

На правах рукописи

Бабкин Дмитрий Иванович

**УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАФИТСОДЕРЖАЩИХ РУД КАЛГУТИНСКОГО
РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ГОРНЫЙ АЛТАЙ)**

Специальность 25.00.11 – «Геология, поиски и разведка твердых полезных
ископаемых, минерагения»

**Автореферат диссертации на соискание ученой
степени кандидата геолого-минералогических наук**

Томск – 2007

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель: кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Поцелуев Анатолий Алексеевич

Официальные оппоненты - доктор геолого-минералогических наук,
профессор Чернышов Алексей Иванович
- кандидат геолого-минералогических наук,
доцент Ершов Василий Владимирович

Ведущая организация: Институт геологии и минералогии СО РАН

Защита состоится 9 ноября 2007 г. в 15⁰⁰ в 210 аудитории 1 учебного корпуса на заседании диссертационного Совета Д.212.269.07 в Томском политехническом университете по адресу: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан « 1 » октября 2007 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Евсеев В.Д.

Актуальность исследований. В последние годы в составе руд Калгутинского грейзенового месторождения выявлены не типичные для объектов этого типа высокие содержания золота, серебра, платиноидов и ряд самородных минералов, в том числе кристаллические и аморфные разности углерода (Поцелуев, Котегов, Рихванов и др., 2004; Поцелуев, Котегов, Акимцев, 2004). Изучению условий формирования данных ассоциаций и особенностям состава рудообразующих флюидов, разработке новых критериев оценки глубоких горизонтов месторождения посвящены данные исследования.

Проведенные ранее исследования (Сотников, Никитина, 1971; Кужельная, Дергачев, 1990 и др.) были выполнены на ограниченный перечень компонентов по единичным образцам и не раскрывают причины возникновения данного оруденения.

Цель работы. Изучить условия формирования графитсодержащих руд месторождения, а также их изменение в пределах рудных тел и в процессе рудообразования.

В рамках поставленной цели решались следующие задачи:

1. Определение температуры формирования оруденения;
2. Определение состава и концентрации солей во флюидных включениях (ФВ);
3. Определение состава газов ФВ и изучение их эволюции;
4. Определение содержания металлов в растворе ФВ;
5. Моделирование процесса формирования графитсодержащих минеральных ассоциаций.

Научная новизна работы. Впервые определены физико-химические параметры и состав флюидов, из которых образованы графитсодержащие руды Калгутинского грейзенового месторождения. Установлено, что образование самородного углерода (графит и аморфные разности) происходило в условиях частичного (не полного) окисления углеводородных первично восстановленных флюидов. Впервые определен состав металлов в минералообразующем флюиде. Выявлен газовый состав и установлен химический состав флюида (>40 элементов). Впервые установлена взаимосвязь между изменением состава флюидных включений и минеральным составом жил.

Практическая значимость работы. Получены новые данные, позволяющие составить более полное представление об условиях формирования месторождений редкометалльной грейзеново-жильной формации на примере Калгутинского месторождения. Выполненные автором исследования позволяют произвести потенциальную оценку рудных тел на глубину, а так же выработать критерии оценки перспектив рудоносности других вновь выявляемых образований в рудном районе.

Исходные фактические материалы и методы исследования. В основу работы положены материалы, полученные автором в результате полевых работ в 1999, 2000, 2005 г.г. на Калгутинском месторождении, а так

же результаты лабораторных исследований, выполненных в период обучения в аспирантуре Томского политехнического университета с 2003 по 2006 г.

Для характеристики объекта в полевых условиях проведено штуфное и бороздовое опробование рудных жил вскрытых на горизонтах штолен 20, 19, 18, околожилных грейзенов, автономных грейзеновых тел, альбитизированных гранитов, калгутитов и вмещающих порфировидных гранитов – всего 166 проб, а так же отбор образцов пород и руд – всего 43. В лабораторных условиях проводилось минералогическое изучение протолок и отбор мономинеральных фракций (270), исследование шлифов горных пород и обработка данных анализов, а также анализ и обобщение литературных данных.

Общий перечень анализируемых элементов и компонентов руд, мономинеральных фракций и флюидных включений составляет от 60 до 70.

Изучение включений проводилось в полированных с двух сторон пластинках кварца толщиной 0,2 мм. Всего изучено около 1000 включений.

Определение состава газов ФВ (101 проба) проводилось методом газовой хроматографии в 2-х лабораториях (изотопная лаборатория ЦНИГРИ, г. Москва и лаборатория термобарогеохимии ИГиМ СО РАН, г. Новосибирск). Определялись следующие компоненты включений: H_2O , CO_2 , CO , H_2 , N_2 , а также предельные (CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , C_6H_{14}) и непредельные (C_2H_2 , C_2H_4) углеводороды. Элементный состав ФВ определялся методом ICP-MS (25 проб, 45 элементов) и методом ионной хроматографии (12 проб, 7 компонентов).

Обработаны данные 1200 анализов (ИНАА, ЭСПА, КХА, РСА, ICP-MS и др.).

Для обработки информации использовался пакет программ: Microsoft Word, Microsoft Excel, Statistica, Surfer 7.0, Corel Draw 12, Adobe Illustrator 10, Adobe Photoshop 6.0.

Апробация работы. По результатам полевых исследований составлен один научно-исследовательский отчет. Результаты работы докладывались: на пятом, шестом, седьмом, восьмом, девятом и десятом Международном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова в Томском политехническом университете; на научной конференции «Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири», посвященной 100-летию профессора Томского политехнического университета П.А. Удодова, г. Томск 2003 г.; на научной конференции «XV Российское совещание по экспериментальной минералогии», г. Сыктывкар, 2005 г.; на научной конференции «Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд», г. Иркутск, 2006; По теме диссертации опубликовано 21 печатная работа, из них 15 в соавторстве. В реферируемых изданиях, включенных в перечень ВАК – 7 публикаций.

Выполненные автором научные исследования были поддержаны грантами «Университеты России – фундаментальные исследования» (проект УР 09.01.045) в 2005 г., Российского фонда фундаментальных исследований

(проект 05-05-64356) (тема 2.65 С.) в 2005 – 2007 г.г., а также индивидуальным грантом Томского политехнического университета в 2006 г.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав: 1. Методика исследований, 2. Геологическая характеристика Калгутинского рудного поля, 3. Режим формирования рудоносных образований по данным изучения флюидных включений (ФВ), 4. Элементный состав рудообразующего флюида, 5. Эволюция флюида в процессе формирования оруденения, заключения. Объем машинописного текста 179 страниц, 32 рисунка, 37 таблиц. Список использованной литературы включает 268 наименований.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность и благодарность научному руководителю доценту, к.г.-м.н., А.А. Поцелуеву, под началом которого он начал заниматься исследованиями в этом направлении с 2000 г.

Особую благодарность автор выражает, к.г.-м.н., В.И. Котегову за помощь в проведении лабораторных исследований и консультации.

Неоценимую помощь по изучению ФВ оказал коллектив лаборатории термобарогеохимии (ИГиМ, СО РАН, г. Новосибирск) – зав. лабораторией д.г.-м.н А.А. Томиленко, к.г.-м.н. Н.А. Гибшер, к.г.-м.н. О.А. Козьменко, Л.Н. Фомина. При выполнении работы автор неизменно руководствовался их советами и рекомендациями.

