // ДАН. – 2006. – т.411. – №1. – С.106–110.

29. Икорский С.В., Каменский И.Л., Аведисян А.А. Изотопы гелия в зонах контакта щелочных интрузивов различного размера (на примерах щелочно–ультраосновного интрузива Озерная, Варака и Ловозерского массива нефелиновых сиенитов, Кольский полуостров) // ДАН. – 2014. – т.459. – №4. – с. 474–478.

30. Калюжный, В.А. Основы учения о минералообразующих растворах. – Киев: Наук. Думка, 1982. – 240 с.

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

32. Константинов М.М. Системы рудообразования в земной коре // Изв. Вузов. Геология и разведка. – 2009. – №5. – С. 22 – 28.

33. Коршунова В.А., Чарыкова М.В. Металлоорганические формы золота и элементов–спутников в подзолистых почвах на территории золотого месторождения Новые Пески (Южная Карелия) // Вестник Санкт–Петербургского университета. Науки о Земле. – 2018. – Т. 63. Вып. 1. – С. 22–35.

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

35. Кряжев С. Г. Генетические модели и критерии прогноза золоторудных месторождений в углеродисто–терригенных комплексах: дис. ... д–ра геол.–минерал. наук: 25.00.11 / Кряжев Сергей Гаврилович. М., 2017. 288 с.

36. Лаверов Н.П., Прокофьев В.Ю., Дистлер В.В., Юдовская М.А., Спиридонов А.М., Гребенщикова В.И., Матель Н.Л. Новые данные об условиях рудоотложения и составе рудообразующих флюидов золото–платинового месторождения Сухой лог // Доклады Академии наук. – 2000. – Т. 371–1. – С. 88–92.

37. Ли Л. В. Олимпиадинское месторождение вкрапленных золото–сульфидных руд. Красноярск: КНИИГиМС, 2003. 120 с.

38. Ли Л.В. Золоторудные месторождения Енисейского края // Геология и полезные ископаемые Центральной Сибири. Красноярск: КНИИГиМС. – 1997. – С. 184–222.
39. Ли Л.В. Основные черты рудообразования в докембрии Енисейского края // Металлогения докембрия (Тезисы докладов II Всесоюзного совещания по металлогении докембрия). Иркутск. – 1981. – С. 261–263.
40. Лиханов И.И. Гранитоидный анорогенный магматизм Енисейского края как свидетельство процессов растяжения литосферы на западе Сибирского кратона // Геохимия. – 2020. – том 65. – № 5. – С. 431–451.
41. Ляхов Ю.В., Павлунь Н.Н. Некоторые геолого–геохимические особенности процессов золотоконцентрации в метаморфогенно–гидротермальных 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.
42. Макаров В.А., Макеев С.М., Межубовский В.В., Фисенко В.Г., Самородская М.А. Опыт применения технологии компьютерного прогнозирования золоторудных объектов в заангарской части Енисейского края // Руды и металлы, 2012. – №3. – С. 50-57.
43. Матель Н.Л. Формы нахождения золота в гидротермальных растворах золоторудного месторождения Сухой Лог (Ленский район) (физико–химическое моделирование) // Материалы конференции «Геодинамика, рудные месторождения и глубинное строение литосферы», Екатеринбург, УрО РАН. – 2012. – С. 169—170.
44. Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н. Термобарогеохимия. – М.: Академический проект, 2008. – 222 С.
45. Неволько П.А., Борисенко А.С. Сурьмяная минерализация на золото–сульфидных месторождениях Енисейского края // Разведка и охрана недр. – 2009. – №2. – С. 11–14.

46. 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.
47. 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. – Т.49. – № 7. – С. 666–689.
48. Неронский Г.И., Левицкий Ю.Т. Газово–жидкие включения в самородном золоте и их структурное положение // Минералообразующие флюиды и рудогенез. Киев, Наук. Думка. – 1988. – с. 137—140.
49. Неронский Г.И., Левицкий Ю.Т., Остапенко Н.С., Белоусов В.И. К вопросу о термовакuumной декрепитации золота // Термобарогеохимия в геологии. Владивосток, ДВНЦ АН СССР. – 1982. – С. 165—170.
50. Обзор золотодобывающей промышленности России. Ernst & Young, 2020. 62 с. [Электронный ресурс] // URL: https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/ru_ru/topics/mining-metals/ey-gold-surveys/ey-gold-survey-2020.pdf (дата обращения 20.06.2022)
51. Оболенский А.А., Гущина Л.В., Борисенко А.С., Боровиков А.А., Павлова Г.Г. Сурьма в гидротермальных процессах: растворимость, условия переноса, металлоносность растворов // Геология и геофизика. – 2007. – Т.48. – №12. – 1276–1288.
52. Паддефет Р. Химия золота. – М., Мир, 1982. – 259 с.
53. Пальянова Г.А., Соболев Е.С., Реутский В.Н., Бортникова Н.С. Пиритизированные двустворчатые моллюски из верхнего триаса орогенного золото–сурьмяного месторождения Сентачан (Восточная Якутия): минеральный состав и изотопный состав серы // Геология рудных месторождений. – 2016. – т.58. – №6. – С.513–521.
54. Петров В.Г. Перспективы минерально–сырьевой базы золота Енисейского кряжа // Состояние и проблемы геологического изучения недр и

развития минерально–сырьевой базы Красноярского края. Красноярск: КНИИГиМС. – 2003. – С. 226–280.

55. Петров В.Г. Условия золотоносности северной части Енисейского кряжа. – Новосибирск: Наука, 1974. – 140 С.

56. Петровская Н.В. Золотое оруденение Енисейского кряжа и особенности процессов формирования золотоносных руд // Диссертация на соискание ученой степени доктора геолого–минералогических наук, Москва, 1954.

57. Петровская Н.В., Новгородова М.И., Цепин А.И. О химическом составе реликтов минералообразующей среды в самородном золоте // Геология рудных месторождений. – 1975. – № 5. – С. 53–61.

58. Петровская Н.В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). – М.: Наука, 1973. – 347 С.

59. Пизнюр А.В. Основы термобарогеохимии. Издательство при Львовском госуниверситете «Вища школа». Львов. – 1986. – 199 С.

60. Плечов П.Ю. Методы изучения флюидных и расплавных включений. М.: КДУ. – 2014. – 242 С.

61. Полева Т. В., Сазонов А. М. Геология золоторудного месторождения Благодатное в Енисейском кряже. Монография. – М. : Экон. газ., 2012. – 290 С.

62. Поляк Б.Г. Изотопы гелия в подземных флюидах Байкальского рифта и его обрамления (к геодинамике континентального рифтогенеза) // Российский журнал наук о Земле. – 2000. – Т.2. – №2. – С. 1–21.

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

64. Прокофьев В.Ю., Наумов В. Б., Миронова О.Ф. Физико–химические параметры и геохимические особенности флюидов докембрийских золоторудных месторождений // Геохимия. – 2017. – № 12. – С. 1069–1087

65. Прокофьев В.Ю., Наумов В.Б., Миронова О.Ф. Физико–химические параметры и геохимические особенности флюидов палеозойских золоторудных месторождений // Геохимия. – 2018. – № 12. – С. 1141–1157.
66. Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. – М., Изд–во «Мир», 1987. – т.1. – С.558.
67. 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.
68. Сазонов А.М., Звягина Е.А. Генезис золотоносных руд г. Благодатной. Состояние и проблемы геологического изучения недр и развития минерально–сырьевой базы Красноярского края. – Красноярск. – 2003. – С. 247 – 249.
69. Сазонов А.М., Ананьев А.А., Полева Т.В., Хохлов А.Н., Власов В.С., Звягина Е.А., Фёдорова А.В., Тишин П.А., Леонтьев С.И. Золоторудная металлогения Енисейского кряжа: геолого–структурная позиция, структурные типы рудных полей // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технология. – 2010. – №4. – С. 371–395.
70. Сазонов А.М., Кирик С.Д., Сильянов С.А., Баюков О.А., Тишин П.А. Типоморфизм арсенопирита золоторудных месторождений Благодатное и Олимпиада (Енисейский кряж) // Минералогия. – 2016. – № 3. – С. 53–70.
71. Сазонов А.М., Кирик С.Д., Сильянов С.А., Баюков О.А., Тишин П.А. Типоморфизм арсенопирита золоторудных месторождений Благодатное и Олимпиада (Енисейский кряж) // Минералогия. – 2016. – № 3. – С. 53–70.
72. Сердюк С.С. Золотоносные провинции Центральной Сибири: геология, минерагения и перспективы освоения. Красноярск: КНИИГиМС, 2004. – 480 С.
73. Сердюк С.С. Систематика золотоносных месторождений и формаций Центральной Сибири – комплексная модель их прогноза, поисков и оценки //

Золото Сибири: геохимия, технология, экономика. Материалы 4-го Международного симпозиума. – Красноярск: КНИИГиМС, 2006. – С. 24–26.

74. Сердюк С.С., Комаровский Ю.Е., Зверев А. И. и др. Модели месторождений золота Енисейской Сибири. Под. ред. С.С. Сердюка. Красноярск. – 2010. – 584 С.

75. Стороженко А.А., Васильев Н.Ф., Пиманов А.В. Миллер В. Я., Качевская Г. И., Дмитриева Е. В., Пиманова Г. П., Гладкова Р. Ф., Дмитриев Г. А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 200 000. Издание второе. Серия Енисейская. Лист Р-46-XXXIII (Тея). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ «ВСЕГЕИ». – 2018. – 164 с. (МПР России, Федеральное агентство, ОАО «Красноярскгеолсъемка»).

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

77. Травин А.В. Термохронология раннепалеозойских коллизионных, субдукционно–коллизионных структур Центральной Азии // Геология и геофизика. – 2016. – т.57. – №3. С.553–574.

78. Халенёв В.О. Изотопный состав гелия и аргона как критерий рудоносности интрузивов Норильского района: Автореф. дис.... к.г–м.н. СПб., 2010, 18 С.

79. Эльшенбройх К. Металлоорганическая химия. – М., БИНОМ, 2011. – 746 С.

80. Bakker R.J. Package FLUIDS 1. Computer programs for analysis of fluid inclusion data and for modelling bulk fluid properties // Chemical Geology. – 2003. – 194. – Р. 3 – 23.

81. Bhattacharya S., Panigrahi M.K. Heterogeneity in fluid characteristics in the Ramagiri–Penakacherla sector of the Eastern Dharwar Craton: implications to gold metallogeny. Russian Geology and Geophysics (Geologiya i Geofizika). – 2011. – 52 (11). – 1436–1447 (1821–1834).

82. Blamey N.J.F. Composition and evolution of crustal, geothermal and hydrothermal fluids interpreted using quantitative fluid inclusion gas analysis // *J. Geochem.* – 2012. – v. 116–117. – P. 17–27.
83. Bodnar R., Frezzotti M.L. Microscale Chemistry: Raman Analysis of Fluid and Melt Inclusions // *Elements*. – 2020. – v.16. – P. 93–98.
84. Bodnar, R.J. Philosophy of fluid inclusion analysis. Fluid inclusions in minerals: methods and applications. Siena. – 1994. – pp.1–6.
85. Bottrell S.H., Miller M.F. The geochemical behaviour of nitrogen compounds during the formation of black shale hosted quartz–vein gold deposits, north Wales // *Applied Geochemistry*. – Vol. 5. – Issue 3. – 1990. – P. 289–296.
86. Bowers T.S. The deposition of gold and other metals: pressure–induced fluid immiscibility and associated stable isotope signatures // *Geochim. Cosmochim. Acta*. – 1991. – v. 55. – P. 2417–2434.
87. Brown P.E. FLINCOR: A microcomputer program for the reduction and investigation of fluid–inclusion data // *American Mineralogist*. – 1989. – Vol. 74. – PP.1390–1393.
88. Burke E.A. Raman microspectry of fluid inclusions // *Lithos*. – 2001. – V. 55. – P. 139–158.
89. Crede L.S., Evans K.A., Rempel K.U., Grice K., Sugiyama I. Gold partitioning between 1–dodecanethiol and brine at elevated temperatures: Implications of Au transport in hydrocarbons for oil–brine ore systems. *Chem. Geol.* 2019. – 504. – P. 28–37.
90. Dubessy J., Poty B., Ramboz C. Advances in C–O–H–N–S fluid geochemistry based on micro–Raman spectrometric analysis of fluid inclusions // *Eur. J. Miner.* – 1989. – №1. – P. 517–534
91. Ernst R.E., Wingate M.T.D., Buchan K.L., Li Z.H. Global record of 1600–700 Ma Large Igneous Provinces (LIPs): implications for the reconstruction of the proposed Nuna (Columbia) and Rodinia supercontinents. *Precambrian Res.* – 2008. – 160. – P. 159–178.

92. Frezzotti M. L., Tecce F., Casagli A. Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // *Journal of Geochemical Exploration*. – 2012. – v. 112. – P. 1–20.
93. Fuchs S., Schumann D., Williams–Jones A.E., Vali H. The growth and concentration of uranium and titanium minerals in hydrocarbons of the Carbon Leader Reef, Witwatersrand Supergroup, South Africa. *Chem. Geol.* – 2015. – 393–394. – P. 55–66.
94. Gaboury D. Parameters for the formation of orogenic gold deposits // *Applied Earth Science*. – 2019. – 128:3. – P. 124–133.
95. Gaboury D. The Neglected Involvement of Organic Matter in Forming Large and Rich Hydrothermal Orogenic Gold Deposits // *Geosciences*. – 2021. – V. 11. – 344.
96. Gaboury D., Keita M., Guha J., Lu H.–Z. Mass spectrometric analysis of volatiles in fluid inclusions decrepitated by controlled heating under vacuum // *Economic Geology*. – 2008. – v. 103. – P. 439–443.
97. Gertner I., Tishin P., Vrublevskii V., Sazonov A., Zvyagina E.; Kolmakov Y. Neoproterozoic alkaline igneous rocks, carbonatites and gold deposits of the Yenisei Ridge, Central Siberia: Evidence of mantle plume activity and late collision shear tectonics associated with orogenic gold mineralization // *Resour. Geol.* – 2011. – 61. P. 316–343.
98. Goldfarb R.F., Groves D.I., Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis // *Ore Geology Reviews*. – 2001. – 18. – P. 1–75.
99. Goldfarb R.J., Groves, D.I. Orogenic gold: common vs evolving fluid and metal sources through time // *Lithos*. – 2015. – №223. – pp. 2–26.
100. Graham D.W. Helium isotopes. In: *Geochemistry. Encyclopedia of Earth Science*. Springer, Dordrecht. – 1999. – pp. 314–315.
101. Greenwood P.F., Brocks J.J., Grice K., Schwark L., Dick J.M., Evans K.A. Organic geochemistry and mineralogy. I. Characterization of organic matter associated with metal deposits // *Ore Geol. Rev.* – 2013. – v. 50. – p. 1–27.

102. Groppo C., Roflo F., Frezzotti M.L. CO₂ outgassing during collisional orogeny is facilitated by the generation of immiscible fluids // *Communications Earth and Environment*. – 2022. – 3:13.
103. Groves D.I., Santosh M., Deng J., Wang Q., Yang L., Zhang L. A holistic model for the origin of orogenic gold deposits and its implications for exploration // *Mineralium Deposita*. – 2020. – v. 55. – P. 275–292.
104. Groves D.I., Goldfarb R.J., Gebre-Mariam M., Hagemann S.G., Robert F. Orogenic gold deposits – a proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types // *Ore Geol Rev.* – 1998. №13. – P. 7–27.
105. Groves D.I., Goldfarb R.J., Santosh M. The conjunction of factors that lead to formation of giant gold provinces and deposits in non-arc settings // *Geoscience Frontiers*. – 2016. – 7. – P. 303–314.
106. 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. – 205–213.
107. Hronsky J.M.A. Deposit-scale structural controls on orogenic gold deposits: an integrated, physical process-based hypothesis and practical targeting implications // *Mineralium Deposita*. – 2020. – V. 55. – P. 197–216.
108. Hu M., Chou I-M., Wang R., Shang L., Chen C. High solubility of gold in H₂S-H₂O±NaCl fluids at 100–200 MPa and 600–800 °C: A synthetic fluid inclusion study // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2022. – V. 330. – P. 116–130.
109. Hurai V., Huraiova M., Slobodnik M., Thomas R. *Geofluids: Developments in Microthermometry, Spectroscopy, Thermodynamics, and Stable Isotopes* // Elsevier. – 2015. – 489 p.
110. Kelly W.C., Rye R.O. Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies on the tin–tungsten deposits of Panasqueira, Portugal // *Econ Geol.* – 1979. – 74. – P. 1721–1822.

111. Kerrich R., Goldfarb R., Groves D. et al. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces // *Sci. China Ser. D–Earth Sci.* – 2000. – 43. – pp. 1–68.
112. Lee J.K.W. Ar–Ar and K–Ar Dating. In: Jack Rink W., Thompson J.W. (eds) *Encyclopedia of Scientific Dating Methods* // *Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Springer, Dordrecht. – 2015. – pp. 58–73.
113. Liu W., Chen M., Yang Y., Mei Y., Etschmann B., Brugger J., Johannessen B. Colloidal gold in sulphur and citrate-bearing hydrothermal fluids: An experimental study // *Ore Geol. Rev.* – 2019. – 114. – 103142.
114. Luders, V., Klemm, R., Oberthür, T. et al. Different carbon reservoirs of auriferous fluids in African Archean and Proterozoic gold deposits? Constraints from stable carbon isotopic compositions of quartz-hosted CO₂-rich fluid inclusions // *Miner Deposita.* – 2015. – V. 50. – P. 449–454.
115. Mernagh T.P., Bierlein F.P. Transport and precipitation of gold in Phanerozoic metamorphic terranes from chemical modeling of fluid–rock interaction // *Econ. Geol.* – 2008. – V. 103. – p. 1613–1640.
116. Migdisov A.A. , Guo X., Xu H., Williams–Jones A.E., Sun C.J., Vasyukova O., Sugiyama I., Fuchs S., Pearce K., Roback R. Hydrocarbons as ore fluids // *Geochem. Persp. Let.* – 2017. – V.5. – P.47–52.
117. Nesbitt B.E. Phanerozoic gold deposits in tectonically active continental margins. In: Foster R.P. (ed) *Gold metallogeny and exploration*, Blackie and Sons Ltd., Glasgow. – 1991. – pp. 104–132.
118. Norman D.I., Blamey N., Moore J.N. Interpreting geothermal processes and fluid sources from fluid inclusion organic compounds and CO₂/N₂ ratios // *Proceeding of 27th Workshop on geothermal reservoir engineering*, Stanford University, Stanford, California, January 28–30. – 2002. – p. 234–241.
119. Ohmoto H., Rye R.O. *Isotopes of sulfur and carbon* // *Geochemistry of hydrothermal ore deposit*. N.Y. – Wiley. – 1979. – p. 509–567.

120. Petrella L., Thébaud N., Fougereuse D., Evans K., Quadir Z., Laflamme C. Colloidal gold transport: A key to high-grade gold mineralization // *Miner. Depos.* – 2020. – V. 55. – P. 1247–1254.
121. Phillips G.N., Evans K.A. Role of CO₂ in the formation of gold deposits // *Nature*. – 2004. – V. 429. – p. 860–863.
122. Ridley J.R., Diamond L.W. Fluid chemistry of orogenic lode gold deposits and implications for genetic models // *Rev. Econ. Geol.* – 2000. – V.13. – pp. 141–162.
123. Robert F., Kelly W.C. Ore-forming fluids in Archean gold-bearing quartz veins at the Sigma Mine, Abitibi green-stone belt, Quebec, Canada // *Econ. Geol.* – 1987. – V. 82. – pp. 1464–1482.
124. Rollinson H.R. *Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation*. Routledge, London. – 2014. – 384 p.
125. Santosh M., Groves D.I. Global metallogeny in relation to secular evolution of the Earth and supercontinent cycles // *Gondwana Research*. – 107. – 2022. – pp. 395–422.
126. Sazonov A.M., Silyanov S.A., Bayukov O.A., Knyazev Y.V., Zvyagina Y.A., Tishin P.A. Composition and Ligand Microstructure of Arsenopyrite from Gold Ore Deposits of the Yenisei Ridge (Eastern Siberia, Russia) // *Minerals*. – 2019. – V. 9. – p. 737.
127. 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. – V.11. – p. 1090.
128. Shelton K.I., McMenamg T.A., van Hees E.H., Falck H. Deciphering the complex fluid history of a greenstone-hosted gold deposit: fluid inclusion and stable isotope studies of the Giant Mine, Yellowknife Northwest Territories, Canada // *Econ. Geol.* – 2004. – V. 99. – pp. 1643–1663.
129. Sokol A.G., Tomilenko A.A., Bul'bak T.A., Sobolev N.V. Synthesis of Hydrocarbons by CO₂ Fluid Conversion with Hydrogen: Experimental Modeling at 7.8

GPa and 1350 degrees C // Doklady Earth Sciences. – 2017. – Vol.477. – Iss. 2. – P.1483–1487.

130. Tomilenko A.A., Chepurov A.I., Sonin V.M., Bul'bak T.A., Zhimulev E.I., Chepurov A.A., Timina T.Y., Pokhilenko N.P. The synthesis of methane and heavier hydrocarbons in the system graphite–iron serpentine at 2 and 4 GPa and 1200 degrees C // High Temperatures – High Pressures. – 2015. – Vol.44. – Iss. 6. – P.451–465.

131. Tomilenko A.A., Gibsher N.A., Dublaynsky Y.V., Dallai I. Geochemical and isotopic properties of fluid from gold–bearing and barren quartz veins of the Sovetskoye deposit (Siberia, Russia) // Econ. Geol. – 2010. – v.105. – №2. – p.375–394.

132. Tomkins A.G. On the source of orogenic gold // Geology. Geological Society of America. – 2013. – V. 41. – №12. – pp. 1255–1256.

133. Wilkinson J.J. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits // Lithos. – 2001. – V.55. – p. 229–272.

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

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А1. Результаты микрорентгеноспектрального анализа сульфидов, арсенидов, углеродистых частиц и золота из кварцевых жил Благодатного золоторудного месторождения.

