

На правах рукописи



Котегов Владимир Ильич

**БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В РУДАХ КАЛГУТИНСКОГО
РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО ГРЕЙЗЕНОВОГО 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 - 2004

Работа выполнена в Томском политехническом университете

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук
Рихванов Леонид Петрович

Официальные оппоненты: - доктор геолого-минералогических наук
Кучеренко Игорь Васильевич
- кандидат геолого-минералогических наук
Гринев Олег Михайлович

Ведущая организация: «Государственный университет цветных
металлов и золота»

Защита состоится 22 декабря 2004 г. в 14 часов в 210 аудитории 1 корпуса на заседании диссертационного Совета Д212.269.07 в Томском политехническом университете по адресу: 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета

Автореферат разослан «18» ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета



В.Д. Евсеев

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ. При изучении большинства редкометалльных рудных месторождений в России и ближнем зарубежье упор, как правило, делался на профильные элементы и их элементы-спутники. В последнее время появилось много разноплановой информации, указывающей на возможные перспективы выявления благородных металлов (золота, серебра и платиноидов) в редкометалльных месторождениях (Калинин, 1972; Сазонов, 1997; Сотников, 2001 и др.). В связи с этим проблема изучения благородных металлов в редкометалльных грейзеновых месторождениях имеет важное значение как для решения широкого круга геолого-генетических задач, так и весьма актуальным является экономический аспект, обусловленный возможностью их попутного извлечения.

Предметом исследований является Калгутинское редкометалльное грейзеново-жильное месторождение. Месторождение изучалось многими поколениями геологов, прежде всего в структурном и минералого-геохимическом аспекте с упором на оценку рудоносности геологических образований на основные рудные элементы W, Mo, Cu, Bi, Be. Некоторыми исследователями отмечались перспективы золоторудности района (Молчанов, 1942, ф; Котляров, 1952, ф и др.), однако этот вопрос так и оставался по существу не изученным.

Внимание к проблеме изучения благородных металлов Калгутинского месторождения вновь было привлечено в последнее десятилетие XX века в связи с выявлением высоких концентраций золота и платиноидов в продуктах переработки руд месторождения (Рихванов и др., 1996).

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучить уровни накопления, формы нахождения и характер распределения благородных металлов Au, Ag, Pt, Pd в рудах и других геологических образованиях Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения и оценить возможность их попутного извлечения.

В рамках поставленной цели возникла необходимость в решении следующих задач:

1. Определение уровней накопления благородных металлов во всех типах пород и руд, технологических продуктах обогащения;
3. Выявление форм нахождения благородных металлов Au, Ag, Pt, Pd в рудах месторождения;
2. Изучение вертикальной геохимической зональности месторождения. Оценка перспектив продолжения благороднометалльного оруденения на глубину.
4. Выявление основных закономерностей в накоплении благородных металлов при формировании месторождения.
5. Оценка возможности попутного извлечения благородных металлов.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА РАБОТЫ. Впервые в рудах и геологических образованиях месторождения определены уровни накопления благородных металлов Ag, Au, Pd, Pt и установлен характер их пространственного распределения.

Определены минеральные формы Ag и Au, сделаны обоснованные предположения о минеральной форме нахождения Pt и Pd.

Определены основные закономерности накопления благородных металлов в рудоносных образованиях месторождения. Установлена тесная взаимосвязь в пространственном распределении золота и платиноидов с графитом.

Построен ряд вертикальной геохимической зональности рудной жилы № 87, включающий основные рудные элементы и благородные металлы.

При детальном микроскопическом изучении установлены новые, ранее неизвестные на месторождении минералы: графит, павонит, гладит, линдстрёмит, тетрадимит, Bi-теннантит.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ РАБОТЫ. 1. Дана оценка уровня накопления Ag, Au, Pd, Pt в рудах Калгутинского месторождения.

2. Предложены геохимические критерии рудоносности, которые рекомендуется использовать при оценке уровня эрозионного среза рудных жил и перспектив оруденения на глубину.

3. Прогнозируется изменение качества руд по падению рудной жилы № 87 с увеличением содержания W, Mo, Pt, Pd, в меньшей степени Be и снижением содержания Cu, Bi, Ag, Au.

4. Выявлено, что околожильные грейзены месторождения характеризуются промышленными уровнями накопления основных рудных элементов W и Mo. За счет включения околожильных грейзенов в контур промышленного оруденения можно существенно увеличить ресурсы месторождения.

5. Установлена принципиальная возможность получения рудных концентратов с высокими содержаниями благородных металлов по предусмотренной на руднике схеме получения концентратов вольфрамита и молибденита с их последующей доводкой на концентраторах типа «Итомак».

ИСХОДНЫЕ ФАКТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. В основу работы положены материалы многолетних полевых и лабораторных исследований коллектива кафедры ГЭГХ при непосредственном участии автора с 1999 г.

Проведено бороздовое и штупное опробование рудных жил, околожильных грейзенов, автономных грейзеновых тел, штоков гранит-порфиоров, калгутитов и вмещающих порфировидных гранитов – всего 166 проб. В лабораторных условиях проводилось минералогическое изучение протолок и выделение лабораторных концентратов.

Определение химического состава проб проводилось комплексом аналитических методов: инструментальный нейтронно-активационный анализ (лаборатория ядерно-геохимических методов исследования кафедры ГЭГХ ТПУ, г. Томск), эмиссионный спектральный полуколичественный анализ, рентгено-спектральный анализ (ЦАЛ ГФУП "Березовгеология", г. Новосибирск), анализ инверсионным вольтамперометрическим методом на Au, Ag и платиноиды (ГАЦ "Золото-платина", ТПУ, г. Томск), локальный спектральный лазерный анализ (прибор ЛМА-10) с модулем МАЭС (лаборатория кафедры ГЭГХ, ТПУ, г. Томск), сорбционно-атомно-абсорбционный анализ (ГЕОХИ РАН, лаборатория геохимии и аналитической химии благородных металлов, г. Москва), микронзондовый анализ на «Camebax», электронная микроскопия с рентгеноспектральной приставкой «Kevex» (ОИГГиМ СО РАН, г. Новосибирск), метод кулонометрического титрования (ГФУП СНИИГГМС, г. Новосибирск), сцинтилляционный анализ (ОАО «Сибзолоторазведка», г. Красноярск).

Общий перечень анализируемых элементов составил 50, обработаны данные около 1000 анализов.

В основу количественного определения золота, серебра и платиноидов в породных и рудных пробах месторождения положен инверсионно-вольтамперометрический метод анализа. Проведенный внутренний и внешний контроль качества показал в целом хороший уровень надежности аналитических определений благородных металлов ИВА-методом.