Автор признателен сотрудникам ядерно-геохимической лаборатории ТПУ к.т.н. Е.Г. Вертману, с.н.с. А.Ф. Судыко и сотрудникам геолого-аналитического центра «Золото-платина» ТПУ (научный руководитель профессор, д.г.-м.н. А.Ф. Коробейников, зав. лаб., с.н.с., к.г.-м.н. Пшеничкин А.Я.), за помощь в проведении большого объема аналитических исследований.

Автор благодарит всех сотрудников коллективов кафедр ГЭГХ и ГРПИ за поддержку, помощь и ценные советы при написании диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ. В работе рассматриваются и защищаются следующие положения:

Первое защищаемое положение: Формирование графитсодержащих минеральных ассоциаций происходило при температурах 325–475°C на 2-ом этапе формирования Калгутинского редкометалльного месторождения из среднеминерализованных флюидов, общая минерализация которых составляет 12,5...16,9 г/л и представлена в основном NaCl (до 89 %).

Калгутинское месторождение расположено в юго-восточной (эндо - и экзоконтактовой) части одноименного массива лейкократовых редкометалльных позднегерцинских гранитов. Оруденение представлено серией крутопадающих вольфрамит-молибденит-кварцевых жил с халькопиритом, висмутином, бериллом. Жилы сопровождаются грейзеновой оторочкой мощностью до 0,5 м. Отмечаются изолированные участки грейзенов, в форме линейных зон, раздувов и столбообразных тел типа «Мо–шток».

В развитии Калгутинской флюидно-магматической системы выделяется 2 этапа и 5 стадий (Крюков и др., 1986, ф; Морозов, 1986). Первый дорудный этап парагенетически связан с порфировидными биотитовыми гранитами I фазы внедрения ($\gamma\text{-I}\gamma\text{T}_3\text{-J}_1\text{kl}$) и включает одну турмалин-вольфрамит-кварцевую стадию.

Второй главный этап рудообразования объединяет два подэтапа. Первый подэтап включает стадию формирования автономного грейзенового оруденения типа «Мо-шток», парагенетически связанного с внедрением гранит-порфиров II фазы ($\gamma\text{I}_2\text{J}_1\text{vk}$). Вторым основным подэтапом рудообразования объединяет последовательно образования редкометалльно-гюбнерит-кварцевой, сульфосольно-сульфидно-кварцевой и заключительной карбонат-кварцевой стадий минералообразования. Образования сульфидно-сульфосольно-кварцевой стадии преимущественно телескопированы в более ранние структуры с образованием сложных по составу сульфидно-сульфосольно-редкометалльно-гюбнерит-кварцевых жил, которые и явились основным объектом исследований. В пределах этого подэтапа происходило внедрение внутрирудных штоков и даек калгутитов ($\gamma\text{I}_3\text{J}_1\text{vk}$), микрогранит-порфиров. Для даек калгутитов характерно сложное взаимоотношение с рудными жилами, что указывает на близкое время их формирования.

Исследованиями Владимирова А.Г. и др. (1998) и Анниковой И.Ю. и др. (2006) ранних и более поздних (внутрирудных) магматических образований показано, что отмечается смещением первичных отношений изотопов Sr ($(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_0 = 0,7069 \pm 2$), Nd ($\epsilon\text{Nd(T)}$ от -1,9 до -3,5...-5,08) и Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18,305\text{--}18,831$; $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb} = 15,527\text{--}15,571$;) в сторону мантийных меток, что связано с влиянием глубинного источника.

Концентрация самородного углерода (графит и аморфные разности) в рудных жилах составляет 0,02-0,12%. Размер микрокристаллов графита по данным КРС-спектроскопии составляет 4–6 нм. Минерал образовывался в сульфосольно-сульфидно-кварцевую стадию формирования рудных жил (Поцелуев, Котегов, Акимцев, 2004). В зернах графита установлены высокие концентрации Au, Ag, Hg, Te, Sb, Bi, Cu, Pb, Zn, Fe, S, что обусловлено микровключениями собственных минералов. При этом содержание Au, Ag, Hg и Te на 1-2 порядка и более превосходят их концентрации в рудах. Анализ изотопных характеристик графита показал «легкий» состав углерода. Значение $\delta^{13}\text{C}$ изменяется в диапазоне от -26,3 ‰ до -26,6 ‰. Выявлена тенденция «утяжеления» состава углерода вверх по восстанию жилы (Поцелуев, Бабкин, Талибова, 2007).

Геологические образования месторождения рассматриваются как продукты развития единой эволюционирующей флюидно-магматической системы (Анникова, 2001; Поцелуев, Котегов, 2003).

Выполненные термобарогеохимические исследования показывают, что формирование руд во время первого подэтапа (Мо-шток 1) происходило при температурах – 190–280°C, а на втором подэтапе отмечается рост температур и формирование жил (жила 87, 1–2) происходило при более высоких температурах 325–475°C (табл. 1). Наложение более поздних процессов

минералообразования в кварц-карбонатную стадию происходило при температуре 200–290°C.

Таблица 1

Температура образования

Геологическое образование (кол-во пластин кварца)	Кол-во измерений	Горизонт	Температура гомогенизации первичных включений, °C	Температура гомогенизации вторичных включений, °C
87 ж (7)	11	20	365 (360–370)	245 (200–290)
	31	19	350 (250–455)	225 (220–230)
	34	18	475 (360–500)	245 (220–270)
1-2 ж (1)	12	20	325 (300–350)	
Мо-шток-1 (3)	22	19	280 (230–325)	
	13	18	190 (185–200)	127 (120–135)

Примечание: в скобках показан диапазон изменения температур

Отмечается значительное снижение температуры минералообразования в пределах основной промышленной рудной жилы 87 от нижнего к верхнему горизонту. Причиной появления высоких температур на нижнем горизонте, возможно, явился «разогрев» рудообразующего флюида в результате окисления водорода и углеводородов, входящих в состав газовой фазы. Этот процесс сопровождается выделением большого количества теплоты (табл. 2).

Таблица 2

Тепловой эффект реакций окисления (Гороновский, 1974).

Газ	Уравнение процесса	Тепловой эффект, кДж/г*моль
Водород	$2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$	573
Метан	$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	892
Ацетилен	$2\text{C}_2\text{H}_2 + 5\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	2604
Этан	$2\text{C}_2\text{H}_6 + 7\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$	3123
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8 + 5\text{O}_2 = 3\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$	2221
Бутан	$2\text{C}_4\text{H}_{10} + 13\text{O}_2 = 8\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$	5761
Угарный газ	$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$	556

Выявленный интервал температур формирования руд Калгутинского месторождения соответствует образованию продуктивных стадий вольфрам-молибденовой рудной формации крупнейших месторождений мира (Термобарогеохимические, 1989).

Ранее (Кужельная и др., 1990) было показано, что от глубинных к малоглубинным месторождениям происходит понижение температуры их формирования, но при этом не учитывалось изменение температур в пределах рудных тел. Возможно, это обстоятельство является определяющим.