Сульфиды в кварце																
№ образца	S	As	Fe	Cu	Sb	Pb	Se	Co	Zn	Ag	Bi	Ni	Hg	Au	Total	Минерал
7-96-1-1	20,263	45,527	33,974	0,052	0,031	0	0,144	0,007	0	0,007	0	0,071	0	0,004	100,08	арсенопирит
7-96-1-2	20,583	44,472	34,074	0,027	0,03	0	0,139	0,059	0	0,019	0,062	0	0,131	0,008	99,604	арсенопирит
7-96-2-1	52,63	0,034	46,4	0,012	0	0	0	0,02	0,008	0,002	0	0	0	0	99,104	пирит
7-96-2-2	17,393	49,15	33,211	0,017	0	0	0,25	0,014	0,026	0	0	0,024	0,088	0,016	100,189	арсенопирит
7-96-3-3	17,76	49,12	33,35	0,015	0	0	0,174	0,036	0	0	0,018	0,011	0,152	0	100,635	арсенопирит
7-96-3-4	2,17	73,66	28,59	0	0,031	0	0,279	0,053	0,01	0	0,097	0,077	0,121	0,066	105,153	леллингит
100-216,5-1-2	52,97	0,063	46,68	0	0,012	0	0,001	0,268	0,009	0,012	0,009	0,028	0	0	100,053	пирит
100-216,5-2-2	17,41	49,52	33,38	0	0,015	0	0,174	0	0,01	0	0,03	0,049	0,163	0,05	100,8	арсенопирит
100-216,5-2-3	25,48	0,113	22,28	26,96	0,017	0	0	0	0,005	0,03	0,01	0,024	0,018	0	74,937	халькопирит
112-191-1-1	17,322	49,639	33,148	0,014	0,008	0	0,191	0,069	0,007	0,011	0	0	0,118	0	100,527	арсенопирит
112-191-1-3	7,24	57,99	30,25	0,02	0	0	0,197	0	0,019	0,004	0	0,025	0,167	0	95,912	арсенопирит
112-191-2-1	19,684	45,808	34,064	0,02	0,008	0	0,211	0,114	0	0,004	0	0	0,098	0	100,011	арсенопирит
100-216,5-2-3	34,42	0,082	30,65	33,89	0	0	0,04	0	0	0,018	0	0,016	0,136	0	99,251	халькопирит
112-191-1-3	2,249	72,754	27,82	0,02	0,006	0	0,474	0,108	0	0,031	0,105	0,034	0,015	0	103,616	леллингит
53-112-5-1	38,77	0,005	60,627	0,011	0	0	0,016	0	0,001	0,021	0	0,013	0,038	0	99,502	пирротин
53-112-6-1	38,465	0	60,863	0	0	0	0	0,005	0	0	0,017	0,103	0,026	0	99,479	пирротин
100-216,5-1-1	53,203	0,083	47,136	0,03	0,004	0	0,012	0,005	0,005	0,001	0,011	0,049	0,038	0,003	100,58	пирит
100-216,5-1-2	34,705	0	30,414	34,694	0	0	0	0	0	0	0	0	0,072	0,033	99,918	халькопирит
100-216,5-1-3	39,37	0	60,631	0	0	0	0	0	0	0	0	0,007	0	0	100,008	пирротин
100-216,5-4-1	53,373	0,012	46,918	0	0	0	0,01	0,035	0	0	0	0,03	0	0	100,378	пирит
100-216,5-4-2	34,451	0,016	30,714	34,404	0	0	0,019	0	0,005	0,029	0,012	0,031	0	0	99,681	халькопирит
100-216,5-5-1	52,45	0,031	46,228	0,022	0	0	0	0,447	0	0,008	0,013	0	0,08	0	99,279	пирит
100-216,5-5-2	34,932	0	30,714	34,704	0	0	0,004	0,042	0,022	0	0	0	0,052	0,054	100,524	халькопирит
100-216,5-5-3	38,702	0,008	60,292	0,143	0	0	0,004	0	0	0,01	0,019	0	0,035	0	99,213	пирротин
100-216,5-6-1	52,654	0,015	46,743	0,007	0	0	0	0	0,017	0	0,003	0,009	0	0	99,448	пирит
100-216,5-6-2	34,614	0,016	30,719	34,325	0,003	0	0	0,284	0,018	0,036	0,012	0,015	0,029	0,004	100,075	халькопирит
100-216,5-6-3	38,899	0,025	60,323	0	0,001	0	0,014	0	0,007	0	0	0,073	0	0,025	99,367	пирротин

№ образца	S	As	Fe	Cu	Sb	Pb	Se	Co	Zn	Ag	Bi	Ni	Hg	Au	Total	Минерал
7-42-4-1	18,112	48,378	33,408	0	0	0	0,219	0,069	0,007	0,011	0,003	0,017	0,014	0,005	100,243	арсенопирит
7-42-4-2	1,833	70,621	27,591	0,03	0	0	0,342	0	0,006	0,016	0,007	0,051	0	0,086	100,583	леллингит
7-42-5-1	17,751	48,831	33,193	0,007	0,005	0	0,206	0,2	0,013	0	0,067	0,015	0	0	100,288	арсенопирит
7-42-5-2	1,964	70,684	27,575	0	0	0	0,275	0,062	0,015	0	0,095	0,027	0	0,021	100,718	леллингит
53-112-2-2	39,442	0,026	60,11	0,029	0	0	0	0,117	0,01	0	0	0,046	0,167	0,054	100,001	пирротин
7-42-4-2-1	2,07	70,29	27,57	0,01	0	0	0,313	0,083	0,013	0,003	0,004	0,059	0	0	100,414	леллингит
7-42-5-2	1,73	70,75	27,48	0	0	0	0,273	0	0	0	0	0,071	0,057	0,055	100,416	леллингит
Углеродистые частицы																
№ образца	S	As	Fe	Cu	Sb	Pb	Se	Co	Zn	Ag	Bi	Ni	Hg	Au	Total	минерал
7-96,0-2-5-1	0,001	0,014	0,435	0,007	0	0	0	0,004	0	0	0,084	0	0,023	0	0,57	-
7-96,0-2-5-2	0,007	0	23,07	0	0,001	0,027	0,032	0	0,05	0	0	0	0	0	23,187	-
Сульфиды в углеродистых частицах																
№ образца	S	As	Fe	Cu	Sb	Pb	Se	Co	Zn	Ag	Bi	Ni	Hg	Au	Total	минерал
7-96,0-1-6-1	13,44	0	0,162	0	0	86,06	0,03	0,039	0	0	0	0	0,196	0	99,927	галенит
34-105,9-3-5-1	38,92	0	60,57	0	0,006	0	0	0	0,016	0,064	0,037	0,0161	0	0	99,674	пирротин
34-105,9-3-5-2	37,92	0,045	60,81	0,019	0	0	0,004	0,04	0,002	0,022	0	0,079	0	0	98,94	пирротин
34-105,9-3-6-2	48,81	1,34	43,89	0,139	0	0	0,019	0,043	0,016	0	0,059	0,02	0,05	0,017	94,404	пирит
34-105,9-3-6-3	49,74	2,68	44,78	0,0589	0,007	0	0	0,408	0,029	0	0	0,0436	0,0451	0	97,43	пирит
Золото самородное																
Бл-310/1	н.о.	н.о.	н.о.	0,118	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	24,777	н.о.	н.о.	н.о.	75,248	100,143	ЗОЛОТО
Бл-310/2	н.о.	н.о.	н.о.	0	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	24,775	н.о.	н.о.	н.о.	74,372	99,147	ЗОЛОТО
Бл-310/3	н.о.	н.о.	н.о.	0,015	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	24,461	н.о.	н.о.	н.о.	74,815	99,291	ЗОЛОТО
Предел обнаружения	0,0185	0,0228	0,0167	0,0131	0,0110	0,082	0,021	0,0815	0,0141	0,069	0,388	0,0128	0,0525	0,185	-	-

Таблица А2. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных ударно-механическим разрушением из кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 165 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Quartz 111/90.3	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.58	1.109
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.31	0.028
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.61	0.001
C6H14	2-Methylpentane	107-83-5	86	8.58	0.002
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.07	0.002
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.18	0.003
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.33	0.007
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.26	0.010
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.88	0.016
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.24	0.004
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.43	0.005
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.64	0.010
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	45.10	0.010
C15H32	3-Methyltetradecane	18435-22-8	212	53.38	0.017
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	55.36	0.010
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	71.72	0.034
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.11	0.003
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.70	0.001
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.87	0.003
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.45	0.004
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.63	0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.94	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.69	0.005
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.74	0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.79	0.004
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.98	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.94	0.004
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.61	0.005
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.01	0.004
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	34.16	0.004
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	38.27	0.006
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	44.57	0.011
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	54.56	0.013
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.25	0.003
C10H16	dl-Limonene	138-86-3	136	28.00	0.002
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.40	0.004
C7H8	Toluene	108-88-3	92	16.92	0.003
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.73	<0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.01	0.001
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.30	0.002
C8H10	o-Xylene	95-47-6	106	21.58	0.001

C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.86	0.001
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.90	0.001
C ₈ H ₉ F	3-Fluoro-o-xylene	443-82-3	124	22.28	<0.001
C ₈ H ₉ F	5-Fluoro-m-xylene	461-97-2	124	22.64	<0.001
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.91	0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.87	0.002
C ₁₀ H ₁₂	(2-Methyl-2-propenyl)benzene	3290-53-7	132	27.17	0.004
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.73	0.001
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	36.26	0.006
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.29	0.167
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.23	0.019
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.78	0.006
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.57	0.006
C ₅ H ₆ O ₂	2-Furanmethanol	98-00-0	98	18.99	0.001
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.44	0.009
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	25.95	0.001
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	27.20	0.001
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.03	0.003
C ₈ H ₁₀ O ₂	2-Phenoxyethanol	122-99-6	138	32.80	0.001
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.28	0.002
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydro-2H-pyran	110-87-2	84	16.44	0.003
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.13	0.003
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	26.92	0.002
C ₆ H ₁₀ O ₂	Tetrahydro-6-methyl-2H-pyran-2-one	823-22-3	114	29.61	0.010
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.62	0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.11	0.002
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.54	0.004
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.30	0.004
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalactone	104-67-6	184	50.04	0.054
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	73.20	0.005
C ₁₅ H ₂₈ O ₄	3-Methylbut-2-yl 3-methylpentyl ester succinic acid	(390641)	272	101.06	0.003
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl phthalate	131-16-8	250	131.92	0.026
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.07	0.134
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	6.98	0.003
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.28	0.007
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.39	0.001
C ₄ H ₈ O	2-methylpropanal	78-84-2	72	9.49	0.002
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.26	0.001
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.42	0.007
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.41	0.004
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	16.96	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.79	0.006
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.80	0.007
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.99	0.010
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.71	0.015

C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.54	0.004
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.88	0.215
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.44	0.024
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.73	0.025
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.77	0.010
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.86	0.006
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	53.62	0.009
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	68.79	0.010
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	93.85	0.018
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.32	0.012
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	9.96	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.34	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.37	0.002
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.16	0.004
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.69	0.001
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.52	0.003
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.71	0.004
C ₅ H ₆ O ₃	Dihydro-3-methyl-2,5-furandione	4100-80-5	114	25.90	0.014
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.57	0.015
C ₈ H ₁₄ O ₂	6-methyl-2,4-heptanedione	3002-23-1	142	29.51	0.001
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.11	0.014
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.38	0.006
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.13	0.068
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.19	0.006
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.98	0.004
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	47.53	0.006
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	52.02	0.013
C ₁₄ H ₂₈ O	3-Tetradecanone	629-23-2	212	62.91	0.043
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	66.55	0.021
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	90.17	0.055
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.14	0.182
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.46	0.004
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.12	0.022
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.16	0.006
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.11	0.014
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.60	0.048
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.13	0.020
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.23	0.037
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.84	0.036
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.24	0.030
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	51.50	0.006
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	64.70	0.177
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	122.43	0.143
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.33	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.16	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.98	<0.001

C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.68	<0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.31	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.17	0.002
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.53	0.639
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.51	0.131
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.52	0.009
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.04	<0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.21	0.007
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	14.81	0.007
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	14.91	0.001
C ₅ H ₇ N	3-Methyl-1H-pyrrole	616-43-3	81	14.78	<0.001
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	16.79	0.005
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.01	<0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.34	<0.001
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	19.97	<0.001
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.07	<0.001
C ₃ H ₄ N ₂	1H-Pyrazole	288-13-1	68	22.24	0.009
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	25.62	0.005
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	25.70	0.014
C ₆ H ₈ N ₂ O	2-Methoxy-6-methylpyrazine	2882-21-5	124	27.07	0.005
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.03	0.009
C ₁₁ H ₂₃ NO	Undecanamide	x	185	97.76	0.008
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.88	0.008
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.29	0.004
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.37	0.024
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.37	0.007
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	7.61	0.005
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.68	0.006
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	10.74	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.11	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.75	14.765
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.04	81.082
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.50	0.003

Примечание (здесь и далее):

¹CAS/(NIST) – уникальный численный идентификатор химических соединений, внесённых в реестр Chemical Abstracts Service (<https://www.cas.org>) или NIST number (a unique number given to each spectrum in the NIST archive);

²MW – номинальная масса;

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

⁴A – нормализованная площадь, отношение площади компонента газовой смеси к сумме площадей всех компонентов в хроматограмме.

Таблица А3. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных ударно-механическим разрушением из кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 149 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Quartz 7/96.0	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.72	6.086
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.47	0.082
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	4.23	0.019
C4H10	Isobutane	75-28-5	58	5.76	0.015
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.16	0.018
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	8.63	0.003
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.07	0.013
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.12	0.007
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	19.60	0.003
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.22	0.008
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.10	0.010
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.69	0.012
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.01	0.009
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.15	0.007
C13H28	6-Methyldodecane	6044-71-9	184	35.14	0.014
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.15	0.009
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	44.98	0.023
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	54.22	0.067
C16H34	5,8-Diethyldodecane	24251-86-3	226	60.55	0.021
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	68.96	0.021
C18H38	3-Methylheptadecane	6418-44-6	254	112.52	1.035
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.23	0.004
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.96	0.008
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.28	<0.001
C5H10	2-methyl-2-butene	513-35-9	70	8.19	0.003
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.33	0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.58	0.003
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.68	<0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.81	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.72	0.008
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.77	0.004
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.88	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.81	0.002
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.44	0.003
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.51	0.005
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.94	0.005
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.90	0.006
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	44.36	0.022
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	53.14	0.021
C16H32	1-Hexadecene	629-73-2	224	67.59	0.026
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C6H10	1-Methylcyclopentene	693-89-0	82	12.86	0.001
Arenes					

C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	12.71	0.011
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	17.09	0.006
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.73	<0.001
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.13	0.002
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	21.40	0.005
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.70	0.001
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	22.03	0.001
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.05	0.016
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.96	0.005
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.73	0.011
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.12	0.013
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.57	0.007
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.47	0.006
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.93	0.010
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.51	0.001
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	8.08	0.001
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	9.13	0.001
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.97	0.015
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.80	0.004
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.49	0.002
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.98	0.002
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.60	0.004
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.15	0.003
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	46.09	0.005
C ₁₃ H ₁₈ O ₂	Benzoic acid n-hexyl ester	6789-88-4	206	56.02	0.009
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid hept-2-yl ester	(368694)	220	58.88	0.007
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid hept-3-yl ester	(368767)	220	63.50	0.015
C ₁₃ H ₁₆ O ₂	Benzoic acid cyclohexyl ester	2412-73-9	204	70.99	0.033
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	74.22	0.155
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid heptyl ester	7155-12-6	220	78.08	0.030
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Butyl ester 4-propyl-benzoic acid	(439058)	220	88.01	0.014
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl phthalate	131-16-8	250	98.67	0.295
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.28	0.041
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.29	0.004
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.46	0.008
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.76	0.005
C ₄ H ₈ O	2-Methyl-propanal	78-84-2	72	9.79	0.007
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.54	0.005
C ₅ H ₈ O	2-Methyl-2-butenal	1115-11-3	84	13.47	0.001
C ₅ H ₁₀ O	3-methyl-butanal	590-86-3	86	13.77	0.003
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.72	0.003
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.50	0.005
C ₆ H ₁₀ O	2-Methyl-2-pentenal	623-36-9	98	18.15	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.37	0.003
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.07	0.013
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.20	0.008

C ₆ H ₆ O ₂	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	620-02-0	110	23.41	0.001
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.16	0.018
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.66	0.005
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.01	0.014
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.51	0.025
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.74	0.023
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.70	0.009
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.83	0.012
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	65.56	0.048
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	91.57	0.036
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.66	0.014
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.66	0.007
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.74	0.008
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.97	0.003
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.78	0.003
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.90	0.003
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	25.90	0.003
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.19	0.003
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.41	0.013
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	36.04	0.015
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.19	0.011
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.73	0.017
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.56	0.014
C ₁₅ H ₃₀ O	3-Pentadecanone	18787-66-1	226	79.35	0.059
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	87.86	0.033
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.36	0.096
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.45	0.003
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.00	0.047
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.10	0.004
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.03	0.011
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.53	0.054
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.99	0.014
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.99	0.109
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.67	0.016
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.76	0.054
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	54.20	0.072
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.61	0.164
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	n-Tridecanoic acid	638-53-9	214	88.96	0.011
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	2-Methyltridecanoic acid	x	228	110.81	0.027
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	118.55	0.081
Heterocyclic compounds					
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.34	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.09	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.16	0.004
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.62	1.389
CHNO	Hydrogen isocyanate	75-13-8	43	6.46	0.017

C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.89	0.010
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.05	0.011
C ₄ H ₆ N ₂	1-Methyl-1H-pyrazole	930-36-9	82	18.28	0.002
C ₆ H ₈ N ₂ O	2-Methoxy-6-methylpyrazine	2882-21-5	124	27.81	0.003
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.89	0.004
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.86	0.001
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.51	0.002
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.65	0.068
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.56	0.003
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.88	0.003
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.36	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.44	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.92	<0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.92	2.130
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.21	86.775
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.62	0.008
<i>Other</i>					
C ₄ H ₇ ClO	Butanoyl chloride	141-75-3	106	16.35	0.003

Таблица А4. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных ударно-механическим разрушением из арсенопирита (месторождение Благодатное, Енисейский край). 139 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	Arsenopyrite 7/96.0	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.72	1.513
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.45	0.020
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.02	0.009
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.07	0.008
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.17	0.009
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.03	0.011
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.63	0.007
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.96	0.011
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.09	0.006
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.09	0.013
C13H28	6-Methyldodecane	6044-71-9	184	35.45	0.020
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	44.23	0.318
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	50.77	0.036
C16H34	7-Methylpentadecane	6165-40-8	226	53.62	0.025
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	68.59	0.030
C17H36	7-Methylhexadecane	26730-20-1	240	75.34	0.078
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	93.19	0.040
C18H38	3-Methylheptadecane	6418-44-6	254	114.97	0.083
Olefins					
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.93	0.500
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.15	0.371
C5H10	2-Methyl-2-butene	513-35-9	70	8.31	0.002
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.54	0.091
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.66	0.010
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.96	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.69	0.004
C6H12	2,3-Dimethyl-2-butene	563-79-1	84	13.57	0.002
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.70	0.004
C8H16	3-Ethyl-2-methyl-2-pentene	19780-67-7	112	19.38	0.006
C8H16	2,3-Dimethyl-2-hexene	7145-20-2	112	19.52	0.014
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.82	0.028
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	19.93	0.022
C8H16	(E)-2-Octene	13389-42-9	112	20.03	0.010
C8H16	(Z)-2-Octene	7642-04-8	112	20.28	0.006
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.70	0.004
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.36	0.003
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.74	0.001
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.96	0.002
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.79	0.001
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.68	0.051
C6H12	Cyclohexane	110-82-7	84	15.74	0.006
Arenes					

C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	12.59	0.046
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	17.04	0.025
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.72	0.001
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.08	0.013
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	21.35	0.050
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.55	0.006
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.00	0.001
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	22.02	0.010
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.91	0.029
C ₉ H ₁₂	1-Ethyl-3-methylbenzene	620-14-4	120	25.11	0.003
C ₉ H ₁₂	1-Ethyl-4-methylbenzene	622-96-8	120	25.90	0.015
C ₉ H ₁₂	1-Ethyl-2-methylbenzene	611-14-3	120	26.69	0.020
C ₁₀ H ₁₄	o-Cymene	527-84-4	134	27.74	0.002
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.68	0.048
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.09	0.045
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.52	0.023
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.40	0.011
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	47.93	0.015
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	59.65	0.014
<i>Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	32.24	0.004
C ₁₁ H ₁₀	1-Methylnaphthalene	90-12-0	142	36.09	0.003
C ₁₁ H ₁₀	2-Methylnaphthalene	91-57-6	142	36.59	0.003
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.90	0.136
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.48	0.006
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	8.06	0.001
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	9.11	0.002
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.86	0.085
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.75	0.003
C ₈ H ₁₆ O	4-Ethylcyclohexanol	4534-74-1	128	28.03	0.002
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.49	<0.001
C ₆ H ₁₂ O	Tetrahydro-3-methyl-2H-pyran	26093-63-0	100	17.67	0.002
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.55	0.001
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.34	0.001
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	1-Methylethyl ester decanoic acid	2311-59-3	214	44.71	0.283
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.26	0.121
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.29	0.003
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.46	0.018
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.74	0.014
C ₄ H ₈ O	2-Methyl-propanal	78-84-2	72	9.76	0.002
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.54	0.025
C ₅ H ₈ O	(E)-2-Methyl-2-butenal	497-03-0	84	13.42	0.007
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.67	0.055
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.69	0.005
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.45	<0.001
C ₆ H ₁₀ O	2-Methyl-2-pentenal	623-36-9	98	18.12	0.001

C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.32	0.002
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.00	0.035
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.26	0.005
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	620-02-0	110	23.38	<0.001
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.11	0.008
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.60	0.007
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.96	0.005
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.46	0.005
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.71	0.006
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.65	0.003
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.53	<0.001
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.63	0.022
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.63	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.71	0.004
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.45	<0.001
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.75	0.002
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.85	0.005
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.14	0.002
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.36	0.004
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.97	0.014
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.09	0.005
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	87.49	0.022
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.44	0.027
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.49	0.001
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.13	0.010
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.10	0.003
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.06	0.002
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.54	0.025
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.01	0.004
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.96	0.120
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.60	0.009
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.73	0.078
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.12	0.312
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	117.63	0.087
Heterocyclic compounds					
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.31	0.001
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.59	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	14.57	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.10	0.001
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.62	0.367
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.88	0.007
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.86	0.002
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.90	0.005
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.45	0.011
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.46	2.371

CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.76	0.048
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.32	0.021
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.37	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.54	0.007
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.89	0.117
C ₈ H ₁₂ S	2-(1,1-Dimethylethyl)-thiophene	1689-78-7	140	27.13	0.001
C ₈ H ₁₂ S	3-(1,1-Dimethylethyl)-thiophene	1689-79-8	140	28.24	0.004
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.93	1.529
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.21	90.140
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.58	0.001

Таблица А5. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении арсенопирита (месторождение Благодатное, Енисейский край). 165 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Arsenopyrite BKS-10	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.73	3.503
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	4.30	0.003
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	5.88	0.003
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.73	0.006
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	11.21	0.066
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	15.04	0.003
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	18.97	0.006
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	22.75	0.008
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	26.24	0.004
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	29.51	0.003
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	32.52	0.002
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	35.69	0.008
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	40.32	0.011
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	47.38	0.013
Olefins					
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.58	0.001
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.71	0.001
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.76	0.001
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	7.98	<0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.09	<0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.28	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	10.96	0.052
C6H12	2-Hexene	592-43-8	84	11.12	0.017
C6H12	3-Hexene	592-47-2	84	11.29	0.004
C6H10	2,3-Dimethyl-1,3-butadiene	513-81-5	82	12.06	0.001
C6H10	3-Hexyne	928-49-4	82	12.32	<0.001
C6H10	1(E)-2-Methyl-3-pentadiene	926-54-5	82	12.61	<0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	14.74	0.002
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	18.70	0.001
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	22.50	0.002
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	26.06	0.001
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	35.55	0.005
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	40.05	0.007
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	47.01	0.014
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	11.44	<0.001
C6H10	4-Methylcyclopentene	1759-81-5	82	11.76	<0.001
C6H12	Cyclohexane	110-82-7	84	12.87	0.001
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	11.92	0.070
C7H8	Toluene	108-88-3	92	16.19	0.005
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	19.63	<0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	20.08	0.003

C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	20.37	0.011
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	20.58	0.002
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	20.65	0.002
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.07	0.001
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.81	<0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	23.80	0.005
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	27.46	0.005
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	30.76	0.006
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	33.89	0.004
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	37.77	0.006
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	43.55	0.007
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	52.52	0.006
C ₁₆ H ₂₆	Decylbenzene	104-72-3	218	66.58	0.008
<i>PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	31.16	0.001
C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	85-01-8	178	78.04	0.001
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.48	0.226
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.31	0.038
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.57	0.004
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.01	0.002
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	13.79	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.86	0.001
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	26.88	0.001
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.32	0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	33.57	0.001
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	37.39	0.001
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	42.97	0.002
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalatone	104-67-6	184	51.56	0.001
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl Phthalate	84-66-2	222	62.22	0.013
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	65.02	0.003
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Di-sec-butyl phthalate	(373654)	278	79.05	1.725
C ₁₃ H ₂₄ O ₂	γ-Tridecalactone	x	212	86.11	0.002
C ₁₄ H ₂₆ O ₂	γ-Tetradecalactone	x	226	119.89	0.012
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Dibutyl phthalate	84-74-2	278	124.69	0.008
C ₁₇ H ₃₀ O ₄	2-Heptyl isohexyl ester fumaric acid	(348625)	298	130.35	0.006
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	4.91	0.028
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.11	0.003
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.31	0.002
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.38	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.39	0.001
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.16	0.004
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.11	0.002
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.07	0.004
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.00	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.90	0.003
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.22	0.011
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.21	0.004