Математическая обработка данных, построение рисунков и схем проводилось с использованием программ Microsoft Excel, Corel Draw 12, Illustrator 10, и Photoshop 6.0, Surfer 7.0.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. По результатам исследований составлен один научно-исследовательский отчет представленный и защищенный в управлении природных ресурсов и охраны окружающей среды по республике Горный Алтай (государственный регистрационный номер 1524). Результаты работы по теме докладывались: на третьем, четвертом и шестом Международном симпозиуме студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова в ТПУ, проводимом в 1999, 2000, 2002, 2003 гг.; на научно-практической конференции «Итоги и перспективы геологического изучения Горного Алтая», г. Горно-Алтайск, 2000 г.; на Всероссийском симпозиуме «Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов» в МГРИ, г. Москва, 2002 г.; на конференции «Проблемы геологии и географии Сибири», г. Томск, 2003 г.; на Всероссийском совещании «Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований», г. Новосибирск, 2003 г.; на Международной научной конференции «Углерод: минералогия, геохимия и космохимия», г. Сыктывкар,

2003 г.; на научной конференции, посвященной 100-летию П.А. Удодова «Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири», г. Томск, 2003 г.

По теме диссертации опубликована 21 работа, в том числе в реферируемых журналах 5 публикаций.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Диссертационная работа объемом 230 страниц машинописного текста состоит из введения, 7 глав, заключения, списка литературы, включающего 222 наименования, из них 4 на иностранном языке. Диссертация иллюстрирована 41 рисунком и 29 таблицами.

БЛАГОДАРНОСТИ. Автор выражает благодарность за научное руководство данной работой профессору, д.г.-м.н., заведующему кафедрой ГЭГХ ТПУ Л.П. Рихванову. Особую благодарность автор выражает доценту, к.г.-м.н., заведующему кафедрой ГМРП ТПУ А.А. Поцелуеву, который оказал неоценимую помощь в работе над диссертацией. Автор благодарит Котекову М.В. и Бабкина Д.И., оказавших большую помощь в проведении лабораторных исследований, Куюкова Д.И. и Соболеву Н.П. за помощь в проведении полевых работ.

Отдельную благодарность автор выражает Акимцеву В.А. (ОИГГиМ, СО РАН, г. Новосибирск), оказавшему неоценимую помощь при микроскопическом изучении вещества. Автор благодарит Анникову И.Ю. (ОИГГиМ, СО РАН, г. Новосибирск) за предоставленные материалы по геологии месторождения и Калгутинского рудного района.

Автор выражает глубокую благодарность зав. лаб. кафедры ГЭГХ Бабченко Г.Ф., оказавшему помощь в лабораторных исследованиях.

Автор признателен сотрудникам ядерно-геохимической лаборатории ТПУ к.т.н. Е.Г. Вертману, с.н.с. А.Ф. Судыко, В.М. Левицкому 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. А.Я. Пшеничкин) за помощь в проведении большого объема аналитических исследований. Автор выражает благодарность за помощь в проведении работ по выделению концентратов С.А. Бабенко (ТПУ) и А.Р. Герасимову (ОАО «Тетис», г. Новокузнецк).

Автор благодарит всех сотрудников коллектива кафедры ГЭГХ за поддержку, помощь и ценные советы при написании диссертации.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ. В работе рассматриваются и защищаются следующие положения:

ПЕРВОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

В геологических образованиях Калгутинского месторождения установлены аномально высокие концентрации благородных металлов:

- в рудных жилах – Ag 10 г/т; Au 16, Pd 63, Pt 449 мг/т;
- в околосильных грейзенах - Ag 2 г/т; Au 15, Pd 16, Pt 259 мг/т;

- в автономных рудоносных грейзеновых образованиях («Мо-шток») - Ag 3 г/т; Au 27, Pd 99, Pt 336 мг/т.

Распределение благородных металлов в рудных жилах имеет гнездовый характер. Участки обогащения Ag связаны с распределением Bi и Cu, гнезда повышенных концентраций Pt и Pd контролируются распределением графита.

Рудоносные образования Калгутинского месторождения: рудные кварцевые жилы №87, 69-70, 1-2 и их околосильные грейзены, автономные грейзеновые образования «Мо-шток 1» и «Мо-шток 2» характеризуются аномально высоким уровнем накопления Au, Ag, Pt, Pd (табл. 1.).

Таблица 1.

Статистические параметры распределения благородных металлов в геологических образованиях месторождения (по данным инверсионно-вольтамперометрического метода анализа, ГАЦ "Золото-платина", ТПУ, г. Томск)

Характеристика геологических образований (кол-во проб)	Au		Ag		Pt		Pd	
	Среднее,мг/т	V, %	Среднее,г/т	V, %	Среднее,мг/т	V, %	Среднее,мг/т	V, %
	min- max		min- max		min- max		min- max	
Рудные жилы №87, 69-70, 1-2	16 ± 2 0,5 – 50	95	$8,2 \pm 1,7$ 0,2 – 41	125	492 ± 143 0,5 – 3500	175	61 ± 19 0,5 – 700	195
Околосильные грейзены	16 ± 2 0,5 – 66	100	$1,7 \pm 0,3$ 0,1 – 9,4	145	180 ± 59 0,5 – 2300	235	15 ± 2 1 – 69	95
«Мо-шток 1» (38)	27 ± 7 0,5 – 178	160	$3 \pm 0,3$ 0,1 – 6	60	336 ± 63 0,5 – 1500	120	99 ± 24 1 – 640	150
«Мо-шток 2» (4)	14 ± 10 1 – 46	150	$0,25 \pm 0,06$ 0,15 – 0,4	50	515 ± 377 0,5 – 1600	150	45 ± 24 1 – 110	110
Калгутиты* $\gamma\text{Pt}_3\text{-J}_1\text{vk}$ (6)	116 ± 80 8 – 512	170	$1,2 \pm 0,7$ 0,007 – 4	145	265 ± 137 0,5 – 700	130	8 ± 1 5 – 11	31
Гранит-порфиры* $\gamma\text{Pt}_2\text{-J}_1\text{vk}$ (5)	29 ± 15 3 – 84	115	$0,1 \pm 0,04$ 0,006 – 0,25	85	802 ± 336 150 – 1800	95	115 ± 97 10 – 500	190
Порфировидные граниты главной фазы* $\gamma\text{T}_3\text{-J}_1\text{kl}$ (1)	93	н.д.	0,04	н.д.	28	н.д.	10	н.д.
Кларк в верхней земной коре (Тейлор, Мак-Леннан, 1988)	1,8		0,05		1**		0,5	

Примечание: н.д.- нет данных; * - породы опробованы в пределах рудного поля и несут в себе следы альбитизации, грейзенизации и калишпатизации; ** - кларк по платине принят условно 1 мг/т.

В сравнении с рудами редкометалльных грейзеновых месторождений Центральной Азии, известных повышенными концентрациями золота, серебра и платиноидов (таких как Коунрад, Караоба, Сырымбет, Акчатау и др.), руды Калгутинского месторождения характеризуются одними из самых высоких уровнями накопления благородных металлов.