Давление флюида при формировании основной продуктивной минеральной ассоциации (3 стадия) Калгутинского месторождения достигало 1100 бар (Иванова, 2006).

Исследование солевого состава ФВ выполнено методом криометрии. Основным компонентом растворов ФВ является NaCl. Дополнительно для

определения солевого состава флюидных включений был использован метод ионной хроматографии (табл. 3), что позволило дополнительно выявить в составе растворов сульфаты и гидрокарбонаты K, Ca, Mg.

Таблица 3

Ионный состав и минерализация растворов флюидных включений

Рудные тела (кол-во проб)		Главные компоненты, моль/кг H ₂ O							Минерализация	
		Cl	SO ₄	HCO ₃	Na	K	Ca	Mg	общая, г/л	% NaCl от общей минерализации
Жила 87	Горизонт 20 (2)	0,254	0,005	<0,003	0,16	0,013	0,013	0,015	14,5	89,3
	Горизонт 19 (3)	0,246	0,019	0,010	0,20	0,022	0,012	0,002	16,9	72,9
	Горизонт 18 (3)	0,213	0,007	0,004	0,15	0,017	0,003	0,002	12,5	84,2
	Вся жила (8)	0,235	0,011	0,005	0,17	0,018	0,009	0,005	14,7	81,3
Жила 69–70	Горизонт 19 (1)	0,674	0,005	<0,003	0,38	0,055	0,012	0,012	36,0	90,7
	Горизонт 18 (1)	0,180	<0,001	0,176	0,16	0,046	0,023	0,050	25,0	40,2
	Вся жила (2)	0,427	0,002	0,088	0,27	0,050	0,017	0,031	30,0	65,5
Мо-шток 1	Горизонт 19 (1)	0,242	0,011	<0,003	0,17	0,033	0,004	0,007	15,0	82,2
	Горизонт 18 (1)	0,214	<0,001	0,376	0,12	0,045	0,074	0,139	41,0	24,6
	Весь шток (2)	0,228	0,006	0,188	0,15	0,039	0,039	0,073	28,0	53,4

Большинство включений имеют растворы с умеренной соленостью 7-16 мас.% - экв. NaCl. Во включениях, где последняя твердая фаза представлена галитом (NaCl), соленость выше – 17–26 мас.% – экв. NaCl. Соленость флюида во включениях кварца Мо-штока-1 составляет 6–9 мас.% – экв. NaCl.

Жила 87, включающая основные промышленные запасы месторождения, характеризуется более низкой минерализацией ФВ (14,7 г/л), чем жила 69–70 (30,0 г/л) и Мо-шток-1 (28,0 г/л).

Наибольшая минерализация в жиле 87 (до 16,9 г/л) отмечается в участках ее максимальной мощности, в центральной части. На флангах жилы минерализация ФВ снижается до 12 г/л.

В пределах всех изученных тел отмечается тенденция снижения доли NaCl с глубиной и увеличение доли гидрокарбонатов Ca, Mg.

Второе защищаемое положение: Основным компонентом флюидных включений является H₂O (до 92%). В составе флюида выявлен широкий перечень газовых компонентов: CO₂, CO, H₂, N₂, CH₄, C₂H₆, C₃H₈, C₄H₁₀, C₅H₁₂, C₆H₁₄, C₂H₂, C₂H₄. В области рудоотложения отмечается изменение в составе газов, с глубиной увеличивается восстановленность флюида.

Основными компонентами ФВ в кварце по результатам метода газовой хроматографии являются вода (до 92 %) и уголекислота (до 8 %), остальные компоненты содержатся в менее значимых концентрациях (табл. 4).

Во всех изученных рудоносных образованиях концентрация воды с глубиной заметно снижается. При этом в кварце жил это снижению более существенно по сравнению с Мо-штоком-1. То есть в жилах процессы рудообразования происходили в более контрастных условиях, с чем и связано более богатое по количеству и качеству оруденение.

Необходимо заметить, что подобная тенденция (уменьшение с глубиной содержания воды) наблюдается и при сравнении разноглубинных вольфрамовых месторождений Горного Алтая (Кужельная, Дергачев, 1990). Полученные нами данные показывают, что, возможно, эта закономерность одинаково проявляется на разном масштабном уровне рудообразования (от отдельных рудных жил до рудных полей и узлов).

Таблица 4

Содержание основных газов в кварце, мг/кг

Рудоносные образования (кол-во проб)		H ₂ O	CO ₂	CO	H ₂	ΣУВ	Σгазов + H ₂ O
Жила 87	Горизонт 20 (5)	1360	86	26	<2	39	1510
	Горизонт 19 (7)	1110	66	8	<2	21	1210
	Горизонт 18 (7)	970	71	27	1,3	40	1110
	Вся жила (19)	1130	73	20	0,5	33	1250
Жила 69-70	Горизонт 19 (3)	1300	43	5	<2	13	1360
	Горизонт 18 (3)	1000	43	9	<2	20	1080
	Вся жила (6)	1150	43	7	<2	17	1220
Жила 1-2, горизонт 20 (3)		1500	60	16	<2	28	1600
Мо- шток - 1	Горизонт 19 (4)	1650	75	10	<2	23	1760
	Горизонт 18 (4)	1625	95	13	<2	37	1770
	Весь шток (8)	1640	85	11	<2	31	1760
Мо-шток 2, дневная поверхность (4)		880	85	43	6,3	54	1070

Примечание $\Sigma УВ = CH_4 + C_2H_2 + C_2H_{4,6} + C_3H_8 + C_4H_{10} + C_5H_{12} + C_6H_{14}$

Содержание углекислоты в кварцах изменяется в узком диапазоне от 43 до 90 мг/кг. Но в связи со значительным снижением концентрации воды «углекислотность» флюида ($CO_2 \cdot 100 / H_2O$) заметно возрастает (табл. 5). Обращает на себя внимание, не только общая закономерность в увеличении «углекислотности» флюида, но и близость величины градиента (в расчете на 10 м) увеличения этого параметра с глубиной (рис.1).