C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.41	0.005
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	24.56	0.004
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	25.90	0.006
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.33	0.002
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	29.29	0.012
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.42	0.013
C ₈ H ₆ O ₃	Piperonal	120-57-0	150	37.19	0.976
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	58.42	0.017
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	76.01	0.040
C ₁₆ H ₃₂ O	n-Hexadecanal	629-80-1	240	103.92	0.032
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.51	0.026
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.24	0.003
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.36	0.006
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	13.89	0.002
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.69	<0.001
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.02	0.003
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	21.95	0.003
C ₈ H ₁₆ O	3-Octanone	106-68-3	128	24.81	0.002
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	25.60	0.006
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	28.99	0.001
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	32.14	0.003
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.14	0.009
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	35.24	0.004
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	39.65	0.001
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	46.36	0.010
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	56.29	0.011
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	73.32	0.027
C ₁₆ H ₃₂ O	2-Hexadecanone	18787-63-8	240	99.47	0.010
<i>Carboxylic acids</i>					
CH ₂ O ₂	Formic acid	64-18-6	46	6.33	0.006
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	10.94	0.053
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	14.69	0.001
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	18.18	0.036
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	21.05	0.003
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	22.06	0.013
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	25.48	0.043
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	28.79	0.010
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	31.79	0.028
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	34.77	0.029
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	38.85	0.021
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	45.10	0.004
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	54.89	0.021
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	94.86	0.030
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.19	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	9.81	<0.001
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	9.86	<0.001
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	13.37	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	24.93	<0.001

Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.77	1.140
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.96	0.046
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.84	0.010
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.26	<0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.14	0.001
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.27	<0.001
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.39	0.004
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.19	0.002
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	17.94	<0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.42	<0.001
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.15	<0.001
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.58	0.002
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	30.47	0.001
C ₇ H ₁₅ NO	Heptanamide	628-62-6	129	33.57	<0.001
C ₈ H ₁₇ NO	Octanamide	629-01-6	143	37.29	0.001
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	42.63	0.001
C ₈ H ₁₃ NO	4-Cyclopropyl-4-methylpyrrolidin-2-one	(461078)	139	49.89	0.002
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	50.89	0.002
C ₁₂ H ₂₅ NO	Dodecanamide	1120-16-7	199	84.18	0.001
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.76	0.014
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.31	0.002
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.61	0.217
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.38	0.002
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.51	0.004
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	11.74	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	14.67	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	15.74	0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.09	0.001
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	33.74	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.95	1.484
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.16	89.515
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.72	0.006

Таблица А6. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 144 соединения.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Quartz 86/107.7	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.85	0.066
C8H18	2,2-Dimethylhexane	590-73-8	114	19.40	0.030
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.17	0.021
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.08	0.011
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.66	0.025
C13H28	2,4,6-Trimethyldecane	62108-27-4	184	30.99	0.023
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.44	0.361
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.15	0.014
C16H34	5,8-Diethyldodecane	24251-86-3	226	47.76	0.067
C16H34	3-Methylpentadecane	2882-96-4	226	63.23	0.115
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	87.81	0.264
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	116.85	0.046
Olefins					
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.95	1.005
C4H8	(E)-2-Butene	624-64-6	56	6.16	0.001
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.26	0.017
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.44	0.081
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.54	0.101
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.81	0.009
C6H8	1,3-Cyclohexadiene	592-57-4	80	11.97	0.094
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	13.06	0.017
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.70	0.015
C7H14	2-Heptene	592-77-8	98	16.10	0.019
C7H8	1,3,5-Cycloheptatriene	544-25-2	92	18.43	0.043
C8H16	(E)-3-Octene	14919-01-8	112	19.53	0.081
C8H16	2-Methyl-2-heptene	627-97-4	112	19.73	0.044
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	19.83	0.028
C8H16	(E)-2-Octene	13389-42-9	112	19.93	0.058
C8H16	(Z)-2-Octene	7642-04-8	112	20.07	0.022
C8H16	2-Octene	111-67-1	112	20.30	0.012
C8H14	2,5-Dimethyl-2,4-hexadiene	764-13-6	110	21.15	0.021
C9H18	(Z)-3-Nonene	20237-46-1	126	22.50	0.033
C9H18	3-Nonene	20063-77-8	126	22.86	0.306
C9H18	(E)-2-Nonene	6434-78-2	126	23.00	0.108
C9H18	(Z)-2-Nonene	6434-77-1	126	23.30	0.227
C9H18	2-Nonene	2216-38-8	126	23.60	0.217
C11H22	(E)-4-Methyl-4-decene	60366-66-7	154	30.77	0.008
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.90	0.028
C13H26	(Z)-_5-Tridecene	25524-42-9	182	36.75	0.052
C13H26	(E)-5-Tridecene	23051-84-5	182	37.14	0.022
C13H26	(Z)-4-Tridecene	41446-54-2	182	37.69	0.009
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.88	0.029
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	43.81	0.036
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	53.12	0.024

Cyclic hydrocarbons					
<i>Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes</i>					
C ₅ H ₁₀	Cyclopentane	287-92-3	70	8.54	0.133
C ₆ H ₁₂	Ethylcyclobutane	4806-61-5	84	12.67	0.019
C ₇ H ₁₄	Methylcyclohexane	108-87-2	98	18.10	1.931
<i>Arenes</i>					
C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	12.61	0.019
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	17.07	0.032
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.73	0.008
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	21.38	0.016
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.12	0.008
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.02	0.002
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	22.03	0.004
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.18	0.024
C ₈ H ₉ F	3-Fluoro-o-xylene	443-82-3	124	24.28	0.026
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.93	0.005
C ₉ H ₁₂ O	(Ethoxymethyl)benzene	539-30-0	136	28.69	0.017
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.09	0.019
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.47	0.009
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.93	0.040
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.51	0.014
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	8.06	0.013
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.86	0.089
C ₄ H ₁₀ O ₂	1-Methoxy-2-propanol	107-98-2	90	14.30	0.005
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.76	0.007
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	26.36	0.003
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	26.71	0.003
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	26.91	0.004
C ₉ H ₁₂ O	Benzenepropanol	122-97-4	136	35.57	0.021
C ₁₃ H ₂₈ O	n-Tridecan-1-ol	112-70-9	200	67.13	0.031
<i>Ethers and esters</i>					
C ₆ H ₁₂ O	Tetrahydro-3-methyl-2H-pyran	26093-63-0	100	17.69	0.028
C ₇ H ₁₀ O	1-Methoxy-1,3-cyclohexadiene	2161-90-2	110	23.18	0.018
C ₅ H ₆ O ₂	5,6-Dihydro-2H-pyran-2-one	3393-45-1	98	25.11	0.514
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.51	0.003
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	Isopropyl ester 3,5,5-trimethylhexanoic acid	(406051)	200	33.64	0.019
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.59	0.008
C ₁₁ H ₂₀ O ₃	Ethyl ester 2-acetylheptanoic acid	24317-94-0	200	38.73	0.064
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.12	0.010
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	Butyl ester 3,5,5-trimethylhexanoic acid	(406054)	214	42.78	0.030
C ₁₂ H ₂₆ O ₂	6,8-Doixatetradecane	(334828)	202	45.28	0.095
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.98	0.010
C ₁₃ H ₁₈ O ₂	2-Tert-butyl-4-methylphenol acetate	6950-09-0	206	52.37	0.023
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	58.23	0.062
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	73.95	0.009

C ₁₆ H ₃₂ O ₂	Heptyl ester 3,5,5-trimethylhexanoic acid	(406058)	256	95.55	16.153
C ₁₇ H ₃₄ O ₂	2-Ethylhexyl ester 3,5,5-trimethylhexanoic acid	(406822)	270	100.63	9.450
C ₁₅ H ₂₂ O ₂	Octyl ester benzoic acid	94-50-8	234	127.19	1.411
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.28	0.060
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.29	0.006
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.48	0.018
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.71	0.004
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.78	0.008
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.57	0.004
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.69	0.005
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.47	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.33	0.005
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.02	0.011
C ₆ H ₁₀ O	2-Methyl-2-pentenal	623-36-9	98	21.25	0.033
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.13	0.023
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.63	0.030
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.96	0.004
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.49	0.215
C ₉ H ₁₄ O	5-(Methylenecyclopropyl)-pentanal	(158491)	138	31.47	0.329
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.72	0.099
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.64	0.012
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.34	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.62	0.014
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.71	0.014
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	13.71	0.035
C ₆ H ₈ O	3-Methyl-2-cyclopenten-1-one	2758-18-1	96	23.90	0.163
C ₇ H ₁₀ O	2,3-Dimethyl-2-cyclopenten-1-one	1121-05-7	110	26.76	0.016
C ₇ H ₁₀ O	3-Ethyl-2-cyclopenten-1-one	5682-69-9	110	28.04	0.663
C ₇ H ₈ O ₃	3-Hydroxy-2,6-dimethyl-4H-pyran-4-one	2298-99-9	140	32.17	0.333
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.39	0.023
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.99	0.182
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	51.52	0.011
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.37	0.089
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.39	0.002
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.08	0.299
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.03	0.003
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.00	0.009
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.53	0.059
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.96	0.010
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.97	0.123
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.64	0.021
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.78	0.083
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.28	0.246
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	2-Methyldodecanoic acid	2874-74-0	214	68.43	0.009

Heterocyclic compounds					
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.31	0.002
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.57	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	14.50	0.006
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.13	0.006
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.62	0.718
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.93	0.029
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.46	0.007
C ₁₂ H ₁₅ NO	5-Ethyl-5-methyl-2-phenyl-2-oxazoline	91875-70-6	189	53.77	0.026
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.03	0.001
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.51	0.002
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.70	0.453
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.84	0.004
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.40	<0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.92	0.828
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.21	60.420
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.57	0.001

Таблица А7. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении пирротина (месторождение Благодатное, Енисейский край). 209 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Pyrrhotite 34/105.9	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.80	0.329
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	3.88	0.024
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	5.91	0.003
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.69	0.137
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	11.42	0.048
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	15.34	0.024
C8H18	3-Methylheptane	589-81-1	114	18.54	0.029
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	19.37	0.041
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	23.20	0.047
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	26.76	0.024
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.06	0.035
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	33.62	0.033
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	36.57	0.018
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	41.73	0.020
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	49.73	0.028
Halogenated paraffins					
C10H21Cl	1-Chlorodecane	1002-69-3	176	36.41	0.026
Olefins					
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.53	0.013
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.73	0.040
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.93	0.018
C4H8	(E)-2-Butene	624-64-6	56	6.03	0.012
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	7.78	0.005
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.16	0.018
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.63	0.004
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.12	0.002
C6H12	2-Hexene	592-43-8	84	11.29	0.001
C6H10	2,3-Dimethyl-1,3-butadiene	513-81-5	82	12.21	0.005
C6H10	3-Hexyne	928-49-4	82	12.46	0.002
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.76	0.002
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.00	0.016
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	18.73	0.006
C8H16	(E)-2-Octene	13389-42-9	112	18.97	0.004
C8H16	(Z)-2-Octene	7642-04-8	112	19.03	0.002
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.15	0.004
C8H16	2-Octene	111-67-1	112	19.25	0.001
C8H16	3-Methyl-2-heptene	3404-75-9	112	19.48	0.001
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	22.95	0.014
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	26.55	0.005
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	29.86	0.016
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.11	0.002
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	36.37	0.036
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	41.43	0.048
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	49.28	0.077
C16H32	1-Hexadecene	629-73-2	224	61.86	0.607

Cyclic hydrocarbons					
<i>Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes</i>					
C ₅ H ₁₀	Cyclopentane	287-92-3	70	8.28	0.013
C ₆ H ₁₀	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	11.56	0.004
C ₆ H ₁₀	4-Methylcyclopentene	1759-81-5	82	11.89	0.001
<i>Arenes</i>					
C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	11.97	0.009
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	16.32	0.024
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	19.92	0.001
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	20.30	0.014
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	20.57	0.057
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	20.67	0.004
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	20.85	0.003
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.25	0.004
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.88	0.029
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.08	0.020
C ₁₀ H ₁₂	3-Butenylbenzene	768-56-9	132	25.05	0.030
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	27.81	0.021
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	31.17	0.025
C ₁₂ H ₁₈	(2-Methylpentyl)-benzene	39916-61-5	162	31.56	0.020
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	34.37	0.030
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	38.59	0.035
C ₁₄ H ₂₂	1-(1-Ethylpropyl)-4-propylbenzene	54789-16-1	190	43.05	0.032
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	44.95	0.029
C ₁₅ H ₂₄	(2-Methyloctyl)-benzene	49826-80-4	204	53.35	0.073
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	54.90	0.070
C ₁₆ H ₂₆	Decylbenzene (1/2)	x	218	69.60	0.069
C ₁₆ H ₂₆	Decylbenzene (2/2)	104-72-3	218	70.79	0.047
<i>PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	31.36	0.004
C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	85-01-8	178	78.41	0.005
C ₁₄ H ₁₀	Anthracene	120-12-7	178	79.96	0.003
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.86	0.053
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.10	0.120
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.81	0.006
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.51	0.058
C ₆ H ₁₂ O	(E)-2-Hexen-1-ol	928-95-0	100	19.63	0.032
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.08	0.029
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	25.43	0.002
C ₆ H ₁₂ O ₂	Tetrahydro-2H-pyran-2-methanol	100-72-1	116	26.70	0.006
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	26.71	0.004
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	27.56	0.006
C ₁₀ H ₂₀ O	(E)-2-Decen-1-ol	18409-18-2	156	34.07	0.034
C ₁₄ H ₃₀ O	3-Tetradecanol	1653-32-3	214	52.41	0.010
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	13.92	0.035
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.60	0.005
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.00	0.004

C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.51	0.013
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	33.84	0.006
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	35.51	0.015
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	43.90	0.009
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalactone	104-67-6	184	51.65	0.010
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl Phthalate	84-66-2	222	52.73	0.004
C ₁₂ H ₂₀ O ₂	γ-6-(Z)-Dodecenolactone	18679-18-0	196	66.72	0.018
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	68.05	0.011
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	10-Methylundecan-5-olide	(370407)	198	73.85	0.019
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	δ-Dodecalactone	713-95-1	198	75.12	0.004
C ₁₃ H ₂₄ O ₂	γ-Tridecalactone	x	212	90.96	0.016
C ₁₄ H ₂₆ O ₂	γ-Tetradecalactone	x	226	129.48	0.181
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.20	0.102
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.09	0.009
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.34	0.027
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.36	0.005
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.43	0.004
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.18	0.008
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.24	0.001
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.19	0.015
C ₅ H ₈ O	3-Methyl-2-butenal	107-86-8	84	16.75	0.003
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	16.96	0.002
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.77	0.020
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.44	0.047
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.50	0.031
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.50	0.053
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	24.91	0.009
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.25	0.031
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.33	0.013
C ₇ H ₁₂ O	2-Ethyl-4-pentenal	5204-80-8	112	29.18	0.092
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	29.69	0.047
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	32.89	0.056
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Methylundecanal	110-41-8	184	38.84	0.004
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	47.68	0.105
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	60.43	0.062
C ₁₅ H ₃₀ O	13-Methyltetradecanal	75853-51-9	226	80.65	0.107
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	81.61	0.104
C ₁₆ H ₃₂ O	n-Hexadecanal	629-80-1	240	112.92	0.126
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.39	0.018
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.01	0.002
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.26	0.002
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.36	0.005
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	13.99	0.015
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.44	0.021
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.22	0.013
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.23	0.030
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.96	0.016
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	29.39	0.023
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	32.57	0.015
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	32.17	0.181

C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	35.92	0.017
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	40.73	0.017
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	46.60	0.073
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	48.21	0.048
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	58.61	0.045
C ₁₃ H ₁₆ O ₂	(1-Hydroxycyclohexyl) phenyl methanone	947-19-3	204	72.57	0.016
C ₁₅ H ₃₀ O	3-Methyl-2-tetradecanone	x	226	77.56	0.157
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	78.70	0.089
C ₁₆ H ₃₂ O	2-Hexadecanone	18787-63-8	240	108.41	0.108
<i>Carboxylic acids</i>					
CH ₂ O ₂	Formic acid	64-18-6	46	6.11	0.158
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	10.91	0.288
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	14.66	0.012
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	18.29	0.191
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	21.23	0.024
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	22.18	0.072
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	25.70	0.187
C ₇ H ₁₄ O ₂	3-Methylhexanoic acid	3780-58-3	130	28.09	0.158
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.04	0.086
C ₈ H ₁₆ O ₂	3-Methylheptanoic acid	59614-85-6	144	32.12	0.145
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.02	0.198
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	35.24	0.118
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	4-Methylnonanoic acid	45019-28-1	172	37.82	0.247
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	39.62	1.962
C ₈ H ₁₄ O ₃	3-Methoxycyclohexanecarboxylic acid	(453574)	158	41.97	0.017
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	3-Methyldecanoic acid	60308-82-9	186	45.00	0.031
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	46.55	0.050
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	3-Methylundecanoic acid	65781-38-6	200	56.13	0.088
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	57.10	0.383
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	n-Tridecanoic acid	638-53-9	214	74.63	0.106
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	101.88	1.191
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.22	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	9.83	0.018
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.11	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.44	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.22	0.002
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	21.52	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	25.30	0.002
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.78	1.271
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.95	0.054
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.43	0.179
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.19	0.003
C ₃ H ₈ N ₂	1,2-Dimethyldiaziridine	6794-95-2	72	10.77	0.018
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.12	0.010
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.10	0.029
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.22	0.008

C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.15	0.003
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	17.99	0.002
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.45	0.003
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.17	0.002
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.37	0.001
C ₄ H ₉ NO	2-Methylpropanamide	563-83-7	87	23.41	0.006
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	27.19	0.003
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	30.63	0.013
C ₇ H ₁₅ NO	Heptamide	628-62-6	129	33.82	0.003
C ₅ H ₇ NO ₂	2,6-Piperidinedione	1121-89-7	113	30.78	0.028
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	43.50	0.006
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	50.96	0.018
C ₁₁ H ₂₁ NO ₃	n-Propyl ester hexanoyl glycine	(453014)	215	71.52	0.006
C ₁₂ H ₂₅ NO	Dodecanamide	1120-16-7	199	89.16	0.042
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.73	0.359
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.30	0.004
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.58	3.284
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.35	0.069
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.68	0.087
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	11.76	0.004
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	14.74	0.006
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	15.84	0.008
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.17	0.011
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	20.87	0.002
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	34.19	0.014
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.88	10.034
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.18	73.454
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.67	0.008

Таблица А8. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кальцита (месторождение Благодатное, Енисейский край). 162 соединения.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	Calcite 35/178.1	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.70	0.345
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.73	<0.001
C6H14	2,3-Dimethylbutane	79-29-8	86	7.89	0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	11.41	0.003
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	15.34	0.004
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	18.78	0.001
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	19.37	0.005
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	23.20	0.007
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	26.76	0.005
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.04	0.003
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	33.11	0.002
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	36.55	0.004
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	41.68	0.004
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	47.38	0.008
C17H36	3-Methylhexadecane	6418-43-5	240	75.81	0.105
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	88.06	0.074
Olefins					
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.71	0.003
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.03	0.001
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.18	0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.31	<0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.64	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.12	0.002
C6H12	2-Hexene	592-43-8	84	11.26	<0.001
C7H14	2,4-Dimethyl-1-pentene	2213-32-3	98	12.11	0.003
C6H10	(E)-3-Methyl-1,3-pentadiene	2787-43-1	82	12.22	0.001
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.46	<0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	14.74	<0.001
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.07	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	22.95	0.002
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	26.53	0.002
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	29.84	0.002
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	36.34	0.005
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	41.40	0.008
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	49.21	0.012
C16H32	1-Hexadecene	629-73-2	224	61.68	0.013
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	11.59	<0.001
C6H10	4-Methylcyclopentene	1759-81-5	82	11.91	<0.001
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.01	0.006
C7H8	Toluene	108-88-3	92	16.34	0.003
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	19.95	<0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	20.32	0.001

C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	20.58	0.005
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	20.68	0.001
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	20.85	<0.001
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.23	0.001
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.93	<0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.10	0.001
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	27.81	0.002
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	31.17	0.002
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	34.39	0.003
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	38.62	0.003
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	44.96	0.004
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	54.86	0.004
C ₁₆ H ₂₆	Decylbenzene	104-72-3	218	70.46	<0.001
<i>PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	31.36	<0.001
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.41	0.136
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.28	0.031
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.57	0.004
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.10	0.003
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydro-2H-pyran	110-87-2	84	12.99	<0.001
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	13.96	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.68	<0.001
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.04	<0.001
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.57	<0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	33.89	0.001
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	37.90	0.001
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	43.96	0.001
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalatone	104-67-6	184	53.29	0.001
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl Phthalate	84-66-2	222	56.29	0.314
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	68.16	0.001
C ₁₄ H ₂₆ O ₂	γ-Tetradecalactone	x	226	129.61	0.004
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Dibutyl phthalate	84-74-2	278	92.79	0.637
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.20	0.257
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.13	0.003
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.29	0.001
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.43	0.006
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.44	0.007
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.21	0.001
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	11.84	0.001
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.26	0.003
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.22	0.002
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.05	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.95	0.002
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.47	0.007
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.53	0.003
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.53	0.006
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	24.93	0.002
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.26	0.003

C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.39	0.002
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	29.71	0.005
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	32.89	0.094
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	81.49	0.013
C ₁₆ H ₃₂ O	n-Hexadecanal	629-80-1	240	112.84	0.018
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.51	0.006
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.31	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.36	0.001
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.06	<0.001
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.50	0.002
C ₃ H ₆ O ₂	1-Hydroxy-2-propanone	116-09-6	74	15.92	0.002
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.25	0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.27	0.004
C ₈ H ₁₆ O	3-Octanone	106-68-3	128	25.20	0.002
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	25.98	0.001
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	29.39	0.001
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	32.57	0.002
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.30	0.014
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	35.89	0.004
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	40.72	0.003
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	48.16	0.004
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	59.94	0.005
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	78.86	0.019
C ₁₆ H ₃₂ O	2-Hexadecanone	18787-63-8	240	108.31	0.013
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	10.96	0.041
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	14.80	0.001
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	18.39	0.018
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	21.32	0.002
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	22.25	0.012
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	25.70	0.067
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.06	0.021
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.12	0.043
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	35.22	0.061
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	39.67	0.037
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	46.63	0.022
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	57.37	0.031
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	102.70	0.049
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.19	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	9.86	<0.001
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.16	<0.001
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.51	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	25.28	<0.001
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	28.79	<0.001
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.83	23.184
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.81	0.066
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.81	0.014

C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.24	<0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.17	0.002
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.32	0.001
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.27	0.007
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.25	0.002
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.04	<0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.57	<0.001
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.27	<0.001
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.53	<0.001
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	27.28	<0.001
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.59	0.003
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	30.71	0.001
C ₇ H ₁₅ NO	Heptanamide	628-62-6	129	33.87	<0.001
C ₈ H ₁₇ NO	Octanamide	629-01-6	143	37.80	0.001
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	43.55	0.001
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	52.53	0.002
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.75	0.009
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.20	0.001
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.00	0.164
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.33	0.045
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.51	0.003
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	11.77	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	14.75	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	15.85	<0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.22	<0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.87	15.089
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.28	58.672
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.62	0.003