Породы рудного поля: гидротермально измененные гранит-порфиры $\gamma\pi_2$ - J_1vk , калгутиты $\gamma\pi_3$ - J_1vk и порфировидные граниты основной фазы внедрения γT_3 - J_1kl (исследованные нами в пределах рудного поля и несущие следы метасоматических изменений), характеризуются повышенными уровнями накопления благородных металлов, что в общем характерно для рудных полей грейзеново-жильных редкометалльных и медно-порфировых месторождений, несущих благороднометалльную минерализацию (Сазонов и др., 1997; Элементы примеси ..., т.1, 1999).

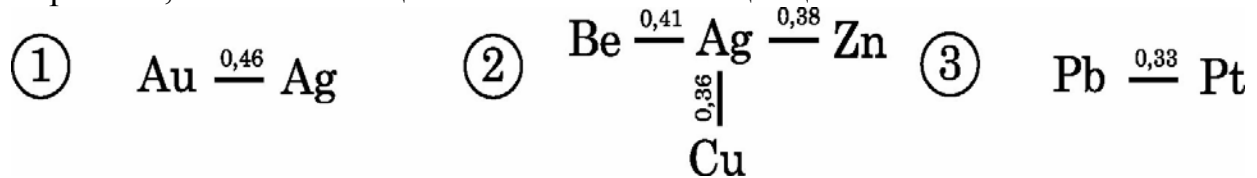
Распределение благородных элементов в рудоносных образованиях месторождения неравномерно и крайне неравномерно, коэффициент вариации, как правило, составляет $>100\%$ (см. табл. 1.).

Распределение серебра в пределах рудной жилы № 87 контролируется распределением основных рудных элементов Cu и Bi (рис. 1.). Проведенные автором исследования показали, что это обусловлено вхождением серебра в качестве изоморфной примеси в минералы медно-висмутовой ассоциации.

Характерно, что золото, платина и палладий распространены вне связи с основными рудными элементами жилы вольфрамом, молибденом, висмутом и медью. Эта же картина наблюдается в автономном грейзеновом теле «Молибденовый штук 1».

Распределение благородных металлов Au, Pt, Pd в рудной жиле № 87 связано с распределением углерода (графита). Это отражается в микропримесном составе графита и в закономерном распределении в пределах рудной жилы. Участки с наиболее высоким содержанием Pt и Pd располагаются вблизи изолинии с концентрацией $C=0,03\%$, а зона с высоким содержанием Au (>20 мг/т) в виде «шапки» располагается над изолинией $C=0,08\%$.

Анализ парной корреляции между элементами ($KK>5$) рудных жил № 87, 69-70, 1-2 показал, что благородные металлы образуют три ассоциации элементов. Это золото-серебряная ассоциация; ассоциация серебра, цинка, меди и бериллия; а также свинцово-платиновая ассоциация.



Распределение платины и палладия в пределах рудных жил месторождения характеризуется проявлением трех мод.

Ассоциации, образованные благородными металлами, взаимосвязь пространственного распределения серебра с основными рудными элементами Cu и Bi, а также взаимосвязь распределения Au, Pt, Pd со свободным углеродом указывают на формирование благороднометалльной минерализации в пределах сульфидно-сульфосольной стадии.

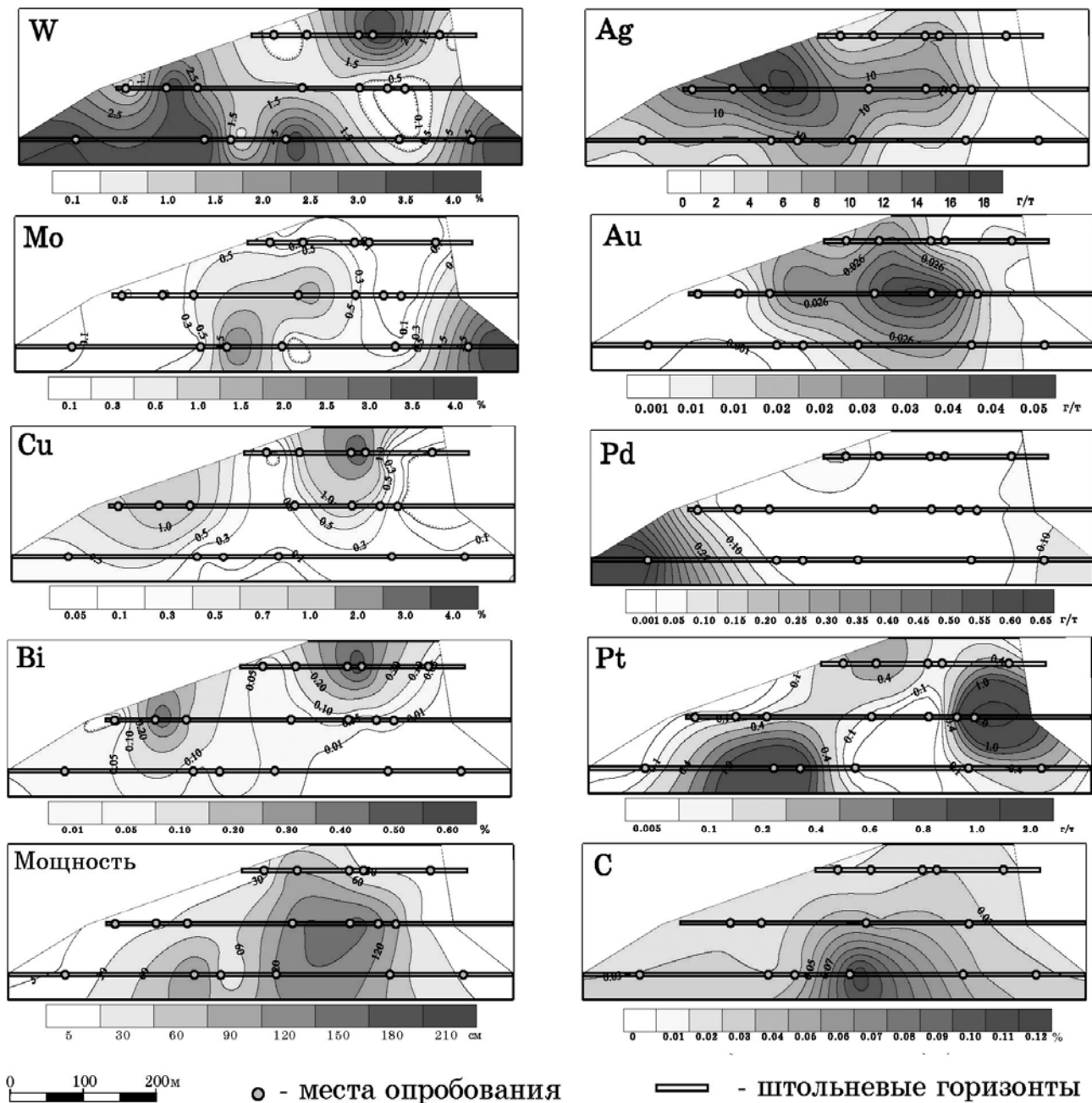


Рис. 1. Распределение свободного некарбонатного углерода (C), благородных, основных рудных элементов и изменение мощности жилы № 87 (проекция на вертикальную плоскость)

Картина пространственного распределения благородных металлов в «Мо-штоке 1» имеет те же основные особенности, что и в рудных жилах. Общность в распределении благородных металлов в различных рудных образованиях указывает на одновременность формирования данной минерализации.

ВТОРОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Благородные металлы характеризуются различными установленными и предполагаемыми формами нахождения в рудах.

Золото имеет две самородные формы: мелкая (размер зерен $n \cdot 0,1$ мм, проба 150-300 ‰, основные примеси Cu и Ag) и тонкая (размер зерен 5–10 мкм, проба 744-964 ‰, основная примесь Ag).

Основное количество **серебра** находится в серебровисмутовых минералах, сульфидах и сульфосолях Bi, это павонит (до 8,7 %), купробисмутин (до 1,2 %), гладит (до 0,96 %), Bi-тенантит (до 0,59 %), висмутин (до 0,17 %).

Для Pt и Pd предполагается нахождение в форме тонких не диагностируемых микровключений собственных минералов в основных минералах руд.

Золото. Мелкое самородное золото выявлено при изучении промежуточных продуктов обогащения вольфрамитовых руд. Зерна имеют размер от 0,5 x 0,3 мм до 1,0 x 0,2 мм (рис. 3.). По данным лазерного микроспектрального анализа золото низкопробное (150-300 ‰), основными примесями являются Ag и Cu.

Зерна тонкого самородного золота (< 10 мкм) выявлены при микроскопическом исследовании сульфидных отходов (рис. 4.). По данным анализа на микрозонде «Camebax» золото высокопробное (744-964 ‰). Основной примесью является Ag (до 24,5 %), в отдельных зернах присутствуют Cu (до 0,15 %), Te (до 0,01 %), S (до 0,01 %), Hg (до 0,02 %).

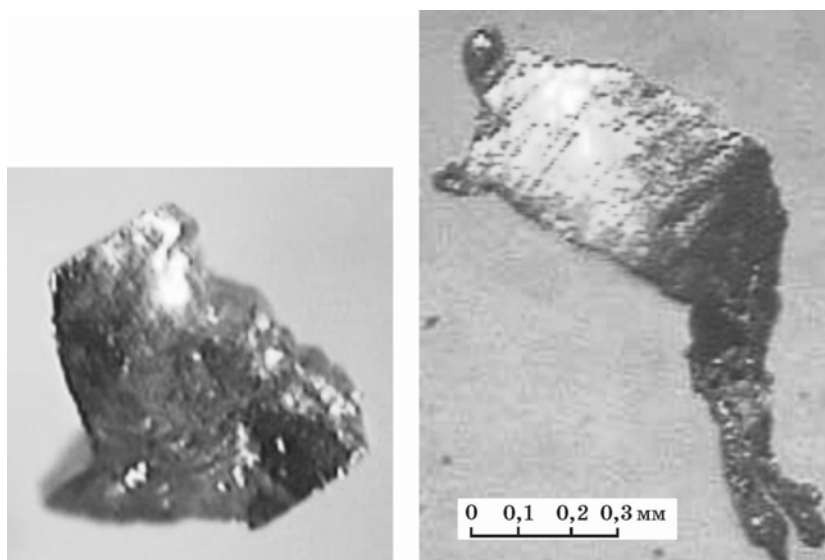


Рис. 3. Зерна золота, обнаруженные в промежуточных продуктах обогащения вольфрамитовых руд. Микроскоп МБС-10

В рудной жиле № 87 выявлены зерна графита, в которых определено высокое содержание Au (до 100 г/т). При зафиксированном высоком уровне содержания некарбонатного углерода в рудной жиле № 87 (среднее содержание 0,035 %) очевидно, что основная часть золота жилы должна быть связана с графитом.

Микропримесный состав зерен тонкого высокопробного и мелкого низкопробного золота указывает на то, что их формирование происходило в пределах сульфидно-сульфосольной стадии основного этапа минералообразования.

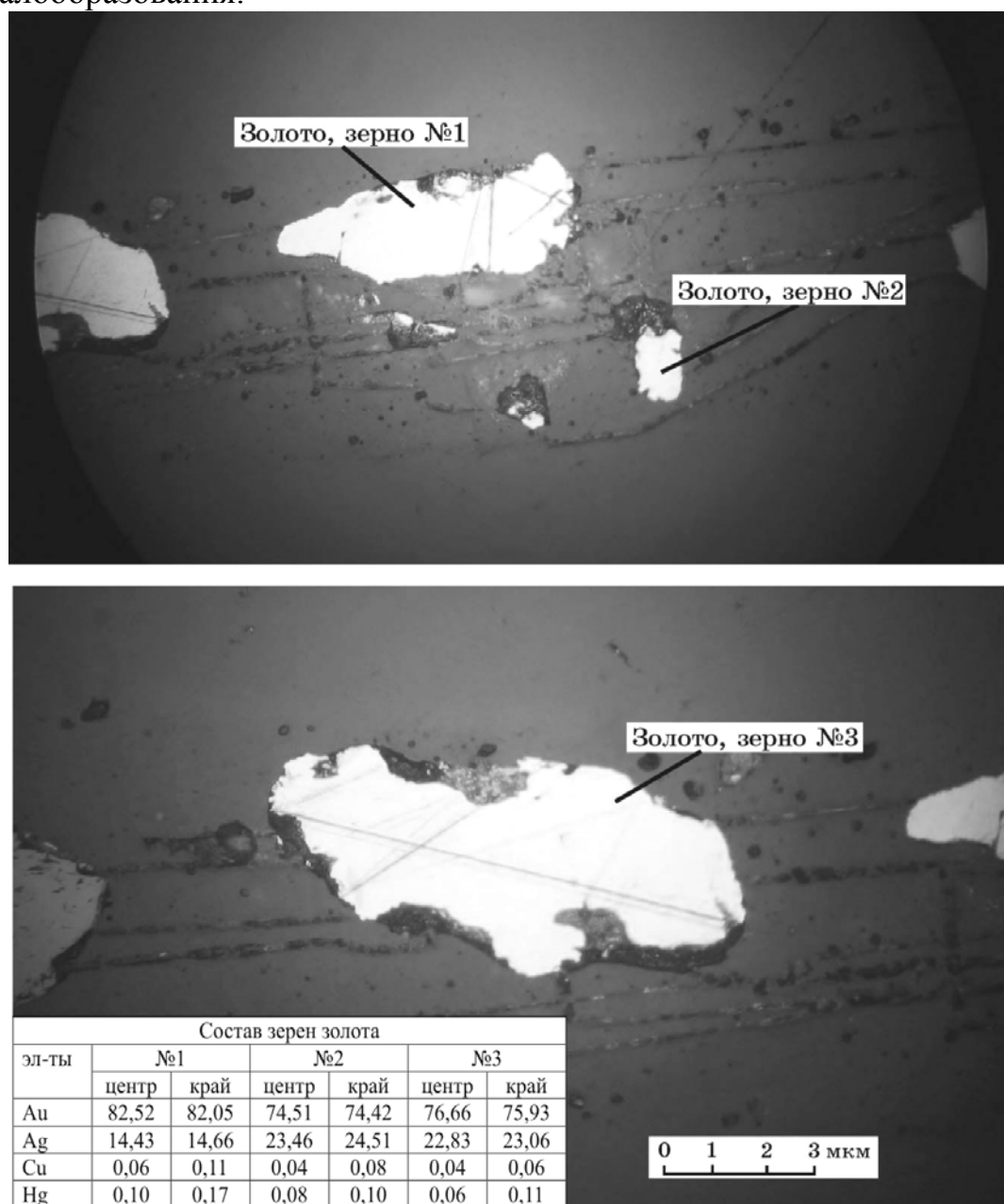


Рис. 4. Фотографии зерен самородного золота в отраженном свете на микроскопе «Jenavert» (аналитик Акимцев В.А., ОИГГиМ, СО РАН, г. Новосибирск)