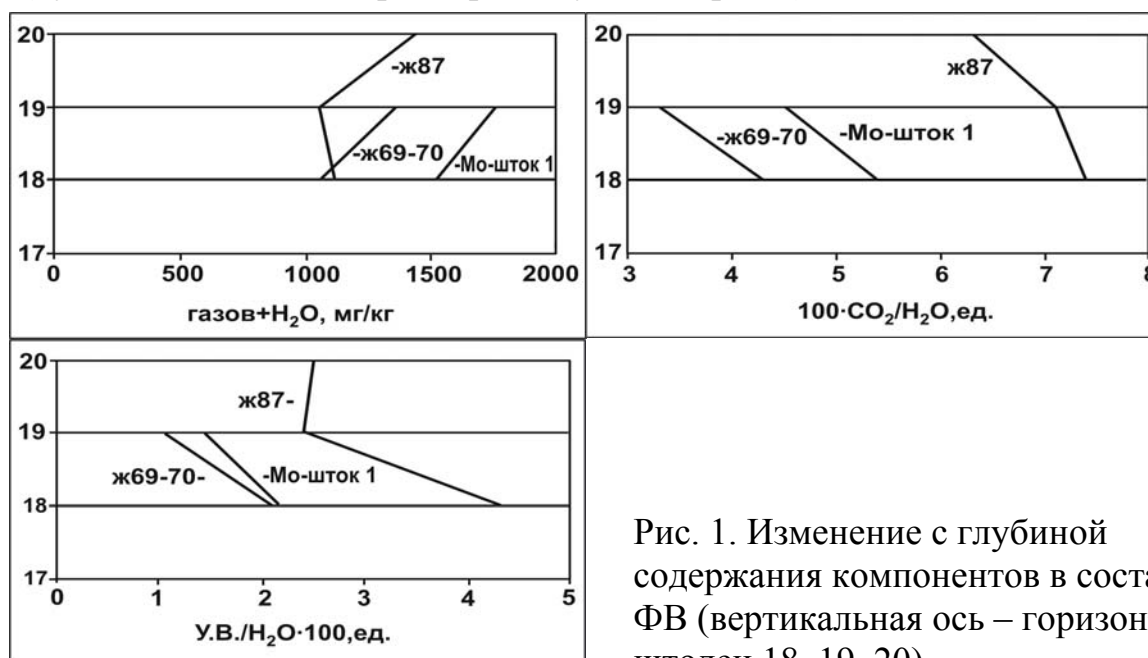


Рис. 1. Изменение с глубиной содержания компонентов в составе ФВ (вертикальная ось – горизонты штолен 18, 19, 20).

В жиле 87 (от 19 к 18 горизонту) он составляет 0,23 ед.; в жиле 69–70 – 0,17 ед.; в «Мо-штоке 1» – 0,22 ед. В жиле 87 с глубиной величина градиента заметно увеличивается. Наибольшей «углекислотностью» характеризуется Мо-шток-2, что связано с низким содержанием воды и довольно высоким содержанием углекислоты.

В значительно большей степени варьируют концентрации СО от 5 до 43 мг/кг. Во всех изученных образованиях содержание СО с глубиной растет.

Ранее, В.Б. Дергачевым с коллегами (1983), были получены близкие данные по содержанию воды, углекислоты и «углекислотности» кварцев Калгутинского и других месторождений Горного Алтая. В работе делается вывод о том что «углекислотность» флюида заметно снижается от раннего грейзенового этапа рудообразования к более позднему жильному продуктивному (от 20...50 до 2...10 ед.). Полученные нами данные показывают отсутствие отличия по этому параметру между ранними грейзеновыми образованиями (автономное грейзеновое тело Мо-шток 1) и более поздними кварцевыми жилами (табл. 5). Очевидно, главным фактором является изменение «углекислотности» флюида с глубиной, что ранее не было изучено.

Таблица 5

Характеристика специализации газов ФВ

Рудоносные образования		CO ₂ ·100 /H ₂ O	ΣУВ/ H ₂ O*100	K _{H2}	K _B	CO ₂ /CH ₄	CO/ CO ₂
Жила 87	Горизонт 20	6,3	2,9	12,5	45,2	7,7	0,30
	Горизонт 19	5,9	1,9	15,3	24,5	12,9	0,12
	Горизонт 18	7,3	4,2	10,3	65,8	6,9	0,38
	Вся жила	6,5	2,9	12,5	44,1	8,5	0,27
Жила 69–70	Горизонт 19	3,3	1,0	27,5	13,1	13,0	0,11
	Горизонт 18	4,3	2,0	19,6	28,4	8,1	0,22
	Вся жила	3,7	1,4	23,4	19,7	10,0	0,16
Жила 1–2, горизонт 20		4,0	1,9	20,1	28,3	8,2	0,27
Мо-шток 1	Горизонт 19	4,5	1,4	19,7	19,2	13,6	0,13
	Горизонт 18	5,8	2,3	15,5	29,0	9,5	0,13
	Весь шток	5,2	1,9	17,4	24,1	10,9	0,13
Мо-шток 2, дневная поверхность		9,6	6,1	7,4	106,2	5,7	0,50

Водород обнаружен в значительных концентрациях (5...8 мг/кг) в кварце Мо-штока–2. В пределах основной промышленной рудной жилы 87 водород отмечается на нижнем горизонте – 5 мг/кг.

Общая концентрация углеводородов (УВ) изменяется от 13 до 54 мг/кг. Ведущую роль играет метан, менее распространены (в порядке убывания) C₂H₂, C₃H₈, C₄H₁₀, C₅H₁₂, C₄H_{4,6}, C₆H₁₄. УВ в максимальных концентрациях содержатся в кварце Мо-штока 2. С глубиной во всех телах отмечается увеличение содержания УВ в кварце, а при общей тенденции снижения содержания воды, в еще большей степени возрастает отношение УВ к H₂O (табл. 4, 5, рис. 2).

Рудоносные образования Калгутинского месторождения значительно отличаются по величине углекислотности ($\text{CO}_2 \cdot 100/\text{H}_2\text{O}$), углеводородной и водородной специализации ($\text{K}_{\text{H}_2} = (\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} + \sum \text{УВ})/(\text{CO} + \text{CO}_2)$), и восстановленности флюида ($\text{K}_{\text{в}} = (\text{H}_2 + \sum \text{УВ} + \text{CO}) \cdot 1000/(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O})$) (табл. 5).

Средняя величина отношения $\text{CO}_2 \cdot 100/\text{H}_2\text{O}$ изменяется от 3,3 ед. в жиле 69–70 до 9,6 ед. в Мо-штоке 2. В пределах изученных тел с глубиной отношение $\text{CO}_2 \cdot 100/\text{H}_2\text{O}$ возрастает на 20...30 %. С учетом этого, сделанный ранее вывод (Кужельная, Дергачев, 1990) о закономерном увеличении этого отношения в месторождениях Горного Алтая от гипабиссальных (Калгутинское месторождение), через мезоабиссальные (Коккольское и Чиндагатуйское) к абиссальным (Бугузунское), без характеристики изученных пересечений и оценки степени изменения этого параметра в пределах самих месторождений, представляется недостаточно обоснованным.

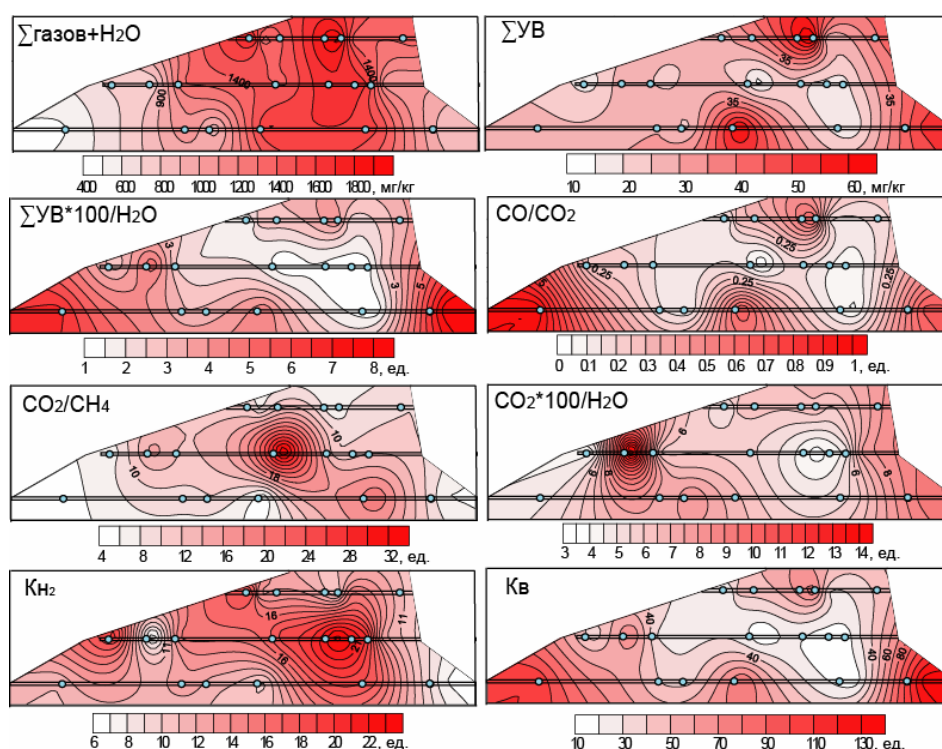


Рис. 2. Изменение показателей состава раствора ФВ в кварце жилы 87.