Таблица А9. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 135 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	Quartz 86/241.4	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.72	3.914
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.48	0.045
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.16	0.012
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	8.61	0.060
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.07	0.011
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.12	0.010
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.20	0.013
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.10	0.016
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.68	0.016
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.01	0.012
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.12	0.009
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.15	0.014
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	44.25	0.014
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	53.81	0.016
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	109.86	0.737
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.18	0.006
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.95	0.011
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.31	0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.58	0.007
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.79	<0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.86	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.72	0.010
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.75	0.058
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.87	0.005
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.81	0.005
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.44	0.006
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.51	0.005
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.90	0.013
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	43.85	0.016
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	53.22	0.033
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.06	<0.001
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.61	0.019
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.07	0.005
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.75	<0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.13	0.004
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.40	0.007
C8H10	o-Xylene	95-47-6	106	21.70	0.003
C8H10	m-Xylene	108-38-3	106	22.03	0.004
C8H8	Styrene	100-42-5	104	22.05	0.002
C9H12	Propylbenzene	103-65-1	120	24.96	0.009
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	28.73	0.029

C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.12	0.027
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.55	0.020
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.50	0.017
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	48.08	0.018
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.61	0.221
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.41	0.033
C ₃ H ₆ O	2-Propen-1-ol	107-18-6	58	8.86	0.005
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.97	0.017
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.78	0.008
C ₆ H ₅ FS	4-Fluorothiophenol	371-42-6	128	28.33	0.004
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.52	0.003
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.97	0.002
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.62	0.008
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.15	0.004
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	46.06	0.014
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	74.12	0.034
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	71.26	0.445
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Diisobutyl phthalate	84-69-5	278	113.75	0.213
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.30	0.107
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.28	0.011
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.48	0.003
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.73	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.78	0.001
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.56	0.001
C ₅ H ₈ O	2-Methyl-2-butenal	1115-11-3	84	13.47	<0.001
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.76	0.005
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.72	0.003
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.50	0.001
C ₆ H ₁₀ O	2-Methyl-2-pentenal	623-36-9	98	18.15	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.37	0.014
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.07	0.016
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.18	0.011
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	620-02-0	110	23.40	0.002
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.15	0.021
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.66	0.005
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.99	0.017
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.51	0.026
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.74	0.033
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.72	0.016
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.65	0.016
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	52.92	0.016
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	67.63	0.033
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	91.67	0.067
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.66	0.037
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.66	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.72	0.002

C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.95	0.003
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.80	0.003
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.90	0.005
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	25.90	0.005
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.19	0.008
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.41	0.008
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	36.04	0.058
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.19	0.020
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.83	0.009
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.57	0.023
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	65.35	0.027
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	87.91	0.066
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.37	0.155
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.39	0.004
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.02	0.110
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.15	0.010
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.06	0.019
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.55	0.119
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.01	0.023
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.99	0.292
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.72	0.039
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.77	0.120
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.53	0.176
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	118.55	0.102
Heterocyclic compounds					
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.33	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.05	0.001
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	18.25	0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	22.33	0.002
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.16	0.002
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.62	2.102
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.89	0.012
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.09	0.014
C ₆ H ₈ N ₂ O	2-Methoxy-6-methyl-pyrazine	2882-21-5	124	27.81	0.022
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.89	0.008
C ₇ H ₁₅ NO	Heptanamide	628-62-6	129	31.12	0.003
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	38.83	0.007
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	55.74	0.008
C ₁₃ H ₂₇ NO	Tridecanamide	34778-57-9	213	98.60	0.014
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.88	0.001
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.53	0.004
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.46	0.161
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.56	0.016
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.88	0.006
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.36	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.44	<0.001

C ₆ H ₅ FS	4-Fluorothiophenol	371-42-6	128	28.33	0.004
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.92	9.470
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.20	80.020
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.58	0.002

Таблица А10. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении арсенопирита (месторождение Благодатное, Енисейский край). 158 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Arsenopyrite 112/191.2	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.72	1.166
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.58	0.005
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.16	0.003
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	8.63	0.003
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.06	0.004
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.09	0.002
C9H20	2,6-Dimethylheptane	1072-05-5	128	17.54	0.002
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	19.58	0.009
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.18	0.003
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.06	0.004
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.64	0.004
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.96	0.002
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.07	0.002
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.07	0.003
C14H30	3-Methyltridecane	6418-41-3	198	42.20	0.047
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	44.13	0.004
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	53.65	0.005
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	66.66	0.050
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	95.72	0.010
C18H38	4-Methylheptadecane	26429-11-8	254	106.19	0.041
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.46	0.005
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.78	0.002
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.96	0.008
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.19	0.003
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.49	0.003
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.73	0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.79	<0.001
C6H12	2-Methyl-2-pentene	625-27-4	84	11.04	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.67	0.003
C6H12	3-Methyl-2-pentene	922-61-2	84	11.77	0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.74	0.001
C8H16	4-Methyl-3-heptene	4485-16-9	112	19.43	0.002
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.75	0.007
C8H16	(E)-4-Octene	14850-23-8	112	19.97	0.007
C8H16	2-Octene	111-67-1	112	20.28	0.003
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.78	0.002
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.44	0.001
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.77	0.001
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.87	0.001
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.80	0.002
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	52.94	0.009
C16H32	1-Hexadecene	629-73-2	224	65.15	0.010
C17H34	1-Heptadecene	6765-39-5	238	92.97	0.007

Cyclic hydrocarbons					
<i>PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	32.29	0.003
C ₁₁ H ₁₀	1-Methylnaphthalene	90-12-0	142	36.10	0.001
C ₁₁ H ₁₀	2-Methylnaphthalene	91-57-6	142	36.64	0.002
C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	85-01-8	178	88.92	0.002
<i>Arenes</i>					
C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	12.62	0.006
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	17.09	0.002
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.73	<0.001
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.13	0.001
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	21.38	0.009
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.63	0.004
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	22.03	0.002
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.05	0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.95	0.001
C ₁₀ H ₁₄	p-Cymene	99-87-6	134	27.79	0.006
C ₁₀ H ₁₄	o-Cymene	527-84-4	134	28.71	0.001
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.71	0.003
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.12	0.004
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.52	0.002
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.88	0.051
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.51	0.007
C ₃ H ₈ O	2-Propanol	67-63-0	60	8.09	0.001
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	9.13	0.001
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.92	0.005
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.80	0.002
C ₈ H ₁₈ O	2-Ethyl-1-hexanol	104-76-7	130	28.18	0.015
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.50	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.00	<0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.59	0.001
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.13	0.002
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.94	0.002
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	74.05	0.002
C ₁₃ H ₁₆ O ₂	Cyclohexyl ester benzoic acid	2412-73-9	204	86.83	0.003
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Heptyl ester benzoic acid	7155-12-6	220	95.07	0.014
C ₁₅ H ₂₂ O ₂	Octyl ester benzoic acid	94-50-8	234	109.22	0.013
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Diisobutyl phthalate	84-69-5	278	129.19	0.067
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	4.91	0.034
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.19	0.001
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.59	0.005
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.71	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.79	0.002
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.59	0.004
C ₅ H ₈ O	2-Methyl-2-butenal	1115-11-3	84	13.49	<0.001
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.74	0.002
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.72	0.001

C ₅ H ₈ O	3-Methyl-2-butenal	107-86-8	84	17.22	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.52	<0.001
C ₆ H ₁₀ O	2-Methyl-2-pentenal	623-36-9	98	18.17	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.38	0.001
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.05	0.004
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.18	0.002
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	620-02-0	110	23.45	<0.001
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.16	0.009
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.65	0.016
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.99	0.004
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.47	0.005
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.72	0.005
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.69	0.004
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.53	0.004
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	90.89	0.011
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.68	0.007
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.66	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.74	0.003
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.99	<0.001
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.78	0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.88	0.002
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	25.68	0.003
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.16	0.001
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.37	0.001
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	36.04	0.015
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.17	0.002
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.42	0.006
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	61.23	0.008
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	87.38	0.011
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.39	0.023
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.37	0.001
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.03	0.014
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.07	0.001
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.01	0.004
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.53	0.015
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.93	0.004
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.99	0.017
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.50	0.012
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.75	0.016
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	50.01	0.001
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.75	0.025
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	118.95	0.031
Heterocyclic compounds					
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.36	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	14.17	0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	22.31	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.13	0.002

Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.65	0.408
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.86	0.030
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.74	0.005
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.60	0.001
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.35	0.001
C ₆ H ₈ N ₂ O	2-Methoxy-6-methyl-pyrazine	2882-21-5	124	27.83	0.001
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.93	0.001
C ₇ H ₁₅ NO	Heptanamide	628-62-6	129	31.12	<0.001
C ₈ H ₁₇ NO	N-hexylacetamide	7501-79-3	143	34.44	<0.001
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	38.82	0.001
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	55.60	0.001
C ₁₃ H ₂₇ NO ₂	Octyl ester N-methyl-N-propylarbamic acid	(437270)	229	68.54	0.009
C ₁₃ H ₂₇ NO	Tridecanamide	34778-57-9	213	97.87	0.002
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.90	0.001
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.36	0.026
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.69	0.001
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.39	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.42	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.57	<0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.92	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.92	1.047
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.11	96.402
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.65	0.001
Unknown compounds					
	Unknown			101.81	0.028
	Unknown			118.35	0.007

Таблица А11. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении пирита (месторождение Благодатное, Енисейский край). 152 соединения.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	Pyrite 100/216.5	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.72	1.207
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.70	0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.02	0.011
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.05	0.005
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.15	0.008
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.03	0.008
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.61	0.006
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.94	0.007
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.05	0.004
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.03	0.006
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	44.10	0.007
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	53.57	0.014
Halogenated paraffins					
C4H9Cl	1-Chlorobutane	109-69-3	92	12.64	0.003
Olefins					
C2H2	Acetylene	74-86-2	26	2.22	0.002
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.43	0.006
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.93	0.017
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.15	0.004
C5H10	2-Methyl-2-butene	513-35-9	70	8.29	0.004
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.54	0.007
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.64	0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	9.04	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.67	0.004
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.70	0.003
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	19.55	0.001
C8H16	(E)-2-Octene	13389-42-9	112	19.72	0.001
C8H16	(Z)-2-Octene	7642-04-8	112	19.83	0.002
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.95	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.75	0.001
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.39	0.002
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.74	0.002
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.89	0.001
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.79	0.004
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	43.68	0.004
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	52.97	0.025
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.66	0.003
C6H12	Cyclohexane	110-82-7	84	15.74	0.002
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.59	0.017
C7H8	Toluene)	108-88-3	92	17.04	0.003
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.70	<0.001

C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.08	0.002
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	21.35	0.004
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.53	<0.001
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.60	<0.001
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.00	0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.90	0.005
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.66	0.010
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.06	0.011
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.52	0.003
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.40	0.003
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	59.58	0.002
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.48	0.088
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.35	0.003
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	8.04	<0.001
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	9.11	0.002
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.91	0.018
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.73	0.003
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	27.44	<0.001
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.28	0.001
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.45	<0.001
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	31.07	<0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.54	0.004
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.05	0.002
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.86	0.004
C ₁₂ H ₁₆ O ₂	Pentyl ester benzoic acid	2049-96-9	192	49.48	0.014
C ₁₃ H ₁₈ O ₂	Hexyl ester benzoic acid	6789-88-4	206	59.18	0.007
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	69.49	0.038
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	73.60	0.011
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl ester 1,2-benzenedicarboxylic acid	131-16-8	250	111.32	0.080
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.26	0.030
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.24	0.007
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.46	0.020
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.73	0.003
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.74	0.001
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.54	0.003
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.67	0.004
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.65	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.45	<0.001
C ₆ H ₁₀ O	2-Methyl-2-pentenal	623-36-9	98	18.10	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.32	0.003
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.00	0.008
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.13	0.004
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methyl-2-furancarboxaldehyde	620-02-0	110	23.38	0.001
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.74	0.002
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.10	0.011
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.61	0.038

C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.94	0.010
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.44	0.013
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.67	0.018
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.60	0.006
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.45	0.007
C ₁₁ H ₁₄ O	Benzenepentanal	36884-28-3	162	45.60	0.002
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	67.13	0.016
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	90.84	0.020
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.63	0.015
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.62	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.69	0.001
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.45	0.002
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.73	0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.83	0.003
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.64	0.002
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.13	0.001
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.34	0.002
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.94	0.022
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.09	0.006
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.68	0.003
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.37	0.010
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	64.96	0.010
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	87.03	0.030
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.36	0.052
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.39	0.001
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.03	0.022
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.07	0.002
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.06	0.006
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.49	0.045
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.98	0.009
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.89	0.178
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.60	0.011
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.65	0.094
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.06	0.204
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	118.88	0.043
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.69	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.31	0.001
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.57	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	14.14	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.10	0.001
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.62	0.608
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.86	0.025
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.88	0.003
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.43	<0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.62	0.001
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.52	0.001

C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.44	0.004
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.45	<0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.83	<0.001
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.55	<0.001
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.67	<0.001
C ₈ H ₁₉ N	3-Octanamine	24552-04-3	129	25.81	0.001
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.86	0.003
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	38.70	0.005
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	x	157	55.42	0.004
C ₁₁ H ₂₃ NO	Undecanamide	x	185	97.62	0.009
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.86	0.022
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.51	0.004
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.06	0.576
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.06	0.144
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.84	0.008
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.35	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.54	0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.89	0.018
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.88	1.533
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.21	94.294
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.60	0.009

Таблица A12. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 175 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Quartz 111/60.8	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.61	0.022
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.75	0.042
C6H14	2-Methylpentane	107-83-5	86	8.65	0.004
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.17	0.012
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.29	0.012
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.45	0.039
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.37	0.031
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.00	0.090
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.37	0.030
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.56	0.019
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.87	0.044
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	45.49	0.020
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	55.89	0.032
C16H34	5-Methylpentadecane	25117-33-3	226	65.85	0.511
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	72.73	0.038
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	110.52	0.143
Olefins					
C2H2	Acetylene	74-86-2	26	2.08	0.007
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.36	0.012
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.94	0.009
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.50	0.018
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.80	0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	9.04	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.79	0.016
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.87	0.005
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.89	0.009
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.07	0.009
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	24.06	0.008
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.73	0.017
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.12	0.006
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	34.33	0.007
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	38.54	0.020
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	44.90	0.021
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	55.10	0.054
C17H34	1-Heptadecene	6765-39-5	238	99.77	0.173
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.31	0.010
C10H16	dl-Limonene	138-86-3	136	28.13	0.010
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.54	0.013
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.06	0.012
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.86	0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.16	0.003

C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	21.30	0.014
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.50	0.001
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.66	0.002
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.03	0.003
C ₈ H ₉ F	3-Fluoro-o-xylene	443-82-3	124	22.43	<0.001
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	23.13	0.004
C ₈ H ₉ F	5-Fluoro-m-xylene	461-97-2	124	23.28	0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.87	0.003
C ₁₀ H ₁₂	(2-methyl-2-propenyl)benzene	3290-53-7	132	27.37	0.005
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.86	0.008
C ₁₀ H ₁₂	2-Butenylbenzene	1560-06-1	132	29.26	0.007
C ₁₅ H ₂₂	1-(1,5-Dimethyl-4-hexenyl)-4-methylbenzene	644-30-4	202	52.05	0.010
C ₁₁ H ₁₄ O ₂	(Z)-1,2-Dimethoxy-4-propenylbenzene	6380-24-1	178	53.63	0.030
<i>Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)</i>					
C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	85-01-8	178	88.53	0.004
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.29	0.350
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.15	0.072
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.90	0.010
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	8.91	0.006
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.70	0.023
C ₅ H ₆ O ₂	2-Furanmethanol	98-00-0	98	19.17	0.005
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.61	0.045
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	26.13	0.002
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	27.37	0.003
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.21	0.016
C ₈ H ₁₀ O ₂	2-Phenoxyethanol	122-99-6	138	32.97	0.015
C ₁₂ H ₂₄ O	1-Methylcycloundecanol	76154-15-9	184	57.17	0.227
C ₁₁ H ₁₆ O ₂	4-Pentylresorcinol	533-24-4	180	83.89	0.038
C ₁₁ H ₁₆ O ₂	5-Pentylresorcinol	500-66-3	180	92.12	0.093
C ₁₂ H ₁₈ O ₂	2-Hexylresorcinol	x	194	100.17	0.265
C ₁₂ H ₁₈ O ₂	4-Hexylresorcinol	136-77-6	194	107.70	0.236
C ₁₂ H ₁₈ O ₂	5-Hexylresorcinol	x	194	117.92	0.082
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.43	0.005
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydro-2H-pyran	110-87-2	84	16.64	0.014
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.42	0.006
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.17	0.006
C ₆ H ₁₀ O ₂	δ-Hexalactone	823-22-3	114	29.88	0.031
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.36	0.010
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.92	0.014
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.87	0.009
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl Phthalate	84-66-2	222	69.53	0.032
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	74.66	0.018
C ₁₅ H ₃₀ O ₂	3-Methylbutyl ester pentadecanoic acid	2306-91-4	242	86.90	1.434
C ₁₆ H ₃₀ O ₄	Di(2-methylpent-3-yl) ester succinic acid	(349400)	286	116.57	0.060
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl ester 1,2-benzenedicarboxylic acid	131-16-8	250	127.73	1.051

<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	4.76	0.366
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.10	0.011
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.37	0.036
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.54	0.013
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.61	0.005
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.39	0.003
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.57	0.026
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.58	0.017
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.16	0.002
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.01	0.028
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.97	0.025
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.16	0.035
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.91	0.040
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.69	0.014
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.05	0.038
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.32	0.012
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.44	0.090
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.90	0.109
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.99	0.249
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	44.21	0.030
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	54.01	0.042
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	69.92	0.070
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	95.46	0.147
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.43	0.031
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.11	0.009
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.49	0.096
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.52	0.004
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.33	0.013
C ₃ H ₆ O ₂	1-Hydroxy- 2-propanone	116-09-6	74	16.03	0.008
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.89	0.011
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.70	0.015
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.86	0.017
C ₅ H ₈ O ₂	3-Methyldihydro-2(3H)-furanone	1679-47-6	100	26.17	0.045
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.72	0.048
C ₈ H ₁₄ O ₂	6-Methyl-2,4-heptanedione	3002-23-1	142	29.78	0.005
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.27	0.044
C ₈ H ₁₄ O ₂	2,4-Octanedione	14090-87-0	142	30.86	0.014
C ₉ H ₁₀ O	1-(2-Methylphenyl)-ethanone	577-16-2	134	32.07	0.008
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.55	0.052
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.46	0.036
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.46	0.050
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	43.39	0.036
C ₁₃ H ₂₂ O	6,10-Dimethyl-5,9-undecadien-2-one	689-67-8	194	47.93	0.031
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	52.75	0.039
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	67.53	0.044
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	91.69	0.175
<i>Carboxylic acids</i>					

C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.22	0.292
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.49	0.008
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.14	0.069
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.19	0.027
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.18	0.036
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.70	0.149
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.22	0.042
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.38	0.083
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	37.09	0.125
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	43.13	0.059
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	52.77	<0.001
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	67.30	0.078
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	125.34	0.190
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.50	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.27	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.93	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.30	0.005
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.55	0.748
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.61	0.091
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.50	0.054
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.19	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.38	0.022
C ₅ H ₇ N	3-Methyl-1H-pyrrole	616-43-3	81	14.93	0.002
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	15.06	0.066
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.11	0.005
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.02	0.054
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.20	0.002
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.54	0.002
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.18	0.004
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.93	0.002
C ₃ H ₄ N ₂	1H-Pyrazole	288-13-1	68	22.48	0.017
C ₅ H ₁₁ NO	3-Methylbutanamide	541-46-8	101	23.01	0.005
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	25.87	0.012
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	26.02	0.016
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.30	0.021
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.03	0.004
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.56	0.002
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.02	0.047
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.44	0.024
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	7.71	0.001
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.78	0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.26	0.002
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.81	5.495
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	2.99	84.096
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.55	0.005

Таблица А13. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 165 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Quartz 111/76.5	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.66	1.552
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.31	0.019
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.60	0.141
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.07	0.014
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.19	0.002
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.35	0.057
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.26	0.064
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.90	0.122
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.26	0.031
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.43	0.024
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.64	0.030
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	45.14	0.058
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	55.45	0.057
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	71.90	0.048
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	98.82	0.041
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.01	0.003
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.69	0.024
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.89	0.026
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.46	0.051
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.66	0.010
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.69	0.038
C6H10	(E)-2-methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.77	0.005
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.81	0.020
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.97	0.012
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.96	0.019
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.63	0.021
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.01	0.019
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	34.18	0.031
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	38.32	0.033
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	44.59	0.037
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	54.68	0.169
C17H34	1-Heptadecene	6765-39-5	238	96.79	0.035
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.25	0.022
C10H16	dl-Limonene	138-86-3	136	28.00	0.016
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.42	0.032
C7H8	Toluene	108-88-3	92	16.91	0.014
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.78	0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.01	0.007
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.30	0.022
C8H10	o-Xylene	95-47-6	106	21.60	0.006

C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.91	0.006
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.85	0.008
C ₈ H ₉ F	3-Fluoro-o-xylene	443-82-3	124	22.23	0.006
C ₈ H ₉ F	5-Fluoro-m-xylene	461-97-2	124	22.64	0.001
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.91	0.003
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.91	0.008
C ₁₀ H ₁₂	(2-Methyl-2-propenyl)-benzene	3290-53-7	132	27.18	0.008
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.73	0.021
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.17	0.026
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.16	0.900
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.09	0.017
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.81	0.008
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	8.81	0.007
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.57	0.013
C ₅ H ₆ O ₂	2-Furanmethanol	98-00-0	98	19.00	0.003
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.46	0.045
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	25.99	0.004
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	27.22	0.006
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.06	0.013
C ₈ H ₁₀ O ₂	2-Phenoxyethanol	122-99-6	138	32.80	0.008
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.28	0.008
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydro-2H-pyran	110-87-2	84	16.44	0.020
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.17	0.005
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	26.95	0.011
C ₆ H ₁₀ O ₂	δ-Hexalactone	823-22-3	114	29.63	0.054
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.66	0.005
C ₁₁ H ₁₆ O	1-(1,1-Dimethylethyl)-4-methoxy-benzene	5396-38-3	164	34.00	0.145
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.15	0.011
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.57	0.015
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.34	0.021
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalactone	104-67-6	184	55.98	0.004
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	73.30	0.024
C ₁₅ H ₂₈ O ₄	3-Methylbut-2-yl 3-methylpentyl ester succinic acid	(390641)	272	101.21	0.021
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	4.94	0.049
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.00	0.017
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.25	0.031
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.41	0.022
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.49	0.012
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.24	0.006
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.43	0.035
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.41	0.024
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	16.99	0.002
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.82	0.032
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.80	0.044
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.01	0.036

C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.72	0.061
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.54	0.009
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.88	0.118
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.44	0.167
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.73	0.167
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.77	0.060
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.82	0.065
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	53.48	0.085
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	68.98	0.090
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	93.88	0.110
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.33	0.037
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	9.98	0.004
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.33	0.003
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.37	0.008
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.18	0.018
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.73	0.005
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.54	0.011
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.71	0.017
C ₅ H ₆ O ₃	Dihydro-3-methyl-2,5-furandione	4100-80-5	114	25.94	0.041
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.57	0.068
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.13	0.047
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.38	0.048
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.13	0.032
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.24	0.023
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.96	0.014
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	47.53	0.014
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.97	0.092
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	66.85	0.058
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	90.06	0.207
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.17	0.260
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.51	0.016
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.02	0.174
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.10	0.018
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.13	0.064
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.62	0.229
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.16	0.076
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.23	0.156
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.93	0.098
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.46	0.098
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	51.87	0.017
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	65.14	0.185
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	123.27	2.698
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.37	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.14	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.98	<0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.68	<0.001