СЕРЕБРО. Весьма высокие содержания Ag характерны для всех без исключения минералов сульфидно-сульфосольной ассоциации. Среди них максимальный уровень накопления серебра характерен для серебрявисмутовых, висмутовых и висмутсодержащих минералов (павонит – до 8,5 %, купробисмутин – до 1,2 %, гладит – до 0,96 %, Ві-теннантит – до 0,59 %, висмутин – до 0,17 %).

Таблица 2.

Содержание благородных металлов в основных минералах руд Калгутинского месторождения (по данным инверсионно-вольтамперометрического метода анализа, ГАЦ "Золото-платина", ТПУ, г. Томск)

МИНЕРАЛЫ	Источник	Содержание			
		Ag*	Au	Pt	Pd
		г/т	мг/т		
<i>Мусковит</i>	Рудная жила № 87	0,5	н.д.	1,6	н.д.
<i>Полевые шпаты</i>	Рудная жила № 87	<0,01	н.д.	<1	н.д.
<i>Кварц</i>	Рудная жила № 87	3,3	н.д.	<1	н.д.
<i>Халькопирит</i>	Сульфидные отходы	51	7	4	9
<i>Пирит</i>	Сульфидные отходы	11	13	627	92
<i>Вольфрамит</i>	Вольфрамитовый концентрат	1,1	2	313	56
<i>Молибденит</i>	Молибденитовый концентрат	78	80	5,8	75

* Серебро анализировалось методом инструментального нейтронно-активационного анализа; н.д. – нет данных.

Серебро в качестве примеси входит в состав высокопробного самородного золота до 24,5 % и низкопробного золота – до 40 %. В зернах графита месторождения определено высокое содержание Ag (до 1300 г/т).

В основных минералах рудных жил содержание серебра значительно ниже (табл. 2.). Максимальным уровнем накопления серебра характеризуются молибденит (до 260 г/т) и халькопирит (до 112-200 г/т), минимальным уровнем кварц и полевой шпат (0,5 и <0,01 г/т соответственно).

Выявлено, что основными минералами-концентраторами серебра являются серебро-висмутовые, висмутовые и висмутсодержащие минералы сульфидно-сульфосольной стадии основного этапа минералообразования.

Платина и палладий. В результате проведенных детальных тонких микроскопических исследований, с применением новейшего высокочувствительного оборудования, минералы элементов платиновой группы найти не удалось.

Анализ накопления платиноидов в мономинеральных фракциях основных минералов руд показал, что высокие содержания платины зафиксированы в вольфрамите и пирите, а палладия – в молибдените, пирите и вольфрамите (см. табл. 2.).

Высокие уровни накопления платиноидов отдельными зернами этих минералов подтверждаются данными лазерного микроспектрального анализа:

Pt диагностируется в вольфрамите, Pd диагностируется в молибдените и висмутине (рис. 5).

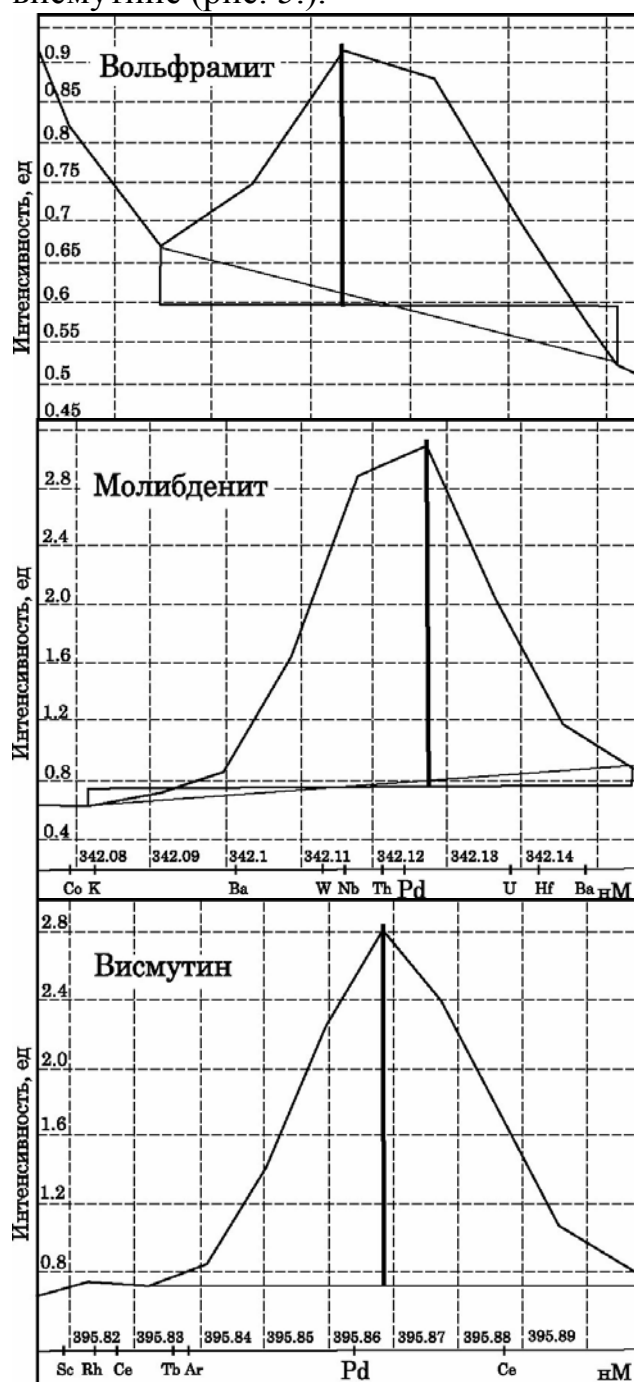


Рис. 5. Результаты лазерного микроспектрального анализа зерен рудных минералов месторождения на платину и палладий (установка ЛМА-10 с фотодиодной приставкой МАЭС)

Вероятно, одной из форм нахождения платиноидов являются тонкие не диагностируемые микровключения в основных минералах руд.