Проекция на вертикальную плоскость.

Наблюдаются закономерное уменьшение общей концентрации флюида в кварце всех рудных тел с глубиной и изменение его состава. С глубиной возрастает углекислотность ($\text{CO}_2 \cdot 100/\text{H}_2\text{O}$) и восстановленность флюида, и снижается коэффициент водородной специализации. В пределах жилы 87 отмечаются подобные изменения в составе флюида при увеличении ее мощности.

Таким образом, можно сделать вывод, что формирование месторождения происходило из среднесолевых растворов. Минералообразующая среда представляла собой гетерогенный флюид, состоявший из водно-солевых и углекислотно-углеводородных компонентов.

Результаты изучения ФВ кварца указывают на резкое изменение параметров гидротермальной системы, а так же на то, что процесс

рудобразования происходил в условиях окисления первично восстановленного металлоносного флюида.

Третье защищаемое положение: В составе флюида преобладают металлы, определяющие промышленную ценность и геохимическую специализацию месторождения - Mo, W, Cu, Rb, Cs, Cr ($n \times (100 \dots 1000)$ мг/кг), в меньших концентрациях отмечаются – Th, U, $\Sigma P3Э$, Ag, Hg $n \times (1 \dots 10)$ мг/кг. Более низкое содержание характерно для Ru, Rh, Pd, Os, Au, Re $n \times (0,1 \dots 0,01)$ мг/кг. В процессе формирования месторождения из флюида в минеральную фазу наиболее активно отлагались Mo и W, в меньшей степени – Cu, Ag и весьма ограниченно остальные металлы.

В растворе ФВ методом ICP-MS определено содержание 37 металлов, включающих группы лито -, халько - и сидерофильных элементов (табл. 6). Содержание металлов меняется в широких пределах от 0,01 до 7420 мг/кг. В максимальных концентрациях $n \times (100 \dots 1000)$ мг/кг отмечаются элементы, главным образом определяющие промышленную ценность и геохимическую специфику руд – Mo, W, Cu, Rb, Cs, Cr. Относительно высоким – $n \times (1 \dots 10)$ мг/кг является содержание Th, U, $\Sigma P3Э$, Ag, Hg. В значительно меньших, но уверенно определяемых концентрациях $n \times (0,1 \dots 0,01)$ мг/кг фиксируются Ru, Rh, Pd, Os, Au, Re.

Таблица 6

Содержание металлов в растворе флюидных включений, мг/кг

Рудные тела (кол-во проб)		Mo	W	Cu	Cr	Rb	Cs	Ba	Th	U	$\Sigma P3Э$	Pd	Os	Re	Ag	Au
Жила 87	20 гор. (3)	344	157	2261	94	159	235	61	32,6	5,2	58	0,09	0,01	0,013	2,5	0,03
	19 гор. (3)	257	551	4002	209	90	372	63	14,0	11,2	99	0,11	0,03	0,018	4,2	0,05
	18 гор. (3)	183	422	286	167	197	257	46	0,2	0,6	4	0,01	0,02	0,016	1,3	0,03
	Вся жила (9)	261	377	2183	157	149	288	57	15,6	5,7	54	0,07	0,02	0,016	2,7	0,03
Жила 69–70 (2)		140	188	1133	128	144	201	95	7,3	2,4	53	0,09	0,00	0,016	24,1	0,08
Мо-шток 1 (2)		620	56	1021	655	73	197	30	0,1	0,6	1,3	0,03	0,01	0,046	2,2	0,04

Сравнение с результатами исследования ФВ других месторождений показывает, что характер металлоносности флюида, очевидно, является ведущим фактором, определяющим главные особенности формируемых рудоносных образований. Наряду с общей концентрацией металла во флюиде важными являются условия системы, которые могут быть более благоприятны для выхода в минеральную фазу одних элементов, и напротив менее благоприятны для других. Так, при более высоких концентрациях (на порядок и более) Cu в растворе флюида (до 2260 мг/кг) содержание ее в рудном теле ниже или сопоставимо с другими основными промышленными компонентами. То есть условия для выхода Cu в минеральную фазу были не очень благоприятными. Обратная ситуация отмечается с основными промышленно ценными элементами – Mo и W. При более низком содержании их в рудобразующем растворе (до 420 мг/кг), концентрация их в рудных телах максимальна (до 40000 мг/кг).

Сравнение содержания элементов во ФВ различных рудных тел (табл. 6) показывает, что они имеют близкие характеристики. Это выражается и в подобии нормированных кривых (рис. 3) и указывает на единую природу рудообразующего флюида различных рудных тел месторождения.

В значительно большей степени отличаются содержания металлов во ФВ «Мо-штока 1». Шток является наиболее ранним образованием по сравнению с жилами. Его формирование происходило в пределах первого подэтапа главного этапа рудообразования и для него характерна значительно более высокая флюидонасыщенность кварца и меньшие температуры минералообразования. Формирование жил 87 и 69-70 относится ко второму подэтапу. Они отличаются меньшей флюидонасыщенностью при более высоких температурах образования. Таким образом, сравнивая состав ФВ штока и жил, можно получить представление об эволюции металлоносности флюида в рамках главного этапа образования руд Калгутинского месторождения. ФВ «Мо-штока 1» отличаются более высокими содержаниями Мо, Re и Cr. Для ФВ рудных жил характерно более высокое содержание большинства изученных металлов – W, Cu, Rb, Hg, Th, U, РЗЭ, Rh, Pd. Иначе говоря, ранние порции более водного и менее нагретого флюида имели свою специфику (Мо, Re, Cr), в отличие от позднего более «сухого» и высокотемпературного флюида, для которого характерны большие концентрации широкого спектра изученных элементов.