C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.29	0.003
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.19	0.005
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.53	5.025
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.53	0.069
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.06	0.002
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.22	0.013
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	14.81	0.054
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	14.93	0.005
C ₅ H ₇ N	3-Methyl-1H-pyrrole	616-43-3	81	14.78	0.001
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	16.81	0.038
C ₆ H ₉ N	2,3-dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.04	0.002
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.37	0.002
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.00	0.002
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.10	0.003
C ₃ H ₄ N ₂	1H-Pyrazole	288-13-1	68	22.25	0.018
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	25.62	0.020
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	25.75	0.021
C ₆ H ₈ N ₂ O	2-Methoxy-6-methyl-pyrazine	2882-21-5	124	27.08	0.022
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.03	0.038
C ₁₀ H ₁₁ NO ₄	Acetate 3-nitrobenzeneethanol	68527-46-8	209	96.09	0.369
C ₁₁ H ₂₃ NO	Undecanamide	x	185	97.87	0.059
C ₁₂ H ₂₅ NO	Dodecanamide	1120-16-7	199	128.71	0.041
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.69	0.004
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.33	0.004
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.37	0.115
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.37	0.006
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.67	0.003
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	10.84	0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.15	0.003
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	15.79	0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	17.89	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.73	8.451
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	2.94	75.079
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.50	0.048

Таблица A14. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 165 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Quartz 111/120.6	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.60	0.746
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.34	0.015
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	3.99	0.004
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.60	0.038
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.05	0.001
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.19	0.011
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.33	0.021
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.26	0.022
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.81	0.124
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.24	0.012
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.95	0.080
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.64	0.026
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	45.14	0.044
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	55.40	0.032
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	71.94	0.073
C17H36	7-Methylhexadecane	26730-20-1	240	78.85	0.103
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	98.72	0.004
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.03	0.004
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-11-7	56	5.74	0.003
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.87	0.010
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.45	0.020
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.69	0.001
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.77	0.004
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.79	0.014
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.60	0.013
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.94	0.009
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.61	0.010
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.01	0.010
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	34.20	0.021
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	38.32	0.009
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	44.67	0.029
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	54.60	0.068
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.23	0.002
C10H16	dl-Limonene	138-86-3	136	28.00	0.004
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.40	0.014
C7H8	Toluene	108-88-3	92	16.91	0.007
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.72	0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.01	0.003
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.30	0.008
C8H10	o-Xylene	95-47-6	106	21.48	0.002

C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.86	0.005
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.90	0.003
C ₈ H ₉ F	3-Fluoro-o-xylene	443-82-3	124	22.23	<0.001
C ₈ H ₉ F	5-Fluoro-m-xylene	461-97-2	124	23.71	<0.001
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.89	0.002
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.89	0.002
C ₁₀ H ₁₂	(2-Methyl-2-propenyl)-benzene	3290-53-7	132	27.15	0.005
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.71	0.004
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.14	<0.001
C ₁₁ H ₁₄	(1-Ethyl-2-propenyl)-benzene	19947-22-9	146	34.41	0.012
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	36.41	0.004
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	41.68	0.004
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.24	0.128
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.10	0.036
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.73	0.015
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	8.80	0.005
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.55	0.026
C ₅ H ₆ O ₂	2-Furanmethanol	98-00-0	98	18.97	0.005
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.42	0.018
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.03	0.007
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.26	0.007
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydro-2H-pyran	110-87-2	84	16.41	0.008
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.10	0.003
C ₄ H ₄ O ₂	α -Crotonolactone	20825-71-2	84	20.35	0.004
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ -Hexalactone	695-06-7	114	26.90	0.005
C ₆ H ₁₀ O ₂	δ -Hexalactone	823-22-3	114	29.58	0.035
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ -Heptalactone	105-21-5	128	30.62	0.003
C ₁₀ H ₁₈ O ₃	Ethyl ester 2-acetyl-4-methylpentanoic acid	1522-34-5	186	32.65	0.054
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ -Octalactone	104-50-7	142	34.10	0.006
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ -Nonalactone	104-61-0	156	38.52	0.011
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ -Decalactone	706-14-9	170	45.25	0.013
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ -Undecalatone	104-67-6	184	55.89	0.002
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ -Dodecalactone	2305-05-7	198	73.08	0.016
C ₁₅ H ₂₈ O ₄	3-Methylbut-2-yl 3-methylpentyl ester succinic acid	(390641)	272	101.05	0.009
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.04	0.252
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	6.98	0.006
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.25	0.072
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.39	0.004
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.48	0.005
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.34	0.053
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.38	0.001
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.40	0.010
C ₅ H ₄ O ₂	2-Furaldehyde	98-01-1	96	16.96	0.002
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.77	0.012

C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.79	0.016
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.99	0.018
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.69	0.034
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.52	0.024
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.88	0.034
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.42	0.043
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.72	0.075
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.72	0.025
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.79	0.022
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	53.42	0.033
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	68.84	0.049
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	94.01	0.060
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.32	0.118
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	9.94	0.002
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.32	0.002
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.36	0.005
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.15	0.001
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.68	0.004
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.52	0.008
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.69	0.014
C ₅ H ₆ O ₃	Dihydro-3-methyl-2,5-furandione	4100-80-5	114	25.87	0.021
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.55	0.024
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.09	0.018
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.38	0.018
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.13	0.083
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.19	0.019
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.96	0.007
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	46.40	0.038
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.89	0.087
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	66.60	0.038
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	90.09	0.110
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.14	1.755
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.38	0.003
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.07	0.051
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.10	0.020
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.09	0.343
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.60	0.103
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.09	0.068
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.17	0.125
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.74	0.125
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.13	0.097
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	51.31	0.032
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	64.17	0.208
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	n-Tridecanoic acid	638-53-9	214	88.78	0.024
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	120.15	0.614
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.33	0.001
<i>Furans</i>					

C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.14	0.001
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.42	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.95	<0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.80	<0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	22.29	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.17	0.003
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.48	0.940
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.52	0.011
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.03	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.18	0.012
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	14.73	0.022
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	14.90	0.003
C ₅ H ₇ N	3-Methyl-1H-pyrrole	616-43-3	81	14.76	0.001
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	16.78	0.019
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.01	0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.34	0.002
C ₃ H ₄ N ₂	1H-Pyrazole	288-13-1	68	22.20	0.011
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	25.60	0.101
C ₆ H ₈ N ₂ O	2-Methoxy-6-methylpyrazine	2882-21-5	124	27.03	0.009
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	27.98	0.061
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.89	0.010
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.31	0.007
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.94	0.126
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.35	0.005
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.68	0.003
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	10.84	0.002
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.11	0.003
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.38	0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	17.82	0.002
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	21.26	0.002
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.76	11.221
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	2.89	80.193
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.45	0.002
<i>Unknown compounds</i>					
	Unknown			70.34	0.080
	Unknown			97.36	0.027

Таблица А15. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Благодатное, Енисейский край). 152 соединения.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	Quartz 111/129.5	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.58	1.151
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.33	0.058
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	7.60	0.068
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.05	0.011
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.19	0.020
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.33	0.037
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.26	0.046
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.86	0.079
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.24	0.015
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.41	0.023
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.60	0.021
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	45.14	0.043
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	55.28	0.026
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	71.90	0.050
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.05	0.004
C4H8	2-Methyl-1-propene	115-07-1	56	5.70	0.008
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	5.87	0.009
C5H8	1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.46	0.024
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.65	0.007
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.69	0.019
C6H10	(E)-2-Methyl-1,3-pentadiene	926-54-5	82	12.74	0.007
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.78	0.010
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.97	0.006
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.94	0.009
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.61	0.014
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.99	0.012
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	34.20	0.010
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	38.29	0.016
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	44.56	0.019
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	54.51	0.086
C16H32	1-Hexadecene	629-73-2	224	70.54	0.028
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H10	Cyclopentane	287-92-3	70	8.25	0.009
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.42	0.018
C7H8	Toluene	108-88-3	92	16.92	0.013
C7H7F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.73	<0.001
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.01	0.001
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.30	0.004
C8H10	o-Xylene	95-47-6	106	21.40	0.001
C8H10	m-Xylene	108-38-3	106	21.66	0.001
C8H8	Styrene	100-42-5	104	21.90	0.004

C ₈ H ₉ F	3-Fluoro-o-xylene	443-82-3	124	22.62	0.007
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	22.88	0.004
C ₈ H ₉ F	5-Fluoro-m-xylene	461-97-2	124	24.27	0.002
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.87	0.008
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.73	0.012
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.14	0.010
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.61	0.008
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.29	0.687
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.12	0.017
C ₃ H ₈ O	1-Propanol	71-23-8	60	8.80	0.007
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.55	0.011
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.44	0.028
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.11	0.001
C ₈ H ₁₀ O ₂	2-Phenoxyethanol	122-99-6	138	32.80	0.007
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.28	0.005
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydro-2H-pyran	110-87-2	84	16.43	0.012
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.13	0.004
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	26.90	0.007
C ₆ H ₁₀ O ₂	Tetrahydro-6-methyl- 2H-pyran-2-one	823-22-3	114	29.59	0.040
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.61	0.004
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.11	0.007
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.52	0.010
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	45.24	0.012
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalatone	104-67-6	184	59.30	0.171
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalatone	2305-05-7	198	73.25	0.034
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.14	0.019
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	6.98	0.009
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.27	0.023
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	9.41	0.017
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.48	0.004
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.24	0.005
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.40	0.018
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.40	0.012
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	16.96	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.79	0.028
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.79	0.029
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.99	0.023
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.69	0.050
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.52	0.009
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.88	0.050
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.42	0.086
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.72	0.117
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.71	0.020
C ₈ H ₆ O ₃	Piperonal	120-57-0	150	41.03	0.066
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.77	0.031
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	53.40	0.067
C ₁₄ H ₂₈ O	Tertadecanal	124-25-4	212	68.81	0.052

C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	93.83	0.052
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.33	0.029
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	9.96	0.002
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.32	0.003
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.37	0.005
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.15	0.010
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.69	0.004
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.52	0.007
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.69	0.014
C ₅ H ₆ O ₃	Dihydro-3-methyl-2,5-furandione	4100-80-5	114	25.89	0.033
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.53	0.020
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.11	0.024
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.37	0.015
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.15	0.032
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.21	0.016
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.96	0.010
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	52.00	0.033
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	66.38	0.043
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	90.21	0.096
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.17	1.899
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.10	0.137
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.19	0.013
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.14	0.037
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.62	0.158
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.13	0.043
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.25	0.089
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.92	0.085
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.36	0.128
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	51.49	0.011
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	64.85	0.143
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	3-Methyltridecanoic acid	x	228	110.42	0.412
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	123.74	0.128
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.32	0.001
C ₁₀ H ₁₆	dl-Limonene	138-86-3	136	27.96	0.009
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.14	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.95	<0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.70	<0.001
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	17.61	0.028
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.26	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.15	0.004
<i>Pyrans</i>					
C ₆ H ₁₁ BrO	2-(Bromomethyl)tetrahydro-2H-pyran	34723-82-5	178	29.49	0.004
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.51	0.512
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.53	0.031

C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.03	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.20	0.011
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	14.78	0.259
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	14.91	0.003
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.72	0.022
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.82	0.002
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.32	0.001
C ₆ H ₁₃ N	1-Methylpiperidine	626-67-5	99	19.00	0.004
C ₃ H ₄ N ₂	1H-Pyrazole	288-13-1	68	22.23	0.013
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	25.70	0.017
C ₄ H ₇ NO ₂	N-Acetyl-acetamide	x	101	25.74	0.006
C ₁₀ H ₁₁ NO ₄	3-Nitrobenzeneethanol acetate	68527-46-8	209	102.71	0.704
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.93	0.008
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.43	0.001
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.14	0.128
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.37	0.009
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.70	0.005
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.11	0.004
C ₅ H ₄ OS	3-Thiophenecarboxaldehyde	498-62-4	112	25.95	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.75	3.598
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	2.93	87.032
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.50	0.018

Таблица A16. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении самородного золота (месторождение Благодатное, Енисейский край). 172 соединения.

Formula	Name	¹ CAS/NIST	² MW	Native gold 310-13	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.12	0.249
C3H8	Propane	74-98-6	44	4.46	0.124
C4H10	Butane	106-97-8	58	6.03	0.008
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	8.36	0.009
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	11.66	0.017
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	15.57	0.168
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	19.58	0.295
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	23.38	0.269
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	26.91	0.124
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.18	0.087
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	33.21	0.092
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	36.66	0.104
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	41.76	0.019
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	49.56	0.354
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	62.52	5.327
C17H36	Heptadecane	629-78-7	240	86.62	2.500
Olefins					
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.86	0.030
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.13	0.040
C5H8	1,3-Pentadiene, (E)-	2004-70-8	68	8.34	0.259
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.53	0.045
C5H8	1,3-Pentadiene, (Z)-	1574-41-0	68	8.88	0.015
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.36	0.026
C6H10	1,3-Butadiene, 2,3-dimethyl-	513-81-5	82	11.87	0.013
C6H10	3-Hexyne	928-49-4	82	12.49	0.021
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.27	0.026
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.28	0.070
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.13	0.066
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	26.70	0.055
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	36.59	0.159
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	41.51	0.139
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	49.28	0.346
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes and cycloalkenes					
C10H16	Limonene	5989-54-8	136	27.09	0.015
C10H16	D-Limonene	5989-27-5	136	27.31	0.025
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.36	0.510
C7H8	Benzene, methyl-(=Toluene)	108-88-3	92	16.69	0.145
C7H7F	Benzene, (fluoromethyl)-	350-50-5	110	20.22	0.008
C8H10	Benzene, ethyl-	100-41-4	106	20.63	0.071
C8H10	Benzene, 1,4-dimethyl- (=p-Xylene)	106-42-3	106	20.90	0.318
C8H10	Benzene, 1,2-dimethyl- (=o-	95-47-6	106	21.18	0.037

	Xylene)				
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.58	0.048
C ₈ H ₁₀	Benzene, 1,3-dimethyl- (=m-Xylene)	108-38-3	106	21.60	0.047
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	23.28	0.018
C ₉ H ₁₂	Benzene, propyl-	103-65-1	120	24.36	0.132
C ₁₀ H ₁₄	Benzene, butyl-	104-51-8	134	28.08	0.221
C ₁₁ H ₁₆	Benzene, pentyl-	538-68-1	148	31.41	0.225
C ₁₂ H ₁₈	Benzene, hexyl-	1077-16-3	162	34.61	0.115
C ₁₃ H ₂₀	Benzene, heptyl-	1078-71-3	176	38.90	0.258
C ₁₄ H ₂₂	Benzene, octyl-	2189-60-8	190	45.40	0.136
C ₁₅ H ₂₄	Benzene, nonyl-	1081-77-2	204	55.48	0.375
<i>PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	31.74	0.031
C ₁₁ H ₁₀	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	142	35.32	0.015
C ₁₁ H ₁₀	Naphthalene, 2-methyl-	91-57-6	142	35.84	0.015
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.38	1.031
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.48	0.247
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	8.18	0.037
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.73	0.136
C ₇ H ₈ O	Phenol, 2-methyl-	95-48-7	108	25.70	0.014
C ₇ H ₈ O	Phenol, 3-methyl-	108-39-4	108	27.13	0.010
C ₇ H ₈ O	Phenol, 4-methyl-	106-44-5	108	27.29	0.023
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	2H-Pyran, 3,4-dihydro-	110-87-2	84	13.31	0.013
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.26	0.083
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.13	0.035
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.43	0.048
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.91	0.027
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.21	0.055
C ₁₁ H ₁₆ O	Benzene, 1-methoxy-4-methyl-2-(1-methylethyl)-	31574-44-4	164	35.14	2.558
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.36	0.043
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	44.56	0.076
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	δ-Decalactone	705-86-2	170	46.63	0.025
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalatone	104-67-6	184	54.25	0.041
C ₁₅ H ₂₈ O ₄	Succinic acid, 3-methylbut-2-yl 4-methylpent-2-yl ester	(390424)	272	63.20	0.929
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	69.35	0.119
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl Phthalate	84-66-2	222	71.67	8.060
C ₁₄ H ₂₆ O ₂	γ-Tetradecalactone	2721-23-5	226	132.02	4.434
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.40	1.323
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.36	0.044
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.53	0.100
C ₄ H ₆ O	2-Propenal, 2-methyl-	78-85-3	70	9.68	0.037
C ₄ H ₈ O	Propanal, 2-methyl-	78-84-2	72	9.71	0.020
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.49	0.054
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.17	0.042
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.32	0.014
C ₅ H ₈ O	2-Butenal, 3-methyl-	107-86-8	84	17.14	0.047

C ₅ H ₄ O ₂	2-Furancarboxaldehyde (Furfural)	98-01-1	96	17.45	0.011
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.37	0.095
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.75	0.154
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.78	0.152
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.93	9.142
C ₈ H ₁₆ O	Hexanal, 2-ethyl-	123-05-7	128	25.15	0.017
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.50	0.211
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.83	0.080
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	29.93	0.285
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.07	0.282
C ₁₁ H ₂₂ O	Undecanal	112-44-7	170	36.51	0.010
C ₁₅ H ₃₀ O	Pentadecanal	2765-11-9	226	82.08	0.836
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.64	0.069
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.34	0.010
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.58	0.023
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.68	0.043
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	13.54	0.009
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.87	0.061
C ₅ H ₆ O	2-Cyclopenten-1-one	930-30-3	82	18.32	0.031
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.52	0.036
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.50	0.055
C ₈ H ₁₆ O	2-Heptanone, 6-methyl-	928-68-7	128	25.41	0.044
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.21	0.042
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	29.61	0.047
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	32.77	0.058
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.86	0.348
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	36.14	0.095
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	41.01	0.074
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	48.53	0.129
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	60.31	0.168
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	79.06	0.385
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.37	1.234
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.29	0.060
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	18.98	0.620
C ₅ H ₁₀ O ₂	Butanoic acid, 3-methyl-	503-74-2	102	21.98	0.049
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	22.96	0.166
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	25.56	0.541
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.98	0.192
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.02	0.302
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.42	0.106
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.93	0.189
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	63.07	0.580
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	117.28	0.947
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.61	0.017
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.14	0.022
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.41	0.008

C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.79	0.007
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.57	0.006
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	21.80	0.011
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	25.53	0.029
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	29.03	0.011
C ₁₁ H ₁₈ O	2-n-Heptylfuran	3777-71-7	166	32.24	0.015
C ₁₂ H ₂₀ O	2-n-Octylfuran	4179-38-8	180	35.47	0.014
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.82	6.778
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	7.04	0.347
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.54	0.011
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.61	0.019
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.64	0.059
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.59	0.310
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxo-propionamide	x	87	17.62	0.189
C ₆ H ₉ N	1H-Pyrrole, 2,3-dimethyl-	600-28-2	95	18.39	0.014
C ₆ H ₇ N	Pyridine, 2-methyl-	109-06-8	93	18.80	0.018
C ₆ H ₇ N	Pyridine, 3-methyl-	108-99-6	93	20.55	0.020
C ₆ H ₇ N	Pyridine, 4-methyl-	108-89-4	93	20.75	0.014
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	23.85	0.026
C ₉ H ₁₃ N	Pyridine, 2,6-diethyl-	935-28-4	135	23.95	18.712
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	26.41	0.047
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.06	0.163
C ₇ H ₁₅ NO	Heptamide	628-62-6	129	30.36	0.015
C ₅ H ₇ NO ₂	1-Methyl-2,5-pyrrolidinedione	1121-07-9	113	30.31	0.037
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	37.01	0.012
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	44.26	0.020
Sulfonated compounds					
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.55	0.017
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.85	6.532
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.75	0.066
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.78	0.079
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.14	0.014
C ₂ H ₆ S ₂	Disulfide, dimethyl	624-92-0	94	15.15	0.018
C ₅ H ₆ S	Thiophene, 2-methyl-	554-14-3	98	16.24	0.018
C ₅ H ₆ S	Thiophene, 3-methyl-	616-44-4	98	16.57	0.025
C ₆ H ₈ S	Thiophene, 2-ethyl-	872-55-9	112	21.37	0.010
C ₈ H ₁₂ S	Thiophene, 2-butyl-	1455-20-5	140	27.81	0.016
C ₉ H ₁₄ S	Thiophene, 2-pentyl-	4861-58-9	154	31.19	0.025
C ₁₀ H ₁₆ S	Thiophene, 2-hexyl-	18794-77-9	168	34.44	0.020
C ₁₁ H ₁₈ S	Thiophene, 2-heptyl-	18794-78-0	182	38.69	0.031
C ₁₂ H ₂₀ S	Thiophene, 2-octyl-	880-36-4	196	45.03	0.033
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.03	7.246
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	4.31	7.263
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.78	0.101

Таблица A17. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский кряж). 161 соединение.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	D-11 vein quartz	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.05	0.497
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.83	0.078
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	4.63	0.200
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.83	0.237
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.87	0.062
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	17.04	0.042
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	20.95	0.040
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	21.18	0.024
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	25.10	0.032
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.71	0.076
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	32.07	0.001
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	35.42	0.395
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	40.20	0.098
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	47.44	0.027
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	59.22	0.275
Halogenated paraffins					
C4H9Cl	1-Chlorobutane	109-69-3	92	13.47	0.031
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.56	0.011
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	6.20	0.010
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.38	0.020
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.94	0.004
C5H8	1,4-Pentadiene	591-93-5	68	9.09	0.006
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	9.18	0.007
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	9.44	0.001
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	9.71	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	12.51	0.067
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	16.65	0.042
C8H16	(E)-4-Octene	14850-23-8	112	20.55	0.069
C8H16	(Z)-4-Octene	7642-15-1	112	20.75	0.005
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.83	0.002
C8H16	(E)-3-Octene	14919-01-8	112	21.00	0.039
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	24.78	0.154
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	28.46	0.102
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.91	0.432
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	35.05	0.071
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.78	0.279
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	46.93	0.181
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	58.07	0.424
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.81	<0.001

C ₆ H ₁₀	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	13.64	0.024
<i>Arenes</i>					
C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	13.42	0.043
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	17.99	0.012
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	22.08	0.001
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	22.33	0.009
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.96	0.010
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	29.73	0.091
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	33.16	0.008
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	37.02	0.006
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	42.68	0.037
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.29	0.167
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.23	0.019
C ₄ H ₁₀ O	2-Butanol	78-92-2	74	12.71	0.004
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	13.59	0.166
C ₅ H ₈ O ₂	(Z)-Cyclopentene-1,3-diol	29783-26-4	100	22.23	0.009
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.50	0.168
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.06	0.125
C ₁₀ H ₁₈ O	2,6-Dimethyl-octa-2,6-dien-1-ol	(193443)	154	37.19	0.578
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	Dihydropyran	110-87-2	84	14.22	0.027
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	15.30	0.010
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	21.18	0.100
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.73	0.053
C ₅ H ₆ O ₂	4-Methyl-2(5H)-furanone	6124-79-4	98	24.46	0.094
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Caprolactone	695-06-7	114	28.36	0.014
C ₇ H ₁₂ O ₄	Dimethyl glutarate	1119-40-0	160	31.91	0.432
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	35.72	0.280
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	40.82	0.123
C ₁₀ H ₁₂ O ₂	Acetaldehyde ethyleneglycol acetal 1	(284904)	164	42.65	0.123
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	48.61	0.140
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	49.86	0.098
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl phthalate	131-16-8	250	54.02	0.348
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.63	0.385
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.78	0.007
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.96	0.051
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.48	0.385
C ₄ H ₆ O	Isobutenal	78-85-3	70	10.34	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	10.44	0.030
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	11.22	0.012
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.86	0.014
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	14.52	0.020
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	15.50	0.013
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.28	0.006
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	19.15	1.145
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.90	0.316