Благородные металлы в продуктах технологического обогащения

При обогащении вольфрамитовых руд на стадии получения товарного концентрата по существующей технологической схеме из промпродукта сульфидные отходы существенно обогащаются благородными металлами (Au – 5 г/т, Pt – 0,8 г/т, Pd – 0,4 г/т). При обогащении молибденитовых руд на стадии получения товарного концентрата кварц-полевошпат-сульфидные отходы существенно обогащаются благородными металлами (Ag – 35 г/т, Pt – 2,6 г/т, Pd – 0,02 г/т).

С целью изучения возможности извлечения благородных металлов из

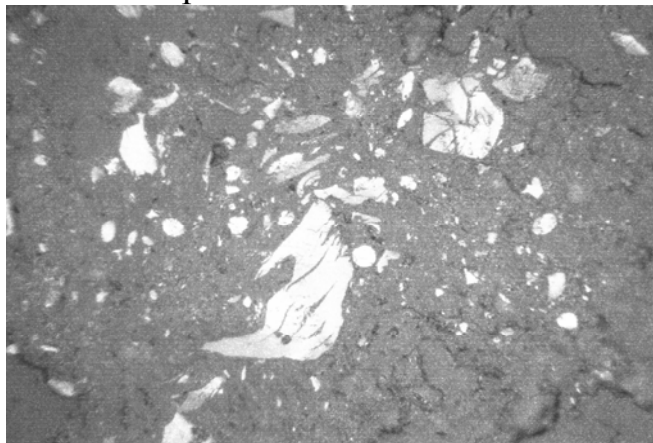
руд месторождения были проведены дополнительные лабораторно-технологические исследования отходов обогащения. Пробы отходов весом 10 кг были обогащены на центробежном сепараторе «ИТОМАК-0.1» (фракция -0,1 мм). Исследования показали концентрирование Pt до 3,4 г/т, Pd до 85 г/т и Au до 3,4 г/т в отдельных фракциях сульфидных отходов. При обогащении кварц-полевошпат-сульфидных отходов в различных фракциях происходит концентрирование Au до 730 г/т, Pd до 1,7 г/т, Pt до 1,05 г/т. Все это указывает на реальные возможности попутного извлечения благородных металлов из

сульфидных и кварц-полевошпат-сульфидных отходов при переработке руд Калгутинского месторождения.

ТРЕТЬЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Впервые в рудах Калгутинского месторождения выявлен графит. Размер зерен – до 0,5 мм, среднее содержание в рудных жилах – 0,035%, изотопный состав $\delta^{13}\text{C}$ изменяется от $-26,3 \pm 0,4\text{‰}$ до $-26,6 \pm 0,3\text{‰}$. Выявлено, что графит обладает слабо раскристаллизованной структурой с размером микрокристаллов 4-6 нм. В зернах графита установлены высокие содержания Au (до 100 г/т), Ag (до 0,13 ‰), Hg (до 0,02 ‰), Sb (до 0,14 ‰), Cu (до 1,8 ‰), Bi (до 3 ‰). Наличие графита в рудах, его изотопные характеристики и состав примесей указывают на восстановленный характер рудообразующих флюидов.

Зерна графита (< 0,5 мм) встречаются в сростках с кварцем и сульфидами. В самих зернах выявлены включения и микропрожилки халькопирита, пирита,



висмутит, ковеллин (рис. 6,8.).

Рис. 6. Зерна графита в сростках с кварцем (светлое – графит, серое – кварц и поры), проба №9989, сульфидный концентрат. Микроскоп «Jenavert», отраженный свет, без анализатора, ув. 250

По данным КРС-спектроскопии минерал имеет неупорядоченную структуру графита с размером

микрокристаллов 4-6 нм (рис. 7.).



Рис. 7. Спектры КРС графитов Калгутинского месторождения. Спектрометр Romanor U1000, возбуждение линией 514,5 нм (мощность 150 мВ) излучением Ar-лазера (аналитик Шабанин А.П., ОИГТИМ СО РАН, г. Новосибирск)

Методом кулонометрического титрования в бороздовых пробах, отобранных по основной рудной жиле (№ 87), было определено содержание свободного некарбонатного углерода и особенности его пространственного распределения. Среднее содержание элемента в рядовых пробах составляет $0,035 \pm 0,01$ %, что несколько выше кларкового уровня (0,02 %). При этом отмечаются значительные вариации концентраций от 0,02 до 0,12 %. В отдельных технологических концентратах содержание углерода достигает 0,34 %.

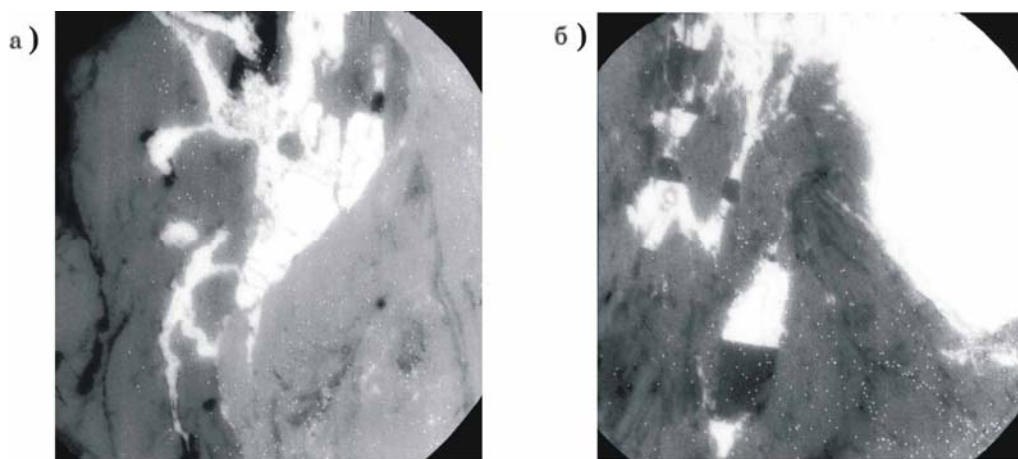


Рис. 8. Фотографии зерен графита (темное) с включениями (светлое) а) – халькопирита и ковеллина, б) – халькопирита, пирита, висмутитина. Проба 9989, сульфидный концентрат. Микрозонд «Camebax» (аналитик Акимцев В.А., ОИГГиМ, СО РАН, г. Новосибирск). Ув. 150

С глубиной в жиле содержание углерода стабильно растет от 0,025 % на 20-м горизонте до 0,049 % на 18-м горизонте.

Исследованиями на микрозонде «Camebax» в графите установлены высокие концентрации многих металлов – Au (0,01 %, здесь и далее показана максимальная концентрация), Ag (0,13 %), Hg (0,01 %), Te (0,21 %), Sb (0,14 %), Bi (3,04 %), Cu (1,78 %), Pb (0,31 %), Zn (0,2 %), Fe (0,39 %), S (4,2 %). Необходимо подчеркнуть, что Cu, Bi и S являются основными компонентами руд, где они характеризуются подобными концентрациями, а содержание остальных элементов (кроме Fe) в графите на 1-2 порядка и более (особенно Au, Ag, Hg, Te) превосходит их концентрации в рудах.