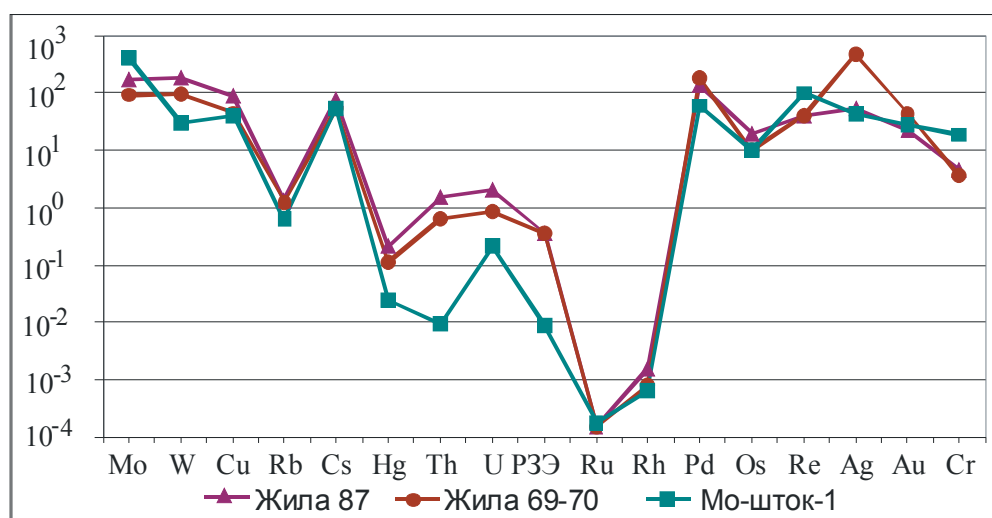


Рис. 3. Нормированные кривые содержания элементов в растворе включений.

Ru и Rh нормированны по хондритам, остальные по содержанию в Земной коре (Тейлор, Мак-Леннан, 1988)

Сопоставление содержаний элементов во ФВ и рудных телах показывает (табл. 7), что рудные тела по отношению к ФВ значительно обогащены основными промышленными компонентами – Мо и W (отношение составляет 19...60 ед.). Для Cu величина этого параметра значительно ниже (2...5,6 ед.), при этом ее содержание в растворе ФВ значительно выше, чем Мо и W.

Таблица 7

Отношение содержания металлов в рудных телах к их содержанию в растворе флюидных включений

Рудные тела	Объект	Mo	W	Cu	Rb	Cs	Th	U	ΣPЗЭ	Pd	Os	Re	Ag	Au	Cr
Жила 87	20 гор.	3	106	3,9	1,6	0,15	0,2	0,5	0,7	0,32	1,1	н.о.	3,2	0,40	1,1
	19 гор.	18	23	1,9	2,0	0,10	0,2	0,5	0,4	0,31	0,26	н.о.	3,0	0,42	1,0
	18 гор.	79	58	6,6	0,7	0,20	3,4	10	2,4	9,8	0,27	н.о.	6,1	0,26	1,3
	Вся жила	28	47	2,7	1,2	0,15	0,2	0,9	0,5	0,95	0,35	5,7	3,8	0,39	1,2
Жила 69-70		60	34	5,6	1,0	0,10	0,2	2,1	0,3	0,56	0,01	н.о.	0,5	0,24	1,2
Мо-шток 1		19	40	2,0	3,2	0,14	16	6,9	14	3,2	0,51	н.о.	1,4	0,65	0,20

Примечание: н.о. – содержание элемента не определялось.

Следует подчеркнуть, что при высоких концентрациях во флюиде Rb, Cs и Cr величина отношения содержаний в рудных телах и во ФВ этих элементов составляет 0,5...1,5 ед., а в ряде случаев снижается до 0,1 (Cs). Таким образом, в области образования промышленных руд Mo, W и Cu из металлоносного флюида в минеральную фазу активно отлагались указанные элементы, но ряд других металлов при высоких сопоставимых содержаниях оставались главным образом в растворе. Иначе говоря, «рудообразующий потенциал флюида» в этих условиях был реализован далеко не полностью. Эти условия способствовали и сохранению в растворе ФВ ряда благородных металлов – Pd, Os, Au и очевидно Ru и Rh. Несмотря на то, что часть серебра отложилась в составе сульфидов и сульфосолей, потенциал флюида в этом плане был так же реализован незначительно.

По характеру распределения во ФВ жилы 87 все изученные металлы делятся на две группы: 1) Mo, Cu, Ag, Pd, Ru, Rh, Re, Th, U, PЗЭ; 2) W, Au, Os, Hg, Cr, Rb.

Для первой группы элементов отмечается общая тенденция увеличения концентрации во флюиде от нижнего горизонта к верхнему флангу жилы. Важно подчеркнуть, что обратным по отношению к изменению металлоносности флюида является изменение содержания графита в жиле. Его концентрация максимальна в центре на 18 горизонте и закономерно снижается вверх по восстанию жилы. Таким образом, можно сделать вывод о том, что в процессе окисления восстановленного металлоносного флюида происходит распад металлоорганических соединений при этом часть металлов выходит из флюида в минеральные фазы (в том числе микровключения минералов в графите), а часть переходит в водный раствор.

Распределение второй группы элементов имеет определенные отличия. Оно выражается в наличии значительной по площади зоны пониженных содержаний металлов, прослеживаемой с нижнего горизонта с расширением к верхнему. Эта зона совпадает (повторяет контур) с основным участком жилы, имеющим повышенную мощность. Максимальные концентрации элементов приурочены к флангам жилы, особенно ее юго-западной части. Если принять во внимание более ранний характер вольфрамовой минерализации в жиле (по отношению к молибденовой и медной), то снижение концентрации металлов

в центральной наиболее мощной части жилы можно объяснить разбавлением состава ФВ более поздними растворами, имеющими несколько иную специализацию (Mo, Cu).

Таким образом, отмечается закономерное изменение содержания металлов в растворе ФВ, которое согласуется с данными по изменению состава газов. Полученные данные позволяют предположить, что в области транспортировки восстановленного флюида металлы находились в форме органометаллических комплексов, которые характеризуются более высокой термической стабильностью и прочностью, нежели неорганические.

Четвертое защищаемое положение: В процессе формирования оруденения происходит изменение физико-химических условий минералообразования. Эволюция флюида от нижних горизонтов к верхним связана с процессом частичного (не полного) окисления первично восстановленного флюида, что и определило выход углерода в минеральную фазу (графит, аморфные разности).

При формировании оруденения изменяются физико-химические условия, как в процессе рудообразования, так и в пределах рудных тел.

Ранние порции более водного и менее нагретого флюида (формирование Мо-штока 1, температура 185–325°C) имели свою специфику (Mo, Re, Cr), в отличие от позднего более «сухого» и высокотемпературного флюида (формирование жил) (температура 325–475°C), для которого характерны высокие концентрации большего числа изученных элементов (W, Cu, Rb, Hg, Th, U, PЗЭ, Rh, Pd). Наложение вторичных процессов минерализации (кварц-карбонатная стадия) происходило при более низких температурах – 200–290°C.

На ранней стадии (Мо-шток-1) формирование оруденения шло из более минерализованных растворов – до 41 г/л. Для более поздних стадий формирования рудных жил характерна меньшая минерализация – 12,5–36 г/л.

Полученные данные позволяют предположить, что в области транспортировки восстановленного флюида металлы находились в форме металлоорганических комплексов. Вследствие увеличения в системе концентрации кислорода в области рудообразования произошло окисление флюида, при этом основная часть некоторых металлов (W, Mo, Cu, ряд других элементов, в том числе и углерод) отложилась в минеральную фазу, а часть перешла в водный раствор.