C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	24.06	0.328
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	24.26	0.002
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	25.05	0.028
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.91	0.184
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.59	0.204
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	31.46	0.645
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	34.84	0.544
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	39.40	0.348
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	46.23	0.317
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	57.02	0.473
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	8.14	0.135
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.99	0.010
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	11.29	0.016
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	11.37	0.012
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	15.25	0.004
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.77	0.007
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	19.60	0.195
C ₅ H ₈ O	3-Methylcyclopentanone	1757-42-2	98	22.65	0.010
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.76	0.054
C ₈ H ₁₆ O	6-Methoxy-2-methyl-3-hexanone	17429-05-9	144	27.04	0.144
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	27.58	0.048
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	31.12	0.133
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	34.32	0.014
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	37.22	0.076
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	38.78	0.118
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	45.31	0.397
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	55.54	0.193
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.84	0.477
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	16.55	0.040
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	20.17	0.316
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	24.08	0.183
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	27.44	0.396
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.97	0.192
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	34.07	0.278
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	38.10	2.402
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	44.38	2.014
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	55.32	0.140
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	70.29	0.170
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	14.50	0.002
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.04	0.010
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	11.32	0.002
C ₄ H ₆ O	2,3-Dihydrofuran	1191-99-7	70	12.87	0.005
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.99	0.002
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	15.72	0.002

C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.89	0.003
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	19.05	0.009
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.28	0.002
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	27.13	0.021
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	30.37	0.044
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	34.01	0.002
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.98	0.757
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	3.01	0.116
C ₂ H ₇ N	N,N-Dimethylamine	124-40-3	45	6.88	0.021
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	7.33	0.079
CH ₃ NO	Formamide	75-12-7	45	8.39	0.007
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	15.15	0.015
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	15.37	0.036
C ₅ H ₇ N	3-Methylpyrrole	616-43-3	81	15.89	0.007
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	16.29	0.022
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.40	0.115
C ₄ H ₆ N ₂	1-Methylpyrazole	930-36-9	82	17.15	0.003
C ₅ H ₁₂ N ₂	Acetone dimethylhydrazone	13483-31-3	100	18.30	0.057
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.75	0.005
C ₈ H ₁₃ NO	8-Azabicyclo[3.2.1]octane-8-carboxaldehyde	56771-95-0	139	32.81	0.595
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.59	0.019
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.38	0.005
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.88	0.257
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.93	0.025
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	8.39	0.026
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	8.48	0.038
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.71	0.010
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	16.29	0.006
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	23.28	0.012
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	30.62	0.010
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	33.36	0.003
C ₆ H ₆ OS	5-Methyl-2-thiophenecarboxaldehyde	13679-70-4	126	33.36	0.036
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.27	68.931
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.38	7.376

Таблица А18. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский край). 162 соединения.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	D-4 (a) granular quartz	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.08	0.255
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.96	0.005
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	5.23	0.222
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.63	0.013
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	9.28	0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.89	0.009
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	17.04	0.024
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	20.97	0.005
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	21.18	0.020
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	25.11	0.024
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.74	0.027
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	32.09	0.015
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	35.49	0.001
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	40.23	<0.001
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	47.44	<0.001
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	58.98	<0.001
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	98.05	0.001
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.83	0.017
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	6.20	0.003
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.39	0.014
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.94	0.002
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	9.19	0.024
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	9.46	0.003
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	9.73	0.002
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	12.52	0.005
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	16.67	0.009
C8H16	(E)-4-Octene	14850-23-8	112	20.57	0.009
C8H16	(Z)-4-Octene	7642-15-1	112	20.85	0.010
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	21.08	0.005
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	24.81	0.007
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	28.49	0.005
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.91	0.117
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	35.22	0.007
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.87	0.003
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	46.98	<0.001
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	58.13	0.025
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.81	<0.001
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	13.67	0.005
Arenes					

C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	13.44	0.050
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	17.99	0.006
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	22.08	0.001
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	22.35	0.005
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.98	0.006
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	29.74	0.011
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	33.17	0.020
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	37.07	0.013
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	42.76	0.012
C ₁₃ H ₂₀	Octylbenzene	2189-60-8	190	50.29	0.008
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	65.69	0.017
C ₁₆ H ₂₆	Decylbenzene	104-72-3	218	86.16	0.013
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.66	0.088
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.74	0.019
C ₄ H ₁₀ O	2-Butanol	78-92-2	74	13.46	0.002
C ₅ H ₈ O ₂	(Z)-Cyclopentene-1,3-diol	29783-26-4	100	22.25	0.001
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.11	0.024
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	28.29	0.001
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	29.14	0.002
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	15.32	0.082
C ₄ H ₇ ClO ₂	1-Chloroethanol acetate	5912-58-3	122	18.12	0.023
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	21.22	0.053
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.77	0.002
C ₅ H ₆ O ₂	4-Methyl-2(5H)-furanone	6124-79-4	98	24.51	0.004
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Caprolactone	695-06-7	114	28.38	0.004
C ₇ H ₁₂ O ₄	Dimethyl glutarate	1119-40-0	160	31.94	0.014
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	35.70	0.004
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	40.82	0.005
C ₁₀ H ₁₂ O ₂	Acetaldehyde ethyleneglycol acetal 1	(284904)	164	43.41	0.019
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	48.66	0.006
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	39.75	0.098
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl phthalate	131-16-8	250	51.07	0.113
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Dibutyl phthalate	84-74-2	278	107.51	0.179
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.65	0.153
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.78	0.009
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	8.06	0.016
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.39	0.011
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	10.34	0.007
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	10.43	0.030
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	11.22	0.005
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.86	0.005
C ₅ H ₁₀ O	2-Methylcrotonaldehyde	1115-11-3	84	14.25	0.002
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	14.52	0.010
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	15.52	0.012
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.30	0.002
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	19.17	0.384
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.92	0.023

C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	24.08	0.014
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	24.28	0.004
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	25.06	0.015
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.94	0.026
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.61	0.189
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	31.47	0.021
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	34.87	0.059
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	38.78	0.036
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.41	<0.001
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	57.02	0.473
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	8.14	0.022
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.99	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	11.31	0.038
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	15.27	0.008
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.77	0.002
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	19.63	0.005
C ₅ H ₈ O	3-Methylcyclopentanone	1757-42-2	98	22.65	0.002
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.78	0.009
C ₈ H ₁₆ O	6-Methoxy-2-methyl-3-hexanone	17429-05-9	144	27.04	0.144
C ₈ H ₁₄ O	6-Methyl-5-heptene-2-one	110-93-0	126	27.04	0.003
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	27.61	0.027
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	31.14	0.024
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	34.45	0.044
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	37.25	0.003
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	38.45	0.029
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	45.31	<0.001
C ₁₃ H ₂₆ O	3-Tridecanone	1534-26-5	198	55.55	<0.001
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.84	0.640
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	17.07	0.002
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	20.42	0.028
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	23.48	0.004
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	24.41	0.019
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	27.71	0.059
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	31.14	0.024
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	34.24	0.052
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	38.37	0.042
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	44.70	0.039
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	55.24	0.001
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	70.01	0.005
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	14.50	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.04	0.003
C ₄ H ₆ O	2,3-Dihydrofuran	1191-99-7	70	12.91	0.004
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	15.00	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	15.74	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.90	0.001
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	19.07	0.001

C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.30	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	27.14	0.006
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	30.76	0.001
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	34.05	0.007
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.98	4.412
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	3.08	0.034
C ₂ H ₇ N	N,N-Dimethylamine	124-40-3	45	6.88	0.009
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	7.33	0.043
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	15.17	0.002
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	15.39	0.021
C ₅ H ₇ N	3-Methylpyrrole	616-43-3	81	15.90	0.003
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	16.30	0.006
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.45	0.053
C ₄ H ₆ N ₂	1-Methylpyrazole	930-36-9	82	17.15	0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.76	0.059
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.61	0.021
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.56	<0.001
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.93	0.005
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.85	0.051
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.96	0.017
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	8.26	0.001
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	8.49	0.003
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.72	0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	16.29	<0.001
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	23.33	0.004
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	30.64	0.003
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	33.39	0.050
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.25	73.753
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.38	17.463

Таблица А19. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский край). 135 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-4(b) vein quartz	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.08	0.189
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.85	0.032
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.60	0.001
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	12.86	<0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.89	0.009
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	17.02	0.001
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	21.17	0.011
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	25.08	0.001
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.69	0.001
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	32.06	0.007
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	35.45	0.001
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	40.12	0.016
Halogenated paraffins					
C4H9Cl	1-Chlorobutane	109-69-3	92	13.47	0.005
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.60	0.001
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	6.18	0.001
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.38	0.013
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.91	0.009
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	9.16	0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	9.44	0.002
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	9.71	0.002
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	12.49	0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	16.64	0.006
C8H16	(E)-4-Octene	14850-23-8	112	20.53	0.010
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.82	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	24.78	0.002
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	28.46	0.002
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.86	0.004
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	35.17	0.003
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.80	0.003
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	46.89	0.004
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	58.02	0.007
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.79	0.998
C6H10	4-Methylcyclopentene	1759-81-5	82	13.62	<0.001
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	13.39	0.010
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.95	0.005
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	22.03	<0.001
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	22.30	0.002
C8H8	Styrene	100-42-5	104	22.93	0.004

C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	29.71	0.008
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	33.12	0.036
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.66	0.052
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.73	0.010
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.45	0.015
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.06	0.002
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	29.14	0.002
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydropyran	110-87-2	84	14.21	<0.001
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	15.29	0.002
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	21.18	0.006
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.73	0.002
C ₅ H ₆ O ₂	4-Methyl-2(5H)-furanone	6124-79-4	98	24.46	0.003
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Caprolactone	695-06-7	114	28.34	0.002
C ₇ H ₁₂ O ₄	Dimethyl glutarate	1119-40-0	160	31.91	0.002
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	35.67	0.003
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	40.77	0.005
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	48.63	0.007
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.16	0.074
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.78	0.004
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.98	0.005
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.43	0.001
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	10.34	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	10.41	0.006
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	11.22	0.002
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.84	0.002
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	14.49	0.001
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	15.49	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.25	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	19.15	0.011
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.88	0.012
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	24.05	0.006
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	24.23	0.002
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	25.01	0.006
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.91	0.004
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.59	0.006
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	31.44	0.016
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	34.84	0.023
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	39.38	0.001
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	44.58	0.051
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	8.13	0.019
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.96	<0.001
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	11.27	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	11.37	0.003
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	15.24	0.001
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.74	0.001
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	19.60	<0.001
C ₅ H ₈ O	3-Methylcyclopentanone	1757-42-2	98	22.62	0.001

C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.75	0.010
C ₈ H ₁₆ O	6-Methoxy-2-methyl-3-hexanone	17429-05-9	144	27.03	0.008
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	27.58	0.016
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	31.09	0.022
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	34.44	0.092
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	37.22	0.017
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	38.75	0.025
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.94	0.080
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	17.05	0.004
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	20.43	0.018
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	24.31	0.040
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	27.69	0.040
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	31.11	0.018
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	34.19	0.041
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	38.30	0.039
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	44.38	0.045
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	69.56	0.077
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	14.49	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.02	0.001
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	11.32	<0.001
C ₄ H ₆ O	2,3-Dihydrofuran	1191-99-7	70	12.84	0.002
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.95	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	15.72	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.87	0.001
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	19.05	0.002
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.25	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	27.11	0.009
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	29.71	0.008
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	34.09	0.001
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.95	14.752
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	3.06	0.061
C ₂ H ₇ N	N,N-Dimethylamine	124-40-3	45	6.86	0.008
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	7.33	0.038
CH ₃ NO	Formamide	75-12-7	45	8.38	0.001
C ₄ H ₄ N ₂	Piazine	290-37-9	80	15.14	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	15.35	0.005
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	16.27	0.003
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.44	0.017
C ₄ H ₆ N ₂	1-Methylpyrazole	930-36-9	82	17.15	<0.001
C ₅ H ₁₂ N ₂	Acetone dimethylhydrazone	13483-31-3	100	18.34	<0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.75	0.031
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.59	0.015
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.41	0.001
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.93	0.004

SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.00	0.013
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.96	0.006
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	8.38	0.001
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	8.48	0.003
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.67	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	16.25	0.001
C ₆ H ₆ OS	5-Methyl-2-thiophenecarboxaldehyde	13679-70-4	126	33.36	0.003
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.27	65.214
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.38	17.440

Таблица А20. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский край). 142 соединения.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-10(a) granular quartz	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.08	0.529
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.86	0.005
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	4.73	0.366
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.60	0.005
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.86	0.026
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	17.02	0.132
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	20.53	0.132
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	21.17	0.099
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	25.06	0.111
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.69	0.046
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	32.07	0.209
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	35.40	0.022
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	40.20	0.033
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	47.38	0.003
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	58.98	0.066
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	98.05	0.243
Olefins					
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	6.15	0.009
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.60	0.005
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.91	0.073
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	9.16	0.057
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	12.86	0.029
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	16.64	0.021
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.82	0.019
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	25.06	0.111
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	28.69	0.046
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.84	0.050
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	35.40	0.022
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.78	0.023
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	46.88	0.017
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	57.99	0.068
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.24	0.005
C6H10	3,3-Dimethyl-1-cyclobutene	16327-38-1	82	13.64	0.006
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	13.39	0.107
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.95	0.037
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	22.03	<0.001
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	22.32	0.034
C8H8	Styrene	100-42-5	104	22.93	0.028
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	29.71	0.078

C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	33.12	0.200
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	36.99	0.074
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.76	0.666
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.76	0.203
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	13.41	0.007
C ₅ H ₈ O ₂	4-Cyclopentene-1,3-diol	29783-26-4	100	22.22	0.021
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.46	0.104
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.06	0.016
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydropyran	110-87-2	84	14.21	0.009
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	15.30	0.033
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	21.18	0.075
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.72	0.008
C ₅ H ₆ O ₂	4-Methyl-2(5H)-furanone	6124-79-4	98	24.48	0.025
C ₅ H ₈ O ₂	δ-Valerolactone	542-28-9	100	27.49	0.017
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Caprolactone	695-06-7	114	28.36	0.019
C ₇ H ₁₂ O ₄	Dimethyl glutarate	1119-40-0	160	31.91	0.042
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	31.17	0.006
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	35.65	0.033
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	40.72	0.034
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	48.61	0.047
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	93.06	0.480
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.23	3.308
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.76	0.051
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.88	0.040
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.41	0.026
C ₄ H ₆ O	2-Methyl-2-propenal	78-85-3	70	10.34	0.039
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	10.44	0.024
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	11.21	0.023
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.84	0.026
C ₅ H ₁₀ O	2-Methylcrotonaldehyde	1115-11-3	84	14.19	0.004
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	14.47	0.045
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	15.47	0.058
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	19.13	0.227
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.88	0.073
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	24.06	0.055
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	24.23	0.037
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	25.03	0.081
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.91	0.111
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.58	0.019
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	31.44	0.065
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	34.80	0.212
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	39.37	0.035
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	46.20	0.049
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	57.02	0.013
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	8.13	0.173
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.99	0.006
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	11.27	0.208

C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	11.36	0.155
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	15.24	0.047
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.74	0.011
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	19.60	0.030
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.73	0.043
C ₈ H ₁₄ O	6-Methyl-5-heptene-2-one	110-93-0	126	27.01	0.052
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	27.58	0.095
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	31.09	0.082
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	34.40	0.210
C ₈ H ₄ O ₃	Phthalic anhydride	85-44-9	148	37.20	0.560
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	38.73	0.183
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	45.20	0.244
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	55.54	0.086
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	12.07	0.460
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	17.40	0.022
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	20.62	0.160
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	24.56	0.092
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	27.89	0.295
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	31.31	0.132
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	34.34	0.248
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	38.52	0.178
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	44.91	0.125
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	14.49	0.002
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.04	0.018
C ₄ H ₆ O	2,3-Dihydrofuran	1191-99-7	70	12.84	0.002
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.99	0.003
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	15.70	0.002
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	19.03	0.018
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.25	0.003
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	27.11	0.038
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	29.71	0.078
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	34.06	0.014
C ₁₂ H ₂₀ O	2-Octylfuran	4179-38-8	180	38.14	0.005
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.95	12.473
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	7.19	0.514
C ₄ H ₄ N ₂	Pirazine	290-37-9	80	15.14	0.005
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	15.35	0.060
C ₅ H ₇ N	3-Methylpyrrole	616-43-3	81	15.85	0.006
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	16.27	0.036
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.49	0.101
C ₄ H ₆ N ₂	1-Methylpyrazole	930-36-9	82	17.14	0.006
C ₄ H ₉ NO	N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	87	18.10	0.118
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	21.35	0.026
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.73	0.084
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.59	0.054
Sulfonated compounds					

COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.83	0.005
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.18	2.145
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.91	0.065
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	8.29	0.006
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	8.36	0.006
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	16.25	0.004
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	23.60	0.010
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	30.66	0.008
C ₆ H ₆ OS	5-Methyl-2-thiophenecarboxaldehyde	13679-70-4	126	33.39	0.041
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.27	32.850
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.53	37.678

Таблица A21. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский край). 149 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-2-12 (a) granular quartz	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.02	1.077
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.86	0.037
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.82	0.004
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	17.00	0.006
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	21.13	0.062
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	25.10	0.006
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.69	0.025
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	32.01	0.041
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	35.39	0.112
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	40.07	0.033
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	47.28	0.025
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	58.57	0.047
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	75.55	0.018
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.60	0.006
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.38	0.005
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.93	0.031
C5H8	1,4-Pentadiene	591-93-5	68	8.91	0.034
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	9.16	0.033
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	12.46	0.049
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	16.62	0.004
C8H16	(E)-4-Octene	14850-23-8	112	20.52	0.016
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.80	0.011
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	24.76	0.017
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	28.41	0.012
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.82	0.034
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	35.14	0.011
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.73	0.017
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	46.73	0.012
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	57.77	0.051
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.69	0.001
C6H10	4-Methylcyclopentene	1759-81-5	82	13.59	0.017
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	13.37	0.082
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.95	0.023
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	22.03	0.003
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	22.30	0.015
C8H8	Styrene	100-42-5	104	22.93	0.016
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	29.69	0.070
C11H16	Pentylbenzene	538-68-1	148	33.11	0.081

C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	36.97	0.039
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	42.63	0.034
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	51.46	0.044
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.36	0.067
C ₅ H ₁₂ O	2-Methylbutanol	137-32-6	88	12.81	0.003
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.45	0.066
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.06	0.021
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydropyran	110-87-2	84	14.21	0.006
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	15.27	0.022
C ₄ H ₄ O ₂	γ -Crotonolactone	497-23-4	84	21.17	0.069
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.73	0.006
C ₅ H ₆ O ₂	4-Methyl-2(5H)-furanone	6124-79-4	98	24.48	0.065
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ -Caprolactone	695-06-7	114	28.34	0.012
C ₇ H ₁₂ O ₄	Dimethyl glutarate	1119-40-0	160	31.87	0.056
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ -Heptalactone	105-21-5	128	31.97	0.015
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ -Octalactone	104-50-7	142	35.64	0.035
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ -Nonalactone	104-61-0	156	40.72	0.024
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ -Decalactone	706-14-9	170	48.48	0.023
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	57.07	0.649
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ -Undecalactone	104-67-6	184	60.60	0.013
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ -Dodecalactone	2305-05-7	198	80.23	0.051
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid heptyl ester	7155-12-6	220	81.97	0.081
C ₁₃ H ₂₄ O ₂	γ -Tridecalactone	x	212	100.90	0.109
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Dibutyl phthalate	84-74-2	278	112.34	1.591
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.68	0.186
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.74	0.023
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.83	0.100
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.39	0.014
C ₄ H ₆ O	Methylacrylaldehyde	78-85-3	70	10.21	0.008
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	10.29	0.014
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	11.17	0.013
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	14.45	0.002
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	15.47	<0.001
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.27	0.004
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	19.13	0.067
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.87	0.001
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	24.05	0.065
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	24.23	0.013
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	25.01	0.039
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.88	0.062
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.58	0.027
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	31.41	0.083
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	34.79	0.083
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	39.30	0.027
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	46.11	0.020
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	56.89	0.019
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	71.39	0.117
<i>Ketones</i>					

C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	8.14	0.027
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.34	0.007
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	11.24	0.010
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	11.32	0.023
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	15.24	0.003
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.72	0.013
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	19.58	0.002
C ₆ H ₁₀ O	Cyclohexanone	108-94-1	98	22.61	0.011
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.71	0.072
C ₈ H ₁₄ O	6-Methyl-5-heptene-2-one	110-93-0	126	26.99	0.023
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	27.54	0.117
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	31.06	0.085
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	34.39	0.116
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	37.17	0.057
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	38.70	0.089
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	45.15	0.015
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	55.30	0.087
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	97.47	0.332
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.86	0.376
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	16.49	0.016
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	20.00	0.158
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	24.15	0.057
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	27.48	0.276
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.97	0.096
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.96	0.484
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	38.23	0.088
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	44.20	0.230
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	14.47	0.002
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.01	0.007
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	534-22-5	82	11.27	0.002
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.94	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	15.69	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.87	0.005
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	19.03	0.017
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.25	0.002
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	27.09	0.032
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	30.36	0.004
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	33.97	0.032
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.92	46.394
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	3.25	0.005
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.76	0.089
CH ₃ NO	Formamide	75-12-7	45	8.44	0.006
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	15.14	0.003
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	15.35	0.034
C ₅ H ₇ N	3-Methylpyrrole	616-43-3	81	15.85	0.004
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	16.25	0.001

C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.40	0.119
C ₄ H ₉ NO	N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	87	18.09	0.094
C ₅ H ₁₂ N ₂	Acetone dimethylhydrazone	13483-31-3	100	18.30	<0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.73	0.066
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.56	0.047
Sulfonated compounds					
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.96	0.004
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	5.00	0.289
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	6.00	0.020
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	8.24	0.002
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	8.46	0.007
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.71	0.002
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	16.25	0.005
C ₆ H ₆ OS	5-Methyl-2-thiophenecarboxaldehyde	13679-70-4	126	33.41	0.012
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.27	38.800
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.60	3.376

Таблица A22. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский край). 127 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-10 (b) vein quartz	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	2.06	0.222
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.86	0.007
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.60	0.002
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.84	0.001
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.96	0.001
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	21.12	0.012
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	25.01	0.013
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	28.64	0.005
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.98	0.010
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	35.32	0.009
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	39.96	0.014
Olefins					
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	6.37	0.007
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.91	0.002
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	9.16	0.017
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	9.43	0.002
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	12.47	0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	16.61	0.001
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.77	0.003
C8H16	(E)-4-Octene	14850-23-8	112	20.92	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	24.73	0.004
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	28.39	0.003
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	31.78	0.003
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	35.09	0.003
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.66	0.005
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	46.61	0.005
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	57.59	0.012
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.70	0.001
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	13.62	0.004
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	13.40	0.014
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.94	0.004
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	22.04	<0.001
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	22.30	0.004
C8H8	Styrene	100-42-5	104	22.92	0.003
C9H12O	Propylbenzene	103-65-1	120	25.86	0.004
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	29.68	0.008
C11H16	Pentylbenzene	538-68-1	148	33.08	0.012
Oxygenated hydrocarbons					
Alcohols					
CH4O	Methyl Alcohol	67-56-1	32	4.82	0.170

C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.79	0.014
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.46	0.016
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.07	0.005
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O	3,4-Dihydropyran	110-87-2	84	14.20	<0.001
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	15.28	0.004
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	21.27	0.010
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.75	0.002
C ₅ H ₆ O ₂	4-Methyl-2(5H)-furanone	6124-79-4	98	24.23	0.025
C ₇ H ₁₂ O ₄	Dimethyl glutarate	1119-40-0	160	31.91	0.003
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	35.64	0.005
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	40.68	0.006
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	48.46	0.007
C ₁₅ H ₂₈ O ₂	Pentanoic acid 3,7-dimethyl-6-octenyl ester	7540-53-6	240	80.76	0.014
C ₈ H ₈ O ₄	3,4-Dihydroxybenzeneacetic acid	102-32-9	168	88.14	0.032
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid heptyl ester	7155-12-6	220	96.67	0.028
C ₁₀ H ₁₂ O ₄	Ethyl (3,5-dihydroxyphenyl)acetate	66761-55-5	196	108.79	0.007
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Phthalic acid dipropyl ester	131-16-8	250	119.32	0.452
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.39	0.012
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.77	0.008
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.98	0.001
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.45	0.002
C ₄ H ₆ O	Methylacrylaldehyde	78-85-3	70	10.34	0.003
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	10.41	0.005
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	11.23	0.003
C ₄ H ₆ O	(E)-2-Butenal	123-73-9	70	12.84	0.003
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	14.47	0.001
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	15.48	0.007
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.28	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	19.16	0.012
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.88	0.016
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	24.03	0.010
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	24.23	0.001
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	25.03	0.008
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.87	0.015
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.60	0.004
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	31.40	0.023
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	34.77	0.003
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	39.25	0.016
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	46.02	0.022
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	8.15	0.002
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.98	<0.001
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	11.29	0.002