Анализ изотопных характеристик углерода, выполненный на масс-спектрометре «DELTA» (аналитик Пономарчук В.А., ОИГГиМ СО РАН, г. Новосибирск), показал «легкий» состав углерода. Значение $\delta^{13}\text{C}$ изменяется в узком диапазоне от $-26,3 \pm 0,4$ ‰ до $-26,6 \pm 0,3$ ‰. Близким составом характеризуются различные образования – хондриты, лунные породы, окрашенные алмазы Якутии, карбонадо из черных сланцев, изверженные породы. По мнению Хефса Й. (1983) и Фора Г. (1989), такие изотопные

соотношения характерны для восстановленной формы углерода, чем в данном случае и является графит.

Распределение углерода в пределах жилы № 87 имеет закономерный, концентрически зональный характер (см. рис. 1.). Просматривается отчетливая закономерность в распределении углерода и благородных металлов.

Присутствие графита в рудных жилах согласуется с низким (по сравнению с другими месторождениями Алтая) содержанием воды и углекислоты в кварцах месторождения (Дергачев, Никитина, 1989). Более того, характер изменения содержания воды и углекислоты в кварцах разных стадий Калгутинского месторождения указывает на то, что от ранней грейзеновой молибденит-кварцевой к поздней сульфидно-сульфосольной стадии происходило закономерное уменьшение содержания воды и углекислоты во флюидной системе, свидетельствующее об усилении восстановительных свойств у флюида (Дергачев, Никитина, 1989).

Таким образом, к сульфидно-сульфосольной стадии оруденения рудоносные растворы характеризовались максимально восстановленными свойствами. Вероятно, это происходило под воздействием глубинного источника восстановленных металлоносных флюидов, предположительно именно в этот период происходило отложение графита. Микропримесный состав графита и минеральный состав прожилков рудных минералов в графите также указывают на формирование минерала в сульфидно-сульфосольную стадию.

ЧЕТВЕРТОЕ ЗАЩИЩАЕМОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Впервые на Калгутинском месторождении изучена вертикальная геохимическая зональность широкого круга элементов, включающая основные рудные и благородные элементы. Построен ряд вертикальной зональности основной рудной жилы № 87 (в скобках показан коэффициент зональности):
Cu (4,7), Bi (4,6) - Au (1,6), Pt (0,6), Ag (0,3) - W (0,6), Be (0,4), Pd (0,2), Mo (0,1).

Анализ ряда зональности позволяет предполагать высокие перспективы продолжения оруденения на глубину (ниже горизонта штольни 18), а также прогнозировать изменение качества руд по падению рудной жилы: с увеличением содержания W, Mo, Pt, Pd и уменьшением содержания Bi, Cu, Ag, Au.

Для выявления зональности на месторождении была детально исследована жила № 87, имеющая наибольшую протяженность и наибольшую среднюю мощность (0,58 м).

Количество изученных элементов приблизилось к пятидесяти, сюда входят основные рудные элементы, благородные металлы, редкие и редкоземельные элементы. При построении ряда зональности жилы №87 рассматривалось проявление максимумов средних содержаний каждого из

изучаемой группы элементов на гипсометрическом уровне горизонтов штолен 20, 19, 18 (табл. 3.). Для определения положения элемента в каждой из полученных групп рассчитывался коэффициент зональности (K_3) элемента по формуле

$$K_3 = C_{20} / C_{18},$$

где C_{20} и C_{18} – среднее содержание элемента на 20-м и 18-м горизонтах.

Таким образом, был построен ряд зональности рудной жилы № 87, включающий в себя основные рудные и благородные элементы (табл. 3.).

Таблица 3.

Ряд осевой (вертикальной) зональности рудной жилы №87.

Группы элементов	Уровень накопления	
	KK >1	KK <1
Элементы фронтальной части ряда зональности (горизонт шт.20, отметка 2872 м)	Ba (15), Cu (4,7), Bi (4,6), Li (2,4), Rb (1,9), Os (1,3), Ge (1,1), Mn (1,1)	Hf (23), La (15), Th (8), Tb (6), Sm (5), Ce (5,9), Σ TR (4,3), Na (3,2), Ti (2,5), V (1,9), Sc (1,8), K (1,8), Eu (1,6), Zr (1,4), Co (1,4), Sr (1,1)
Элементы средней части ряда зональности (горизонт шт.19, отметка 2812 м)	Fe (2), Au (1,6), Sn (1,2), Pt (0,6), Sb (0,4), Ag (0,3), Zn (0,3), Pb (0,2)	Ni (1,8), Yb (1,5), Ga (1,3), Y (1), Cr (1)
Элементы тыловой части ряда зональности (горизонт шт. 18, отметка 2758 м)	P (0,73), Cs (0,7), W (0,68), Lu (0,5), U (0,4), C (0,4), Be (0,39), Nb (0,36), Ta (0,3), Pd (0,22), Mo (0,08)	-

Примечание: в скобках возле элемента показана величина K_3 ; полужирным шрифтом выделены основные элементы руд и наиболее ценные примеси.

Сравнение полученного ряда зональности рудной жилы № 87 с рядами зональности гидротермальных месторождений Григоряна-Овчинникова и обобщенным рядом зональности вольфрамовых месторождений (по Апельцину) показало, что геохимические параметры жилы №87 соответствуют характеристикам надрудной и рудной частей в этих обобщенных рядах. Это позволяет оценить уровень эрозионного среза месторождения как незначительный и предположить высокие перспективы продолжения оруденения на глубину.

Характер вертикального изменения уровней накопления элементов в рудной жиле № 87 указывает на перспективы увеличения содержания Mo, W, Be с глубиной, уменьшения содержания Bi и Cu. Также ожидается увеличение содержания Pt, Pd с глубиной и уменьшение содержания Au, Ag.

Исходя из особенностей зональности рудной жилы № 87, а также других жил месторождения №№ 69-70 и 1-2, составляющих в сумме примерно половину запасов разведанных жильных руд, предложен ряд аддитивных и мультипликативных геохимических критериев оценки уровня эрозионного

среза и перспектив рудных жил, выработанных в соответствии с основными закономерностями пространственного распределения элементов в пределах рудной жилы №87 (табл. 4.).

Таблица 4.

Геохимические критерии оценки уровня эрозионного среза рудных жил

Уровень		Параметры рудных жил					
		W/Mo, ед.	Bi/Mo, ед.	$\frac{Cu*Bi}{W*Mo}$, ед	La/Yb, ед	$\frac{Th*Ti*V*}{*Sc*Zr, (г/г)^5}$	ΣTR , г/т
Рудная жила	Верхняя часть	9,6	1,9	0,9	10	860	30
	Средняя часть	5,7	0,8	0,3	6,1	64	27
	Нижняя часть	0,9	0,3	0,09	3,7	43	11

Таким образом, в результате проведенных исследований построен ряд зональности для рудной жилы № 87 и выработан комплекс геохимических критериев оценки уровня эрозионного среза рудных жил.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили:

- определить высокие уровни накопления благородных металлов в геологических образованиях Калгутинского месторождения и выявить закономерности их распределения;
- определить место благородных металлов в стадийности минералообразования месторождения. Основная масса благородных металлов в рудоносных образованиях месторождения отлагалась в пределах сульфидно-сульфосольной стадии основного этапа рудообразования;
- установить формы нахождения серебра и золота в рудах месторождения и сделать обоснованные предположения о возможных формах нахождения платины и палладия;
- выработать геохимические критерии оценки уровня эрозионного среза рудных жил;
- оценить перспективы попутного извлечения благородных металлов из руд месторождения и предложить схему извлечения благородных металлов на концентрате типа «ИТОМАК» из продуктов переработки руд месторождения.