Во всех рудных телах восстановленность флюида с глубиной, как правило, значительно возрастает.

Полученные данные позволяют оценить общий характер изменения состава флюида в кварце в плоскости основной промышленной жилы 87. Комплексный анализ изменения содержания газов, воды, их соотношений совместно с данными по изменению мощности жилы и содержания графита в жиле, показывает, что эти параметры взаимосвязаны.

Изменение состава включений кварца происходит в целом за счет трех элементов – O, H и C. Нами проведен пересчет содержания газов и воды в

кварцах жил 87 и 69-70 на верхнем и нижнем горизонте на содержание химических элементов (табл. 8, 9). Анализ этих данных позволяет представить в целом картину изменения состава рудообразующего флюида в процессе его миграции в области рудоотложения.

Таблица 8

Содержание основных элементов в составе газов кварца жилы 87, г/т

Горизонт	Кислород			Водород		Углерод		
	Форма нахождения							
	H ₂ O	CO ₂	CO	H ₂ O	H ₂ + УВ	CO ₂	CO	УВ
20	1208,9 (+40%)	62,5 (+21,1%)	14,86 (-3,5%)	151,1 (+40%)	6,8 (-5,6%)	23,5 (+21,1%)	11,1 (-4,3%)	32,4 (-1,8%)
	Σ1286,3 (+38,3%)			Σ157,9 (+37,2%)		Σ67,1 (+4,8%)		
19	990,2 (+14,7%)	48 (-7%)	4,6 (-70,1%)	123,8 (+14,7%)	3,6 (-50%)	18 (-7,2%)	3,4 (-70,7%)	17,3 (-47,6 %)
	Σ1042,8 (+12,1%)			Σ127,4 (+10,7%)		Σ38,7 (-39,5%)		
18	863,1	51,6	15,4	107,9	7,2	19,4	11,6	33,0
	Σ930,2			Σ115,1		Σ64,0		

При перемещении флюида вверх происходит стабильное увеличение содержания кислорода за счет возрастания доли элемента, приходящейся на компоненты, высшей степени окисления (H₂O и CO₂). Подобным образом меняется содержание водорода. В целом его содержание возрастает, но происходит это за счет увеличения концентрации воды, а содержание элемента в виде восстановленных форм (H₂ + УВ) снижается.

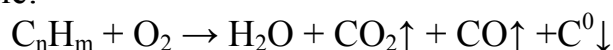
Таблица 9

Содержание основных элементов в составе ФВ кварца жилы 69-70, г/т

Горизонт	Кислород			Водород		Углерод		
	Форма нахождения							
	H ₂ O	CO ₂	CO	H ₂ O	H ₂ + УВ	CO ₂	CO	УВ
19	1155,6 (+29,6%)	1,3 (0%)	2,7 (-49,1%)	144,4 (+29,6%)	2,3 (-36,1%)	1,7 (0%)	2,0 (-50%)	10,6 (-36,9%)
	Σ1189,6 (+28,1%)			Σ146,7 (+27,6%)		Σ24,3 (-25,2%)		
18	891,6	31,3	5,3	111,4	3,6	11,7	4,0	16,8
	Σ928,2			Σ115,0		Σ32,5		

Примечание. В скобках даны изменения содержания элементов в % к нижнему (18) горизонту.

В изменении содержания углерода отмечаются значительные отличия. Его содержание резко снижается в интервале между 18 и 19 горизонтом. При этом значительно снижается доля углерода в виде восстановленных форм (УВ) и CO. Потеря углерода из системы только по составу законсервированного в виде включений флюида составляет 8,2–25,3 мг/кг. Очевидно, что углерод ушел из флюида в твердую минеральную фазу и отложился в виде графита, появление которого в жилах однозначно согласуется с установленными изменениями состава флюидных включений в кварце. Это можно представить в виде развития неравновесной системы – переход газообразных восстановленных форм углерода (углеводороды) в газообразный оксид и твердый графит по схеме:



Таким образом, появление в жилах графита является свидетельством резкого изменения состава флюидной фазы. Основной предпосылкой для формирования графита является наличие углеводородов в составе флюида и поступление в систему кислорода в концентрациях, недостаточных для полного окисления всех компонентов.

Предполагается следующая модель развития системы:

- в начале основного этапа рудообразования концентрация воды в системе была минимальна при максимальной относительной концентрации CO_2 . Принимая во внимание относительную химическую активность элементов, можно заключить, что такое соотношение компонентов в системе возможно при низкой относительной концентрации водорода и высокой концентрации кислорода, достаточной для полного окисления водорода и формирования значительных концентраций CO_2 (можно допустить, что часть углерода в системе осталась в восстановленной форме).

Далее в последовательном развитии процесса от первой к третьей главной продуктивной стадии происходит устойчивое закономерное увеличение концентрации H_2O и уменьшении относительной концентрации CO_2 . Подобные изменения, очевидно, происходили при условии повышения роли водорода в системе, с которым реагировала основная часть кислорода. Оставшегося кислорода было недостаточно для полного окисления углерода. В этих условиях в пределах 3 стадии и происходило формирование графита.

К четвертой заключительной стадии концентрация водорода в системе снижается, кислорода оказывается достаточно для полного окисления углерода, относительная концентрация уголекислоты в системе возрастает, и это отражается не только на составе газовой-жидких включений, но и приводит к формированию карбонатов.

В целом можно сделать вывод о том, что формирование руд Калгутинского месторождения происходило за счет гомогенного источника рудо- и минералообразующих флюидов на фоне эволюции их состава.

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что:

- температура образования руд Калгутинского месторождения варьирует в широких пределах. Более раннее грейзеновое тело, «Мо–шток–1» образовалось при температурах – 190–280°C. Рудные жилы формировались в условиях больших температур – 325–475°C.;
- рудообразующие растворы характеризуются средней соленостью. Их минерализация меняется от 41 г/л (Мо–шток–1) до 12,5 г/л (жила № 87). В составе солей преобладает NaCl (до 90,7 %), присутствуют гидрокарбонаты и сульфаты K, Ca, Mg;
- в составе ФВ кварцев рудных тел наряду с водой и уголекислотой присутствуют широкий спектр углеводородов и свободный водород. С глубиной значительно уменьшается концентрация H_2O , CO_2 и заметно увеличивается суммарное содержание углеводородов. На нижнем горизонте в составе газов появляется водород;

- в растворе ФВ установлены максимальные содержания элементов, главным образом определяющих промышленную ценность и геохимическую специфику руд – Mo, W, Cu, Rb, Cs, Cr ($n \times (100 \dots 1000)$ мг/кг). Относительно высоким – $n \times (1 \dots 10)$ мг/кг является содержание Th, U, $\Sigma PЗЭ$, Ag, Hg. В значительно меньших, но уверенно определяемых концентрациях $n \times (0,1 \dots 0,01)$ мг/кг фиксируются Ru, Rh, Pd, Os, Au, Re. Предполагается, что в области транспортировки восстановленного флюида металлы находились в форме органометаллических комплексов;

- в процессе формирования оруденения происходит эволюция физико-химических условий минералообразования и состава флюида от менее нагретого и более водного флюида с высоким содержанием Mo, Re, Cr к более высокотемпературному и менее водному с высоким содержанием W, Cu, Rb, Hg, Th, U, PЗЭ, Rh, Pd. Эволюция флюида в пределах жилы № 87 от нижних горизонтов к верхним сопровождается процессом частичного (не полного) окисления углерода в составе углеводородов, что и определило выход углерода в минеральную фазу.