C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	11.38	0.004
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	15.23	0.001
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.76	0.002
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	19.59	<0.001
C ₆ H ₁₀ O	3-Methylcyclopentanone	1757-42-2	98	22.62	0.007
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.71	0.014
C ₈ H ₁₄ O	6-Methyl-5-heptene-2-one	110-93-0	126	27.01	0.017
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	27.54	0.027
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	31.05	0.025
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	34.37	0.032
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	37.20	0.020
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	112-12-9	170	38.62	0.019
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	97.07	0.083
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.92	0.213
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	17.05	0.004
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	20.14	0.076
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	23.23	0.004
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	24.11	0.017
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	27.56	0.079
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.95	0.024
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	34.34	0.073
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	38.13	0.059
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	44.15	0.066
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	68.60	0.166
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	14.50	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.03	0.001
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.97	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	15.70	<0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.88	0.001
C ₇ H ₁₀ O	2-Propylfuran	4229-91-8	110	19.07	0.003
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	23.22	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	27.07	0.003
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.95	12.121
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	7.33	0.042
C ₂ H ₇ N	Dimethylamine	124-40-3	45	8.58	<0.001
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	15.18	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	15.38	0.006
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	16.30	0.004
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.48	0.027
C ₄ H ₉ NO	N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	87	18.11	0.021
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.76	0.071
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.60	0.019
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.48	0.001
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.84	0.003

SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.97	0.020
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.94	0.004
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	8.38	0.002
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	8.45	0.003
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.69	<0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	16.25	<0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.27	58.127
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.43	27.090

Таблица A23. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении арсенопирита (месторождение Доброе, Енисейский край). 148 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D2-12 arsenopyrite	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.78	2.178
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.51	0.027
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.21	0.008
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.12	0.010
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.20	0.001
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.27	0.015
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.15	0.018
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.73	0.017
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.06	0.007
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.17	0.012
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.22	0.008
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	44.33	0.007
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	54.07	0.003
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.12	0.001
C3H6	1-Propene	115-07-1	42	4.41	0.043
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.03	0.023
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.39	0.007
C5H10	2-Pentene	109-68-2	70	8.76	0.007
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.61	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.84	0.003
C6H12	(Z)-3-Methyl-2-pentene	922-62-3	84	11.11	0.007
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.82	0.062
C8H16	2-Ethylhexene	1632-16-2	112	19.67	0.032
C8H16	(E)-3-Octene	14919-01-8	112	20.05	0.022
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.15	0.007
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.88	0.001
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.49	0.003
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.86	0.002
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.99	0.002
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.95	0.006
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	43.88	0.023
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	53.31	0.009
C16H32	1-Hexadecene	629-73-2	224	68.06	0.006
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	8.84	<0.001
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	12.94	0.015
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.71	0.066
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.17	0.030
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.22	0.003
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.48	0.038

C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	22.12	0.003
C ₉ H ₁₂	Mesitylene	108-67-8	120	26.88	0.006
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.79	0.013
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.19	0.018
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.65	0.013
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.58	0.014
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	48.19	0.014
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	60.17	0.013
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methyl Alcohol	67-56-1	32	4.98	0.059
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.58	0.038
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.76	0.001
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.96	0.013
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.07	0.005
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.60	0.001
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	20.73	0.011
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.18	0.002
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptanolactone	105-21-5	128	31.29	0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.77	0.003
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.35	0.004
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	46.36	0.003
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalactone	104-67-6	184	56.09	0.012
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	74.67	0.004
C ₁₂ H ₁₆ O ₂	Benzoic acid pentyl ester	2049-96-9	192	76.45	0.021
C ₁₃ H ₁₈ O ₂	Benzoic acid hexyl ester	6789-88-4	206	79.17	0.011
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid heptyl ester	7155-12-6	220	84.15	0.074
C ₁₅ H ₂₂ O ₂	Benzoic acid octyl ester	94-50-8	234	91.59	0.188
C ₁₆ H ₂₄ O ₂	Benzoic acid nonyl ester	451-95-6	248	98.87	0.176
C ₁₇ H ₂₆ O ₂	Benzoic acid decyl ester	36685-97-9	262	108.46	0.076
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Dibutyl phthalate	84-74-2	278	119.07	1.338
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.40	0.043
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.31	0.014
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.61	0.017
C ₃ H ₄ O ₂	Methyl glyoxal	78-98-8	72	8.04	0.001
C ₄ H ₆ O	Methylacrylaldehyde	78-85-3	70	9.79	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.88	0.009
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.67	0.004
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.29	0.001
C ₅ H ₁₀ O	2-Methylbutanal	96-17-3	86	13.57	<0.001
C ₅ H ₁₀ O	2-Methylcrotonaldehyde	1115-11-3	84	14.25	0.016
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.84	0.007
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.52	0.020
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.17	0.012
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.30	0.010
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	23.56	0.009
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.30	0.041
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.09	0.007
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	27.98	0.019

C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.59	0.030
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.82	0.035
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	52.22	0.003
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.76	0.050
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.76	0.002
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.82	0.036
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.09	0.003
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.90	0.001
C ₆ H ₁₀ O	3-Methylcyclopentanone	1757-42-2	98	21.92	0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.00	0.010
C ₈ H ₁₆ O	2-Methyl-6-heptanone	928-68-7	128	25.75	0.068
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.76	0.021
C ₉ H ₁₄ O	Phorone	504-20-1	138	28.03	0.003
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.24	0.015
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.49	0.021
C ₈ H ₄ O ₃	Phthalic anhydride	85-44-9	148	36.25	0.012
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.25	0.007
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.61	0.008
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	88.24	0.038
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.41	0.182
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.39	0.005
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.00	0.184
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	23.08	0.024
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.48	0.008
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.56	0.126
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.03	0.027
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.11	0.082
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.65	0.061
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.00	0.043
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	n-Tridecanoic acid	638-53-9	214	80.68	0.066
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.86	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	11.84	0.003
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.25	0.051
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	15.20	0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	22.38	0.004
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.23	0.005
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	32.19	0.018
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	33.04	0.007
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.67	0.618
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.91	0.024
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	14.25	0.025
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.80	0.007
C ₄ H ₆ N ₂	1-Methylpyrazole	930-36-9	82	16.17	0.001
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.77	0.005
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.29	0.020

C ₄ H ₉ NO	N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	87	17.65	0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.18	0.017
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.08	0.175
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.96	0.002
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.53	0.064
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.84	0.003
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	7.94	0.003
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.52	<0.001
C ₇ H ₁₀ S	2-Propylthiophene	1551-27-5	126	24.66	0.002
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	28.94	0.003
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	31.97	0.002
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	34.40	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.95	26.358
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.38	66.233

Таблица A24. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении пирита (месторождение Доброе, Енисейский край). 133 соединения.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-11 pyrite	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.77	0.173
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.51	0.005
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.14	0.001
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.20	0.001
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.28	0.001
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.15	0.003
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.73	0.002
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.07	0.002
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.20	0.002
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	38.27	0.001
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	42.73	0.024
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	53.37	0.007
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	67.76	0.039
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.17	0.001
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.01	0.018
C5H10	2-Pentene	109-68-2	70	8.33	<0.001
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.39	<0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.61	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.79	0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.85	0.001
C8H16	(Z)-4-Octene	7642-15-1	112	19.68	0.005
C8H16	(E)-3-Octene	14919-01-8	112	19.85	0.004
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	20.05	0.022
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.07	0.003
C8H16	2-Octene	111-67-1	112	20.17	0.002
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.88	0.001
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.51	<0.001
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.87	<0.001
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	34.00	<0.001
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	38.07	<0.001
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	9.18	<0.001
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	12.94	0.001
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.72	0.030
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.19	0.011
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.23	0.002
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.50	0.042
C8H8	Styrene	100-42-5	104	22.13	0.001
C9H12	Mesitylene	108-67-8	120	26.93	0.001
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	28.83	0.006
C11H16	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.21	0.002
C12H18	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.69	0.006
C13H20	Heptylbenzene	1078-71-3	176	40.63	0.008
C14H22	Octylbenzene	2189-60-8	190	48.29	0.012

C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	60.17	0.013
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methyl Alcohol	67-56-1	32	4.93	0.028
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.59	0.013
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	13.86	0.015
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.96	0.003
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.07	0.005
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.62	<0.001
C ₄ H ₄ O ₂	γ-Crotonolactone	497-23-4	84	20.40	0.001
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptanolactone	105-21-5	128	31.32	0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.79	0.001
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.40	0.001
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	42.80	0.003
C ₁₃ H ₁₈ O ₂	Benzoic acid hexyl ester	6789-88-4	206	87.93	0.004
C ₁₄ H ₂₀ O ₂	Benzoic acid heptyl ester	7155-12-6	220	95.80	0.007
C ₁₅ H ₂₂ O ₂	Benzoic acid octyl ester	94-50-8	234	103.20	0.022
C ₁₆ H ₂₄ O ₂	Benzoic acid nonyl ester	451-95-6	248	110.57	0.017
C ₁₇ H ₂₆ O ₂	Benzoic acid decyl ester	36685-97-9	262	120.07	0.006
C ₁₆ H ₂₂ O ₄	Dibutyl phthalate	84-74-2	278	130.97	0.244
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.35	0.008
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.36	<0.001
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.41	<0.001
C ₄ H ₆ O	Methylacrylaldehyde	78-85-3	70	9.83	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.91	0.003
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.77	<0.001
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.87	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.55	0.008
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.18	0.004
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.31	<0.001
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	23.60	0.001
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.33	0.004
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.13	0.001
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.04	0.001
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.62	0.004
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.85	0.005
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.87	0.001
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.76	0.010
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.86	0.002
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.95	0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.96	0.003
C ₈ H ₁₆ O	2-Methyl-6-heptanone	928-68-7	128	25.78	0.009
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.81	0.002
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.27	0.001
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.49	0.003
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	36.29	0.011
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.32	0.003
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.51	0.024
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.57	0.001
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.13	0.010
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.48	0.001
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.08	0.003

C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.64	0.014
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.08	0.006
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.14	0.015
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.72	0.018
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.05	0.011
C ₁₁ H ₂₂ O ₂	n-Undecanoic acid	112-37-8	186	50.94	0.003
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	63.26	0.028
C ₁₃ H ₂₆ O ₂	n-Tridecanoic acid	638-53-9	214	95.00	0.007
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	120.60	0.022
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.91	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.44	0.003
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.27	<0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.24	0.001
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.68	0.051
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.99	0.007
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	14.27	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.85	0.001
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.89	0.001
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.54	<0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.21	0.003
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.14	0.001
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.95	0.022
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	76	3.51	0.001
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.98	0.006
CH ₄ N ₂ S	Thiourea	62-56-6	76	7.68	0.006
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	7.93	<0.001
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.96	0.044
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.11	0.001
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.47	0.002
C ₃ H ₃ NS	Thiazole	288-47-1	85	14.30	0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.54	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.70	0.003
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	17.05	0.009
C ₇ H ₁₀ S	2-Propylthiophene	1551-27-5	126	24.68	0.001
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	28.93	0.001
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	31.97	0.002
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	35.47	0.002
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.95	8.160
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.21	90.622

Таблица А25. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении арсенопирита (месторождение Доброе, Енисейский край). 140 соединений.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-10 arsenopyrite	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.82	6.094
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.52	0.088
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.21	0.003
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.17	0.001
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.22	0.001
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	19.71	0.035
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.33	0.037
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.21	0.004
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.78	0.015
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.09	0.012
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.22	0.003
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	39.18	0.009
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	49.38	0.038
Olefins					
C3H6	1-Propene	115-07-1	42	4.16	0.006
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.03	0.011
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.39	0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.61	0.001
C5H10	2-Pentene	109-68-2	70	8.79	0.001
C6H12	(Z)-3-Methyl-2-pentene	922-62-3	84	11.16	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.84	0.014
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.87	0.006
C8H16	(E)-3-Octene	14919-01-8	112	19.73	0.012
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.00	0.038
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.90	0.006
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.58	0.003
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.89	0.006
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	44.98	0.014
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	198	48.73	0.040
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C5H8	Cyclopentene	142-29-0	68	8.81	0.001
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	12.97	0.004
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.76	0.089
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.22	0.054
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.27	0.003
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.53	0.132
C9H12	Propylbenzene	103-65-1	120	25.08	0.024
C9H12	Mesitylene	108-67-8	120	26.91	0.010
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	28.84	0.022
C11H16	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.22	0.031
C12H18	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.74	0.031

C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	37.57	0.025
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methyl Alcohol	67-56-1	32	4.95	0.170
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.61	0.066
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.72	0.002
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.26	0.012
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.07	0.005
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.67	0.001
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.25	0.002
C ₅ H ₈ O ₂	δ-Valerolactone	542-28-9	100	26.94	0.002
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptanolactone	105-21-5	128	31.37	0.008
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.84	0.009
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	39.45	0.064
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	46.48	0.016
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalactone	104-67-6	184	52.01	0.031
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	61.63	0.042
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	54.09	0.036
C ₁₃ H ₂₄ O ₂	γ-Tridecalactone	x	212	75.02	0.034
C ₁₄ H ₂₆ O ₂	γ-Tetradecalactone	2721-23-5	226	90.04	0.011
C ₁₅ H ₂₂ O ₂	Benzoic acid octyl ester	94-50-8	234	110.52	0.027
C ₁₆ H ₂₄ O ₂	Benzoic acid nonyl ester	451-95-6	248	119.17	0.060
C ₁₇ H ₂₆ O ₂	Benzoic acid decyl ester	36685-97-9	262	125.71	0.143
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.34	0.306
C ₃ H ₄ O ₂	Methylglyoxal	78-98-8	72	8.04	0.001
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	8.06	<0.001
C ₄ H ₆ O	Methylacrylaldehyde	78-85-3	70	9.84	0.002
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.91	0.016
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.72	0.014
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.32	0.003
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.87	0.012
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.58	0.054
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.22	0.037
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.33	0.017
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	23.65	0.011
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.33	0.077
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.16	0.031
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.06	0.027
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.66	0.020
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.89	0.098
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.85	0.032
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.03	0.022
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	47.63	0.005
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.76	0.071
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.79	0.004
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.89	0.004
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.65	0.009
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.95	0.015

C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.06	0.013
C ₈ H ₁₆ O	2-Methyl-6-heptanone	928-68-7	128	25.81	0.106
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.83	0.023
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.36	0.013
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.57	0.076
C ₈ H ₄ O ₃	Phthalic anhydride	85-44-9	148	36.25	0.023
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.39	0.051
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	42.56	0.053
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	47.18	0.046
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	53.49	0.030
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	65.03	0.056
C ₁₆ H ₃₂ O	2-Hexadecanone	18787-63-8	240	84.48	0.160
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.52	0.285
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.59	0.008
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.22	0.104
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.21	0.004
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.20	0.029
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.76	0.112
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.17	0.031
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.29	0.102
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	37.02	0.120
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.45	0.147
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.92	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.47	0.047
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.30	0.025
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.28	0.032
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	29.84	0.013
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	33.14	0.023
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.68	0.051
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.99	0.007
C ₄ H ₄ N ₂	Pyrazine	290-37-9	80	14.27	0.001
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.85	0.001
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.89	0.001
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.54	<0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.21	0.003
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.14	0.001
Sulfonated compounds					
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.30	2.108
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.84	0.044
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	7.94	0.004
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.60	0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.74	0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	17.09	0.003
C ₇ H ₁₀ S	2-Propylthiophene	1551-27-5	126	24.68	0.005
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	32.02	0.008
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	34.74	0.016

Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	2.00	52.341
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.26	34.156

Таблица А26. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении арсенопирита (месторождение Доброе, Енисейский край). 133 соединения.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	D-4 arsenopyrite	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.78	2.116
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.53	0.026
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.21	<0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	12.12	0.001
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	16.22	<0.001
C8H16	3-Methyleneheptane	1632-16-2	112	19.70	0.006
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	20.30	0.015
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	24.18	0.012
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.78	0.007
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	31.09	0.006
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	34.22	0.003
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	39.45	0.014
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	46.49	0.004
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	74.99	0.027
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.13	0.001
C3H6	1-Propene	115-07-1	42	4.31	0.012
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.03	0.002
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.66	<0.001
C5H10	2-Pentene	109-68-2	70	8.79	<0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.87	0.001
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.85	0.004
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	20.00	0.001
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.90	0.003
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	27.54	0.003
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.89	0.001
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	39.22	0.001
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	198	45.80	0.009
Cyclic hydrocarbons					
Cycloalkanes (naphthenes) and cycloalkenes					
C6H10	3-Methylcyclopentene	1120-62-3	82	12.94	0.001
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.76	0.048
C7H8	Toluene	108-88-3	92	17.17	0.009
C8H10	Ethylbenzene	100-41-4	106	21.22	0.002
C8H10	p-Xylene	106-42-3	106	21.48	0.016
C9H12	Propylbenzene	103-65-1	120	25.08	0.017
C10H12	2-Butenylbenzene	1560-06-1	132	27.26	0.001
C10H14	Butylbenzene	104-51-8	134	28.84	0.019
C11H16	Pentylbenzene	538-68-1	148	32.22	0.007
C12H18	Hexylbenzene	1077-16-3	162	35.70	0.014
C14H22	Octylbenzene	2189-60-8	190	48.28	0.009
C15H24	Nonylbenzene	1081-77-2	204	60.37	0.009

Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methyl Alcohol	67-56-1	32	4.98	0.010
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.58	0.041
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.76	0.001
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	25.41	0.003
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	29.07	0.005
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.67	<0.001
C ₄ H ₄ O ₂	γ -Crotonolactone	497-23-4	84	20.52	<0.001
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	21.22	0.001
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ -Heptanolactone	105-21-5	128	31.36	0.001
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	70.84	0.252
C ₁₄ H ₁₈ O ₄	Dipropyl phthalate	131-16-8	250	113.94	0.235
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.40	0.023
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.29	0.008
C ₃ H ₆ O	Propanal	123-38-6	58	7.64	0.013
C ₄ H ₆ O	Methylacrylaldehyde	78-85-3	70	9.83	0.001
C ₄ H ₈ O	2-Methylpropanal	78-84-2	72	9.91	0.005
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.71	0.002
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	12.32	0.001
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.96	0.001
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.89	0.003
C ₅ H ₈ O	2-Methylcrotonaldehyde	1115-11-3	84	17.39	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	18.59	0.005
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	19.22	0.019
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	23.33	0.007
C ₆ H ₆ O ₂	5-Methylfurfural	620-02-0	110	23.65	0.002
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	24.30	0.012
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	27.14	0.014
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarbaldehyde	823-82-5	124	28.09	0.003
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.62	0.006
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.87	0.027
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	37.89	0.017
C ₁₂ H ₂₄ O	n-Dodecanal	112-54-9	184	43.91	0.022
C ₁₃ H ₂₆ O	n-Tridecanal	10486-19-8	198	53.42	0.053
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	68.36	0.026
C ₁₅ H ₃₀ O	n-Pentadecanal	2765-11-9	226	92.44	0.049
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.79	0.013
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.78	<0.001
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.87	0.001
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	17.12	<0.001
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.95	<0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	23.03	0.006
C ₈ H ₁₆ O	2-Methyl-6-heptanone	928-68-7	128	25.80	0.012
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.81	0.013
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	30.28	0.002
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	33.29	0.005
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	36.35	0.008

C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	37.05	0.001
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	51.87	0.012
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	88.61	0.023
<i>Carboxylic acids</i>					
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.52	0.099
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.62	0.002
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	19.15	0.074
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	22.30	0.006
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	23.08	0.010
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.74	0.056
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	30.14	0.013
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	33.26	0.035
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.97	0.026
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	42.31	0.031
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.89	<0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.46	0.004
C ₆ H ₈ O	2,5-Dimethylfuran	625-86-5	96	14.29	0.006
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	22.42	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	26.26	0.003
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	2.02	2.559
NH ₃	Ammonia	7664-41-7	17	3.08	0.045
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.88	0.014
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.82	0.001
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.95	0.001
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	16.55	0.003
C ₄ H ₉ NO	N,N-Dimethylacetamide	127-19-5	87	17.70	0.001
C ₃ H ₄ N ₂	Pyrazole	288-13-1	113	23.33	0.011
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	29.14	0.005
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	3.01	0.002
SO ₂	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.16	0.753
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.79	0.019
C ₂ H ₆ S	Dimethyl sulfide	75-18-3	62	7.94	0.002
C ₃ H ₈ S	(Methylthio)ethane	624-89-5	76	11.11	0.001
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.57	<0.001
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.74	0.001
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	17.07	0.003
C ₇ H ₁₀ S	2-Propylthiophene	1551-27-5	126	24.73	0.001
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	0.002	0.002
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	31.99	0.002
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	35.49	0.002
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.95	18.222
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.28	74.515
Unidentified compounds					
				35.50	0.016

				43.06	0.024
				50.59	0.027
				59.87	0.011

Таблица A27. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский кряж). 188 соединений.