Проведенные исследования и анализ литературных данных показал: при формировании Калгутинской рудно-магматической системы фиксируется влияние глубинного, возможно мантийного, источника вещества и энергии практически на всех этапах формирования. Это нашло отражение в повышенном содержании хрома во всех изученных нами магматических образованиях массива 210-460 г/т. По данным Владимирова А.Г. (1998), в

калгутитах наблюдается смещение первичных отношений изотопов стронция в сторону мантийных меток ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₀ = 0,7069±2.

Образование графита в пределах рудных жил также свидетельствует о восстановленном характере металлоносных флюидов. Характер изменения содержания воды и углекислоты в кварцах разных стадий Калгутинского месторождения указывает на то, что от начальных к конечным стадиям формирования месторождения происходило закономерное повышение восстановительных свойств рудоносных растворов.

Вероятно, именно воздействие глубинного источника восстановленных металлоносных флюидов привело к накоплению в пределах месторождения высоких концентраций Au, Ag, Pt и Pd.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Котегов В.И. Перспективы комплексного освоения Калгутинского месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды третьего Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова.-Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – С.323.

Котегов В.И., Котегова М.В. Золото, серебро и платиноиды в рудах Калгутинского месторождения (Республика Алтай) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды четвертого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 480.

Котегов В.И., Котегова М.В. Геоэкологические проблемы освоения Калгутинского месторождения (Республика Алтай) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды четвертого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 479.

Котегова М.В., Иппалитова И.Ф., **Котегов В.И.** История открытия и освоения Калгутинского месторождения (Республика Алтай) // Проблемы геологии и освоения недр: Труды четвертого Международного симпозиума студентов, аспирантов и молодых ученых им. академика М.А. Усова.– Томск: Изд-во НТЛ, 2000. – С. 478.

Поцелуев А.А., Рихванов Л.П., Коробейников А.Ф., Никифоров А.Ю., **Котегов В.И.** О необходимости комплексной оценки на благородные металлы руд Калгутинского Мо-W месторождения // Итоги и перспективы геологического изучения Горного Алтая. Материалы научно-практической конференции, посвященной 300-летию геологической службы России и 50-летию образования геологического предприятия «Алтай-Гео». Горно-Алтайск: Горно-Алтайское книжное изд-во, 2000. – С. 85-88.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.,** Рихванов Л.П., Коробейников А.Ф. Геохимическая зональность месторождений редкометалльной грейзеновой

формации (на примере Калгутинского месторождения, Горный Алтай) // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых: Материалы Международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства».-Томск, ТПУ, 2001. – С. 298-303.

Поцелуев А.А., Никифоров А.Ю., **Котегов В.И.** Перспективы грейзенового типа руд Калгутинского Мо-W месторождения (Горный Алтай) // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых: Материалы Международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства».-Томск, ТПУ, 2001. – С. 306-309.

Рихванов Л.П., Поцелуев А.А., **Котегов В.И.**, Никифоров А.Ю., Ипполитова И.Ф. Радиоактивные элементы как индикаторы при решении геолого-генетических вопросов магмо-рудобразования (на примере Горного Алтая) // Региональная геология. Геология месторождений полезных ископаемых: Материалы Международной научно-технической конференции «Горно-геологическое образование в Сибири. 100 лет на службе науки и производства».-Томск, ТПУ, 2001. – С. 319-321.

Бабкин Д.И., **Котегов В.И.** Результаты исследования обогатимости околожильных грейзенов Калгутинского Мо-W месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Шестого Международного симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С. 209-210.

Котегов В.И. Дифференциация ЭПГ в грейзеново-жильном процессе на примере Калгутинского Мо-W месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: Труды Шестого Международного симпозиума им. академика М.А. Усова. – Томск: Изд-во НТЛ, 2002. – С. 216-217.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.** Зональность и закономерности в соотношении содержаний химических элементов в жилах и околожильных грейзенах (Калгутинское месторождение) // Известия Вузов, Геология и разведка, 2002, № 4. – С. 59 – 66.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.** Благородные металлы в Калгутинском редкометальном месторождении (Горный Алтай) // Материалы Всероссийского Симпозиума «Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов». – М.: ООО «СВЯЗЬ-ПРИНТ», 2002. – С. 206 – 210.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.**, Бабкин Д.И. Редкоземельные элементы в геологических образованиях Калгутинского месторождения (Рудный Алтай) // Известия ТПУ, 2002. Т.305. Вып.6. – С. 229-246.

Котегов В.И. Вертикальная (осевая) зональность Калгутинского W-Мо грейзеново-жильного месторождения // Вестник ТГУ, 2003. прил. 3. – С. 80-82.

Котегов В.И. Зональность редкометалльных грейзеново-жильных месторождений (Калгутинское месторождение, Горный Алтай) // Современные проблемы геологии, минерализации и комплексного освоения месторождений полезных ископаемых большого алтая: Материалы II Международной НТК, 3-6 июня 2003 г ч.1 / ВКГТУ. – Усть-Каменогорск, 2003. – С. 156.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.** Калгутинская флюидно-магматическая система (Горный Алтай): геохимическая эволюция и корреляция // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований: Всерос. совещ., г. Новосибирск, 16-19 апр. 2003 г. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – С. 268-269.

Поцелуев А.А., Акимцев В.А., **Котегов В.И.** Углерод в рудных жилах Калгутинского грейзенового месторождения (Горный Алтай) // Углерод: минералогия, геохимия и космохимия: Материалы Международной научной конференции. – Сыктывкар: Геопринт, 2003. – С. 223-225.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.** Углеродистое вещество и благородные металлы в Калгутинском грейзеновом месторождении // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Материалы научной конференции, посвященной 100-летию П.А. Удодова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 104-106.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.** Зональность редкоземельных элементов в редкометалльных грейзеновых месторождениях // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири: Материалы научной конференции, посвященной 100-летию П.А. Удодова. – Томск: Изд-во ТПУ, 2003. – С. 194-196.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.** Минералого-геохимические особенности графита Калгутинского грейзенового месторождения // Известия ТПУ, 2004, т.307, №1. – С. 62-67.

Поцелуев А.А., **Котегов В.И.**, Акимцев В.А. Графиты Калгутинского редкометалльного грейзенового месторождения (Горный Алтай) // ДАН, 2004, т.399, №2, в печати.