Полученные данные по условиям формирования руд Калгутинского месторождения соответствуют параметрам образования продуктивных стадий вольфрам-молибденовой рудной формации крупнейших месторождений мира (Термобарогеохимические ..., 1989), что еще раз подчеркивает высокие перспективы рудного поля месторождения.

Результаты проведенных исследований позволяют выработать критерии оценки уровня эрозионного среза рудных тел месторождений с оценкой перспектив рудоносности данных образований на глубину. В качестве критериев оценки уровня эрозионного среза предлагается использовать - флюидонасыщенность; - минерализованность флюида; - восстановленность флюида.

Для рудных жил имеющих минимальный эрозионный срез, будет характерна:

- высокая флюидонасыщенность кварца (> 1100 мг/кг),
- преимущественно хлоридный ($> 0,21$ моль/кг H_2O), малосульфатный ($0,001 - 0,019$ моль/кг H_2O), низкогидрокарбонатный ($0,003 - 0,176$ моль/кг H_2O) состав солей,
- низкие значения коэффициента восстановленности флюида (< 45 ед.), который будет возрастать с глубиной.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Бабкин, Д.И. Редкоземельные элементы в геологических образованиях Калгутинского месторождения (Горный Алтай) / А.А. Поцелуев, В.И. Котеков, Д.И. Бабкин // Известия ТПУ – 2002. – Т.305. – Вып.6. – С. 229–247.
2. Бабкин, Д.И. Благородные металлы в Калгутинском редкометалльном месторождении (Горный Алтай) / А.А. Поцелуев, В.И. Котеков, Л.П. Рихванов, Д.И. Бабкин, А.Ю. Никифоров // Известия ТПУ – 2004. – Т.307. – №5. – С. 36–42.

3. Бабкин, Д.И. Состав и закономерности распределения газов в кварцах Калгутинского редкометалльного месторождения / А.А. Поцелуев, Д.И. Бабкин, В.И. Котегов // Известия ТПУ – 2005. – №2. – С. 36–43.
4. Бабкин, Д.И. Металлы во флюидных включениях грейзеновых месторождений (Калгутинское месторождение) / А.А. Поцелуев, Д.И. Бабкин, О.А. Козьменко // Известия ТПУ – 2006. – №5. – С. 26–32.
5. Бабкин, Д.И. Калгутинское комплексное месторождение (Горный Алтай): Минералого-геохимическая характеристика, флюидный режим рудообразования / А.А. Поцелуев, Д.И. Бабкин, В.И. Котегов // Геология рудных месторождений – 2006. – Т.45. – №5. – С. 439–459.
6. Бабкин, Д.И. Изотопный состав углерода грейзеновых месторождений (Калгутинское месторождение) / А.А. Поцелуев, Д.И. Бабкин, А.Г. Талибова // Известия ТПУ – 2007. – Т.310. – №1. – С. 17– 21.
7. Бабкин, Д.И. Геоэкологические проблемы рудных месторождений Республики Горный Алтай / Д.И. Бабкин // Проблемы геологии и освоения недр: Труды пятого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2001. – С. 487–489.
8. Бабкин, Д.И. Результаты исследования обогатимости околожильных грейзенов Калгутинского Мо-W месторождения / Д.И. Бабкин, В.И. Котегов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды шестого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С. 209– 210.
9. Бабкин, Д.И. Анализ содержания загрязняющих элементов в грейзенах Калгутинского Мо-W месторождения / Д.И. Бабкин, Д.В. Войтенко // Проблемы геологии и освоения недр: Труды 6-го Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С. 419–420.
10. Бабкин, Д.И. Благородные элементы в минералах Калгутинского Мо-W месторождения / Д.И. Бабкин // Проблемы геологии и освоения недр: Труды 7-го Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – С. 282–284.
11. Бабкин, Д.И. Загрязняющие элементы в минералах Калгутинского Мо-W месторождения / Д.И. Бабкин // Проблемы геологии и освоения недр: Труды 7-го Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2003. – С. 584–585.
12. Бабкин, Д.И. Экологически опасные элементы в геологических образованиях Калгутинского Мо-W месторождения / Д.И. Бабкин, А.А. Поцелуев, В.И. Котегов // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Материалы научной конференции, посвященной 100-летию профессора ТПУ П.А. Удодова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 211–213.
13. Бабкин, Д.И. Новые данные по минералогии и геохимии Калгутинского месторождения / А.А. Поцелуев, А.Ю. Никифоров, В.И. Котегов, Л.П. Рихванов, Д.И. Бабкин // Природные ресурсы Горного Алтая (геология,

геофизика, экология, гидрогеология, минеральные, водные и лесные ресурсы) – Горно-Алтайск. – 2004. – №2. – С. 41–46.

14. Бабкин, Д.И. Углеводороды в составе газов в кварцах жил и грейзенов Калгутинского редкометалльного месторождения / Д.И. Бабкин // XV Российское совещание по экспериментальной минералогии: Материалы научной конференции – Сыктывкар. – 2005. – С. 56-58.

15. Бабкин, Д.И. Флюидный режим формирования благородно-редкометалльной минерализации (Калгутинское грейзеновое месторождение) / Д.И. Бабкин, А.А. Поцелуев // Благородные и редкие металлы Сибири и Дальнего Востока: рудообразующие системы месторождений комплексных и нетрадиционных типов руд: Материалы научной конференции – Иркутск. – 2005. – С. 99–102.

16. Бабкин, Д.И. Криометрические исследования флюидных включений в кварце основной рудной жилы Калгутинского месторождения / Д.И. Бабкин // Проблемы геологии и освоения недр: Труды девятого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 2005. – С. 140–141.

17. Бабкин, Д.И. Вода как основной компонент газовой-жидких включений кварца Калгутинского месторождения / Д.И. Бабкин, А.П. Баталов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды девятого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 2005. – С. 142–143.

18. Бабкин Д.И. Геохимические особенности и условия образования основных минералов рудных жил Калгутинского месторождения / Д.И. Бабкин, А.П. Баталов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды девятого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 2005. – С. 144–145.

19. Бабкин, Д.И. Типоморфные особенности пиритов Калгутинского редкометалльного месторождения / Д.И. Бабкин, А.П. Баталов // Проблемы геологии и освоения недр: Труды десятого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 2007. – Т.1. – С. 118–120

20. Бабкин, Д.И. Металлы во флюидных включениях Калгутинского комплексного редкометалльного месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды десятого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых имени академика М.А. Усова. – Томск, 2007. – Т.1. – С. 116–117.

21. Babkin, D.I. The Kalguty Complex Deposit, the Gorny Altai: Mineralogical and Geochemical Characteristics and Fluid Rgime of Ore Formation / A.A. Potseluev, D.I. Babkin, V.I. Kotegov // ISSN 1075-7015, Geology of Ore Deposits – 2006. – Vol. 48. – No. 5. – pp. 384–401.