Formula	Name	¹ CAS/(NIST)	² MW	Granular quartz D-1-3	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.65	4.244
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	4.11	0.036
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.00	0.002
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	8.36	<0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	11.71	0.005
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	15.70	0.006
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	19.78	0.009
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	23.65	0.014
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.21	0.014
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.52	0.006
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	33.61	0.006
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	37.32	0.006
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	42.94	0.009
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	51.62	0.019
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	65.65	0.015
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	87.89	0.011
Olefins					
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	5.63	0.004
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.81	0.003
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.00	0.001
C4H8	(E)-2-Butene	624-64-6	56	6.13	<0.001
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.08	0.005
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	7.89	0.001
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.31	0.007
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.79	0.001
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.37	0.014
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.35	0.002
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	19.00	<0.001
C8H16	(E)-2-Octene	13389-42-9	112	19.15	0.001
C8H16	(Z)-2-Octene	7642-04-8	112	19.35	<0.001
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.45	<0.001
C8H16	2-Octene	111-67-1	112	19.55	<0.001
C8H16	3-Methyl-2-heptene	3404-75-9	112	19.88	<0.001
C9H18	1-Nonene	124-11-8	126	23.35	0.002
C10H20	1-Decene	872-05-9	140	26.98	0.002
C11H22	1-Undecene	821-95-4	154	30.32	0.002
C12H24	1-Dodecene	112-41-4	168	33.42	0.002
C13H26	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.05	0.006
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	196	42.46	0.017
C15H30	1-Pentadecene	13360-61-7	210	51.04	0.025
C17H34	1-Heptadecene	6765-39-5	238	86.49	0.029
Cyclic hydrocarbons					
Arenes					
C6H6	Benzene	71-43-2	78	12.24	0.047

C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	16.64	0.024
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.30	0.001
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	20.63	0.006
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	20.92	0.021
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	20.98	0.003
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.35	0.003
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.55	0.003
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	23.00	0.002
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.45	0.005
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.23	0.006
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	31.62	0.009
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	34.94	0.003
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	45.55	0.016
<i>PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	31.71	0.002
C ₁₁ H ₁₀	1-Methylnaphthalene	90-12-0	142	35.35	0.001
C ₁₁ H ₁₀	2-Methylnaphthalene	91-57-6	142	35.87	0.002
C ₁₄ H ₁₆	1-Butylnaphthalene	1634-09-9	184	54.49	0.001
C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	85-01-8	178	83.86	0.003
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.40	0.052
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.28	0.032
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.91	0.004
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.48	0.031
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	25.73	0.002
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	27.09	0.002
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.01	0.005
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.16	0.028
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.62	0.004
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.14	0.007
C ₆ H ₁₀ O ₂	δ-Hexalactone	823-22-3	114	28.59	0.006
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.72	0.006
C ₇ H ₁₂ O ₂	δ-Heptalactone	3301-90-4	128	31.76	0.001
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.12	0.009
C ₈ H ₁₄ O ₂	δ-Octalactone	698-76-0	142	35.05	0.001
C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.37	0.019
C ₉ H ₁₆ O ₂	δ-Nonalactone	3301-94-8	156	39.73	0.002
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	44.80	0.012
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	δ-Decalactone	705-86-2	170	46.74	0.003
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalatone	104-67-6	184	54.89	0.004
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	δ-Undecalatone	710-04-3	184	55.20	0.010
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	70.81	0.013
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	10-Methylundecan-5-olide	(370407)	198	68.63	0.002
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	δ-Dodecalactone	713-95-1	198	74.99	0.008
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl Phthalate	84-66-2	222	82.98	1.847
C ₁₃ H ₂₄ O ₂	γ-Tridecalactone	x	212	96.74	0.006
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.20	0.340
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.13	0.017
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.41	0.029

C ₄ H ₆ O	Isobutenal	78-85-3	70	9.46	0.004
C ₄ H ₈ O	Isobutanal	78-84-2	72	9.53	0.005
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.29	0.008
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	11.84	0.003
C ₅ H ₈ O	2-Methyl-2-butenal	1115-11-3	84	13.12	0.003
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.41	0.004
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.37	0.006
C ₅ H ₈ O	3-Methyl-2-butenal	107-86-8	84	16.84	0.004
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.12	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	17.99	0.006
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.67	0.008
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.78	0.011
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.68	0.085
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.23	0.007
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.58	0.019
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.38	0.002
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.06	0.029
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.27	0.025
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	36.97	0.010
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	64.66	0.020
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.48	0.031
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.08	0.003
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.39	0.004
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.46	0.007
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	14.16	0.004
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.57	0.012
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.42	0.002
C ₆ H ₁₀ O	2-Methylcyclopentanone	1120-72-5	98	21.33	0.006
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.50	0.002
C ₆ H ₈ O	3-Methyl-2-cyclopenten-1-one	2758-18-1	96	24.28	0.239
C ₈ H ₁₆ O	6-Methyl-2-heptanone	928-68-7	128	25.48	0.002
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.28	0.006
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	29.76	0.002
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	32.96	0.004
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.40	0.046
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	36.54	0.003
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	41.77	0.004
C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	49.73	0.011
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	62.73	0.014
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	83.23	0.028
<i>Carboxylic acids</i>					
CH ₂ O ₂	Formic acid	64-18-6	46	6.28	0.013
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.26	0.128
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.22	0.011
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	18.80	0.075
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	21.80	0.009
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	22.73	0.026
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.26	0.068
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.64	0.029
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.71	0.053

C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.05	0.053
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.00	0.039
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	62.02	0.019
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	120.15	0.040
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.39	0.001
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.03	0.002
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.31	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.72	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.50	<0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	21.88	0.002
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	25.70	0.002
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.57	32.443
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.76	0.044
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.26	0.002
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.35	0.002
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	15.92	0.018
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.24	0.006
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxopropanoic acid	x	87	17.24	0.012
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.12	0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.52	0.001
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.20	0.001
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.37	0.001
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	23.45	0.002
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	27.33	0.001
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	29.84	0.002
C ₅ H ₇ NO ₂	N-Methylsuccinimide	1121-07-9	113	30.87	0.003
C ₇ H ₁₅ NO	Heptamide	628-62-6	129	33.82	0.002
C ₈ H ₁₇ NO	Octanamide	629-01-6	143	34.09	0.001
C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	38.22	0.003
C ₉ H ₁₁ NO	Phenylpropanamide	102-93-2	149	43.11	1.432
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	44.45	0.003
C ₁₂ H ₂₅ NO	Dodecanamide	1120-16-7	199	54.09	0.004
C ₁₁ H ₂₁ NO ₃	Hexanoyl glycine n-propyl ester	(453014)	215	78.63	0.004
C ₁₅ H ₂₄ FN	N,N-dibutyl-2-fluorobenzylamine	(310312)	237	86.43	0.086
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.80	0.002
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.41	0.015
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.16	0.625
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.41	0.011
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.61	0.030
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	11.99	0.002
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.00	0.003
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.14	0.003
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.47	0.002
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	21.35	0.002
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	27.91	0.002

C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	31.36	0.002
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	34.69	0.001
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Heptylthiophene	18794-78-0	182	39.13	0.003
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Octylthiophene	880-36-4	196	45.88	0.002
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.82	45.774
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.20	10.962
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.58	0.032

Таблица A28. Результаты ГХ-МС анализа летучих, выделенных при ударно-механическом разрушении кварца (месторождение Доброе, Енисейский край). 201 соединение.

Formula	Name	¹ CAS	² MW	Vein quartz D-1-2	
				³ RT, min	⁴ A, %
Aliphatic hydrocarbons					
Paraffins					
CH4	Methane	74-82-8	16	1.67	0.553
C2H6	Ethane	74-84-0	30	2.33	0.096
C3H8	n-Propane	74-98-6	44	4.10	0.040
C4H10	n-Butane	106-97-8	58	6.00	0.003
C5H12	n-Pentane	109-66-0	72	8.38	0.001
C6H14	n-Hexane	110-54-3	86	11.72	0.009
C7H16	n-Heptane	142-82-5	100	15.72	0.010
C8H18	n-Octane	111-65-9	114	19.78	0.014
C9H20	n-Nonane	111-84-2	128	23.65	0.017
C10H22	n-Decane	124-18-5	142	27.23	0.014
C11H24	n-Undecane	1120-21-4	156	30.54	0.008
C12H26	n-Dodecane	112-40-3	170	33.62	0.009
C13H28	n-Tridecane	629-50-5	184	37.34	0.001
C14H30	n-Tetradecane	629-59-4	198	42.98	0.010
C15H32	n-Pentadecane	629-62-9	212	51.67	0.011
C16H34	n-Hexadecane	544-76-3	226	65.58	0.025
C17H36	3-Methylhexadecane	6418-43-5	240	82.50	0.129
C17H36	n-Heptadecane	629-78-7	240	88.19	0.020
C18H38	2-Methylheptadecane	1560-89-0	254	108.8	0.600
Olefins					
C2H4	Ethylene	74-85-1	28	2.13	0.028
C3H6	1-Propene	115-07-1	42	3.93	0.034
C4H8	Isobutene	115-11-7	56	5.63	0.006
C4H8	1-Butene	106-98-9	56	5.81	0.053
C4H8	2-Butene	107-01-7	56	6.03	0.012
C4H8	(E)-2-Butene	624-64-6	56	6.13	0.010
C5H10	1-Pentene	109-67-1	70	8.09	0.005
C5H8	(E)-1,3-Pentadiene	2004-70-8	68	8.26	0.004
C5H8	1,3-Pentadiene	504-60-9	68	8.33	0.014
C5H8	(Z)-1,3-Pentadiene	1574-41-0	68	8.53	0.002
C6H12	1-Hexene	592-41-6	84	11.37	0.003
C5H8	1-Pentyne	627-19-0	68	7.76	0.001
C6H10	2,3-Dimethylbutadiene	513-81-5	82	11.86	0.005
C14H28	1-Tetradecene	1120-36-1	198	45.80	0.009
C7H14	5-Methyl-1-hexene	3524-73-0	98	12.32	0.001
C6H10	3-Hexyne	928-49-4	82	12.49	0.007
C7H14	1-Heptene	592-76-7	98	15.37	0.003
C8H16	(Z)-4-Octene	7642-15-1	112	19.02	0.001
C8H16	(E)-3-Octene	14919-01-8	112	19.17	0.003
C8H16	(Z)-3-Octene	14850-22-7	112	19.35	0.001
C8H16	(E)-2-Octene	13389-42-9	112	19.45	0.001
C8H16	(Z)-2-Octene	7642-04-8	112	19.57	0.003
C8H16	1-Octene	111-66-0	112	19.67	0.001
C8H16	3-Methyl-2-heptene	3404-75-9	112	19.92	0.001

C ₉ H ₁₈	1-Nonene	124-11-8	126	23.36	0.002
C ₁₀ H ₂₀	1-Decene	872-05-9	140	26.99	0.003
C ₁₁ H ₂₂	1-Undecene	821-95-4	154	30.34	0.003
C ₁₂ H ₂₄	1-Dodecene	112-41-4	168	33.44	0.004
C ₁₃ H ₂₆	1-Tridecene	2437-56-1	182	37.10	0.005
C ₁₄ H ₂₈	1-Tetradecene	1120-36-1	196	42.55	0.013
C ₁₅ H ₃₀	1-Pentadecene	13360-61-7	210	51.07	0.024
C ₁₇ H ₃₄	1-Heptadecene	6765-39-5	238	86.61	0.023
Cyclic hydrocarbons					
<i>Arenes</i>					
C ₆ H ₆	Benzene	71-43-2	78	12.26	0.072
C ₇ H ₈	Toluene	108-88-3	92	16.65	0.018
C ₇ H ₇ F	(Fluoromethyl)benzene	350-50-5	110	20.32	0.002
C ₈ H ₁₀	Ethylbenzene	100-41-4	106	20.67	0.008
C ₈ H ₁₀	p-Xylene	106-42-3	106	20.93	0.023
C ₈ H ₁₀	o-Xylene	95-47-6	106	21.35	0.001
C ₈ H ₁₀	m-Xylene	108-38-3	106	21.60	0.005
C ₈ H ₈	Styrene	100-42-5	104	21.57	0.008
C ₈ H ₉ F	p-Fluoroethylbenzene	459-47-2	124	23.01	0.001
C ₉ H ₁₂	Propylbenzene	103-65-1	120	24.48	0.009
C ₁₀ H ₁₄	Butylbenzene	104-51-8	134	28.24	0.008
C ₁₁ H ₁₆	Pentylbenzene	538-68-1	148	31.64	0.012
C ₁₂ H ₁₈	Hexylbenzene	1077-16-3	162	34.94	0.009
C ₁₃ H ₂₀	Heptylbenzene	1078-71-3	176	39.50	0.007
C ₁₄ H ₂₂	Octylbenzene	2189-60-8	190	46.36	0.015
C ₁₅ H ₂₄	Nonylbenzene	1081-77-2	204	57.24	0.020
<i>PAHs (Polycyclic aromatic hydrocarbons)</i>					
C ₁₀ H ₈	Naphthalene	91-20-3	128	31.72	0.004
C ₁₁ H ₁₀	1-Methylnaphthalene	90-12-0	142	35.39	0.002
C ₁₁ H ₁₀	2-Methylnaphthalene	91-57-6	142	35.87	0.003
C ₁₄ H ₁₆	1-Butylnaphthalene	1634-09-9	184	54.52	0.002
C ₁₄ H ₁₀	Phenanthrene	85-01-8	178	83.40	0.002
Oxygenated hydrocarbons					
<i>Alcohols</i>					
CH ₄ O	Methanol	67-56-1	32	4.43	0.074
C ₂ H ₆ O	Ethanol	64-17-5	46	6.20	0.005
C ₃ H ₈ O	Isopropyl Alcohol	67-63-0	60	7.93	0.009
C ₅ H ₁₀ O	Dimethylvinylmethanol	115-18-4	86	11.06	0.001
C ₄ H ₁₀ O	1-Butanol	71-36-3	74	12.62	0.006
C ₆ H ₆ O	Phenol	108-95-2	94	24.48	0.023
C ₇ H ₈ O	2-Methylphenol	95-48-7	108	25.75	0.001
C ₇ H ₈ O	3-Methylphenol	108-39-4	108	27.13	0.001
C ₇ H ₈ O	4-Methylphenol	106-44-5	108	28.01	0.002
C ₁₁ H ₁₄ O ₃	2,6-Dimethoxy-4-(2-propenyl)-phenol	6627-88-9	194	86.64	0.030
<i>Ethers and esters</i>					
C ₅ H ₈ O ₂	Methyl methacrylate	80-62-6	100	14.17	0.004
C ₄ H ₆ O ₂	Butyrolactone	96-48-0	86	20.62	0.002
C ₆ H ₁₀ O ₂	γ-Hexalactone	695-06-7	114	27.14	0.005
C ₇ H ₁₂ O ₂	γ-Heptalactone	105-21-5	128	30.74	0.003
C ₈ H ₁₄ O ₂	γ-Octalactone	104-50-7	142	34.14	0.004
C ₈ H ₁₄ O ₂	δ-Octalactone	698-76-0	142	35.07	0.001

C ₉ H ₁₆ O ₂	γ-Nonalactone	104-61-0	156	38.40	0.011
C ₉ H ₁₆ O ₂	δ-Nonalactone	104-61-0	156	39.78	0.001
C ₁₀ H ₁₂ O ₃	Methyl 3-methoxy-4-methylbenzoate	3556-83-0	180	43.15	0.048
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	γ-Decalactone	706-14-9	170	44.86	0.006
C ₁₀ H ₁₈ O ₂	δ-Decalactone	705-86-2	170	46.73	0.001
C ₁₁ H ₂₀ O ₂	γ-Undecalatone	104-67-6	184	55.07	0.002
C ₁₂ H ₁₄ O ₄	Diethyl phthalate	84-66-2	222	82.50	0.026
C ₁₂ H ₂₂ O ₂	γ-Dodecalactone	2305-05-7	198	71.06	0.006
<i>Aldehydes</i>					
C ₂ H ₄ O	Acetaldehyde	75-07-0	44	5.18	0.127
C ₃ H ₄ O	2-Propenal	107-02-8	56	7.13	0.007
C ₃ H ₆ O	n-Propanal	123-38-6	58	7.31	0.037
C ₄ H ₆ O	Isobutenal	78-85-3	70	9.48	0.008
C ₄ H ₈ O	Isobutanal	78-84-2	72	9.54	0.006
C ₄ H ₈ O	n-Butanal	123-72-8	72	10.31	0.006
C ₄ H ₆ O	2-Butenal	4170-30-3	70	11.87	0.004
C ₅ H ₁₀ O	3-Methylbutanal	590-86-3	86	13.42	0.002
C ₅ H ₁₀ O	n-Pentanal	110-62-3	86	14.39	0.005
C ₅ H ₈ O	3-Methyl-2-butenal	107-86-8	84	16.85	0.003
C ₅ H ₄ O ₂	Furfural	98-01-1	96	17.12	0.001
C ₅ H ₄ O ₂	3-Furaldehyde	498-60-2	96	18.00	0.004
C ₆ H ₁₂ O	n-Hexanal	66-25-1	100	18.68	0.006
C ₇ H ₁₄ O	n-Heptanal	111-71-7	114	22.98	0.003
C ₇ H ₆ O	Benzaldehyde	100-52-7	106	23.70	0.055
C ₈ H ₁₆ O	2-Ethylhexanal	123-05-7	128	25.25	0.003
C ₈ H ₁₆ O	n-Octanal	124-13-0	128	26.59	0.010
C ₆ H ₄ O ₃	2,5-Furandicarboxaldehyde	823-82-5	124	27.39	0.002
C ₉ H ₁₈ O	n-Nonanal	124-19-6	142	30.09	0.016
C ₁₀ H ₂₀ O	n-Decanal	112-31-2	156	33.29	0.015
C ₁₁ H ₂₂ O	n-Undecanal	112-44-7	170	36.99	0.087
C ₁₄ H ₂₈ O	n-Tetradecanal	124-25-4	212	64.73	0.025
<i>Ketones</i>					
C ₃ H ₆ O	2-Propanone	67-64-1	58	7.48	0.036
C ₄ H ₆ O	2-Butenone	78-94-4	70	10.09	0.002
C ₄ H ₆ O ₂	2,3-Butanedione	431-03-8	86	10.39	0.003
C ₄ H ₈ O	2-Butanone	78-93-3	72	10.47	0.004
C ₅ H ₁₀ O	2-Pentanone	107-87-9	86	13.82	<0.001
C ₅ H ₈ O	Cyclopentanone	120-92-3	84	16.59	0.011
C ₅ H ₆ O	Cyclopentenone	930-30-3	82	17.92	0.004
C ₆ H ₁₂ O	2-Hexanone	591-78-6	100	18.43	0.002
C ₆ H ₁₀ O	2-Methylcyclopentanone	1120-72-5	98	21.37	0.001
C ₇ H ₁₄ O	2-Heptanone	110-43-0	114	22.50	0.003
C ₆ H ₈ O	3-Methoxy-4-methyl-2-cyclopenten-1-one	2758-18-1	96	24.35	0.102
C ₈ H ₁₆ O	6-Methyl-2-heptanone	928-68-7	128	25.51	0.002
C ₈ H ₁₆ O	2-Octanone	111-13-7	128	26.26	0.007
C ₉ H ₁₈ O	2-Nonanone	821-55-6	142	29.78	0.004
C ₁₀ H ₂₀ O	2-Decanone	693-54-9	156	32.99	0.003
C ₈ H ₄ O ₃	1,3-Isobenzofurandione	85-44-9	148	35.40	0.064
C ₁₁ H ₂₂ O	2-Undecanone	53452-70-3	170	36.54	0.004
C ₁₂ H ₂₄ O	2-Dodecanone	6175-49-1	184	41.75	0.003

C ₁₃ H ₂₆ O	2-Tridecanone	593-08-8	198	49.84	0.007
C ₁₄ H ₂₈ O	2-Tetradecanone	2345-27-9	212	62.78	0.007
C ₁₅ H ₃₀ O	2-Pentadecanone	2345-28-0	226	83.26	0.018
<i>Carboxylic acids</i>					
CH ₂ O ₂	Formic acid	64-18-6	46	6.39	0.003
C ₂ H ₄ O ₂	Acetic acid	64-19-7	60	11.22	0.151
C ₃ H ₆ O ₂	n-Propanoic acid	79-09-4	74	15.19	0.006
C ₄ H ₈ O ₂	n-Butanoic acid	107-92-6	88	18.78	0.077
C ₅ H ₁₀ O ₂	3-Methylbutanoic acid	503-74-2	102	21.80	0.009
C ₅ H ₁₀ O ₂	n-Pentanoic acid	109-52-4	102	22.73	0.029
C ₆ H ₁₂ O ₂	n-Hexanoic acid	142-62-1	116	26.23	0.098
C ₇ H ₁₄ O ₂	n-Heptanoic acid	111-14-8	130	29.63	0.027
C ₈ H ₁₆ O ₂	n-Octanoic acid	124-07-2	144	32.71	0.062
C ₉ H ₁₈ O ₂	n-Nonanoic acid	112-05-0	158	36.07	0.044
C ₁₀ H ₂₀ O ₂	n-Decanoic acid	334-48-5	172	41.10	0.031
C ₁₂ H ₂₄ O ₂	n-Dodecanoic acid	143-07-7	200	61.15	0.033
C ₁₄ H ₂₈ O ₂	n-Tetradecanoic acid	544-63-8	228	116.22	0.047
Heterocyclic compounds					
<i>Dioxanes</i>					
C ₄ H ₈ O ₂	1,4-Dioxane	123-91-1	88	13.41	0.002
<i>Furans</i>					
C ₅ H ₆ O	2-Methylfuran	534-22-5	82	10.04	0.004
C ₅ H ₆ O	3-Methylfuran	930-27-8	82	10.31	0.001
C ₆ H ₈ O	2-Ethylfuran	3208-16-0	96	13.72	0.001
C ₆ H ₆ O	2-Vinylfuran	1487-18-9	94	14.52	<0.001
C ₈ H ₁₂ O	2-Butylfuran	4466-24-4	124	21.88	0.001
C ₉ H ₁₄ O	2-Pentylfuran	3777-69-3	138	25.70	0.002
C ₁₀ H ₁₆ O	2-Hexylfuran	3777-70-6	152	29.24	0.001
C ₁₁ H ₁₈ O	2-Heptylfuran	3777-71-7	166	32.49	0.001
C ₁₂ H ₂₀ O	2-Octylfuran	4179-38-8	180	35.94	0.001
Nitrogenated compounds					
N ₂	Nitrogen	7727-37-9	28	1.58	37.467
H ₃ N	Ammonia	7664-41-7	17	2.81	0.035
C ₂ H ₃ N	Acetonitrile	75-05-8	41	6.76	0.025
C ₃ H ₅ N	Propargylamine	2450-71-7	55	9.26	0.004
C ₄ H ₅ N	Pyrrole	109-97-7	67	14.39	0.005
C ₅ H ₅ N	Pyridine	110-86-1	79	15.25	0.005
C ₂ H ₅ NO	Acetamide	60-35-5	59	15.92	0.014
C ₃ H ₅ NO ₂	2-Oxopropanoic acid	x	87	17.25	0.002
C ₆ H ₉ N	2,3-Dimethyl-1H-pyrrole	600-28-2	95	18.12	0.001
C ₆ H ₇ N	2-Methylpyridine	109-06-8	93	18.53	0.001
C ₆ H ₇ N	3-Methylpyridine	108-99-6	93	20.23	0.001
C ₆ H ₇ N	4-Methylpyridine	108-89-4	93	20.38	0.001
C ₅ H ₁₁ NO	Pentanamide	626-97-1	101	23.48	0.001
C ₆ H ₁₃ NO	Hexanamide	628-02-4	115	27.33	0.001
C ₄ H ₅ NO ₂	Succinimide	123-56-8	99	28.61	0.006
C ₄ H ₇ NO	2-Pyrrolidinone	616-45-5	85	29.88	0.001
C ₇ H ₁₅ NO	Heptamide	628-62-6	129	30.82	0.002
C ₅ H ₇ NO ₂	N-Methylsuccinimide	1121-07-9	113	30.89	0.002
C ₈ H ₁₇ NO	Octanamide	629-01-6	143	34.14	0.001

C ₉ H ₁₉ NO	Nonanamide	1120-07-6	157	38.23	0.001
C ₁₀ H ₂₁ NO	Decanamide	2319-29-1	171	44.45	0.002
C ₁₂ H ₂₅ NO	Dodecanamide	1120-16-7	199	54.19	0.002
Sulfonated compounds					
H ₂ S	Hydrogen sulfide	7783-06-4	34	2.76	0.007
COS	Carbonyl sulfide	463-58-1	60	3.33	0.015
O ₂ S	Sulfur dioxide	7446-09-5	64	4.11	0.486
CH ₄ S	Methanethiol	74-93-1	48	5.41	0.182
CS ₂	Carbon disulfide	75-15-0	76	7.63	0.038
C ₄ H ₄ S	Thiophene	110-02-1	84	12.01	0.003
C ₂ H ₆ S ₂	Dimethyl disulfide	624-92-0	94	15.02	0.003
C ₅ H ₆ S	2-Methylthiophene	554-14-3	98	16.15	0.003
C ₅ H ₆ S	3-Methylthiophene	616-44-4	98	16.50	0.002
C ₆ H ₈ S	2-Ethylthiophene	872-55-9	112	21.37	0.002
C ₈ H ₁₂ S	2-Butylthiophene	1455-20-5	140	28.83	0.002
C ₉ H ₁₄ S	2-Pentylthiophene	4861-58-9	154	31.37	0.002
C ₁₀ H ₁₆ S	2-Hexylthiophene	18794-77-9	168	34.70	0.002
C ₁₁ H ₁₈ S	2-Heptylthiophene	18794-78-0	182	39.22	0.002
C ₁₂ H ₂₀ S	2-Octylthiophene	880-36-4	196	46.00	0.002
C ₁₃ H ₂₂ S	2-Nonylthiophene	57754-07-1	210	56.62	0.001
Inorganic compounds					
<i>Oxides</i>					
CO ₂	Carbon dioxide	124-38-9	44	1.83	10.748
H ₂ O	Water	7732-18-5	18	3.11	47.212
<i>Noble gases</i>					
Ar	Argon	7440-37-1	40	1.57	0.022