

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО МИНЕРАЛОГИИ И ГЕОХИМИИ КАЛГУТИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.А. Поцелуев¹, А. Ю. Никифоров², В.И. Котегов¹, Л.П. Рихванов¹, Д.И. Бабкин¹

¹Томский политехнический университет, г.Томск

²Управление природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России
по Республике Алтай, г. Горно-Алтайск

Калгутинское месторождение изучается с 30-х годов двадцатого столетия. При изучении месторождения доминировал узковедомственный подход, определивший основной перечень изучаемых полезных компонентов. Вместе с тем в различных материалах подчеркивался значительно более широкий спектр ценных элементов и минералов, содержащихся в рудах месторождения. Впервые обоснование перспектив высокой золотоносности района месторождения было сделано профессором Томского индустриального института (ныне Томского политехнического университета) И.А. Молчановым в 1943 г. В последующие годы рядом исследователей постоянно подчеркивается высокое содержание благородных металлов в геологических образованиях Калгутинского месторождения. Это послужило основанием для постановки специального комплекса исследовательских работ и в настоящее время получена новая минералого-геохимическая информация, позволяющая с новых позиций оценить генезис и перспективы этого во многом уникального объекта.

Калгутинское месторождение является представителем месторождений молибден-редкометалльно-вольфрамовой рудной формации, которые широко распространены в пределах Горного Алтая (рис. 1).

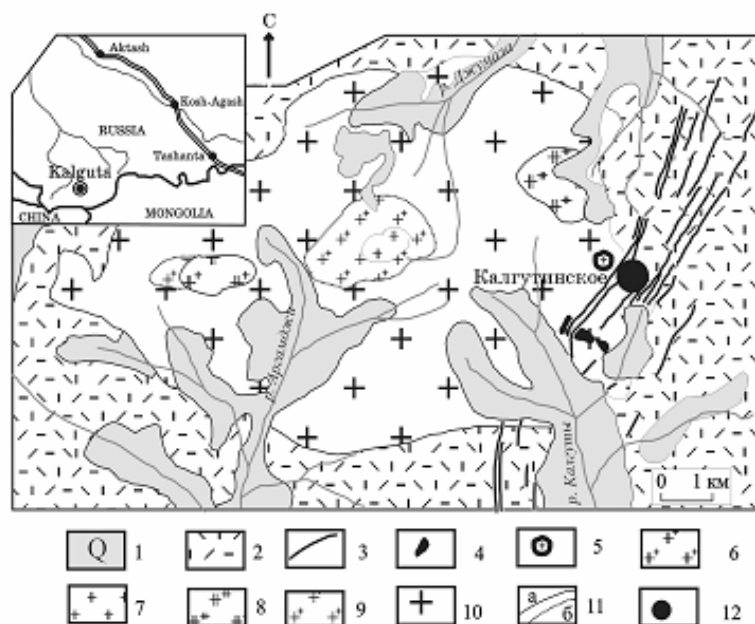


Рис. 1. Схематическая геологическая карта района Калгутинского месторождения (по данным Семенцова Б.Г., Анниковой И.Ю. с дополнениями).

1 – четвертичные отложения; 2 – девонские вулканогенно-осадочные отложения; 3-5 – восточно-калгутинский комплекс J_1vk (3 – дайки эльванов и онгонитов, 4 – штоки гранит порфиоров, 5 – грейзены «Молибденового штока»), 6-10 – калгутинский гранит-лейкогранитный комплекс T_3-J_1kl , 11 – границы геологические (а – интрузивные, в – фациальные); 12 – Калгутинское месторождение.

Оруденение представлено серией крутопадающих вольфрамит-молибденит-кварцевых жил с халькопиритом, висмутином, бериллом. Вертикальная амплитуда оруденения превышает 500 м. Наряду с рудоносными кварцевыми жилами и грейзенами встречаются дайки аплитов, микрогранитов и калгутитов (онгонитов). Отмечается сложный характер взаимоотношения даек калгутитов с рудными жилами и грейзеновыми телами, указывающий на близкое время их формирования.

В развитии Калгутинской рудномагматической системы выделяется 2 этапа и 5 стадий. Первый дорудный этап парагенетически связан с порфировидными биотитовыми гранитами I фазы внедрения ($\gamma_1T_3-J_1kl$) 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-порфиоров II фазы (γ_2J_1vk). Второй основной подэтап 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 ($\gamma\text{т}_3\text{J}_1\text{vk}$), микрогранит-порфиры.

В процессе комплексной оценки месторождения изучены уровни накопления и характер распределения благородных металлов и выявлены в составе руд новые, ранее не известные на месторождении минералы: графит, павонит, гладит, линдстрёмит, тетрадимит, В1-теннантит.

В составе руд Калгутинского месторождения отмечаются высокие содержания Au, Ag, Pt, Pd, Os, Rh [1]. Помимо рудных тел, высокие содержания благородных металлов отмечаются в околожилных грейзенах, альбитизированных гранит-порфирах и измененных дайках калгутитов (табл. 1). Распределение элементов крайне неравномерно, коэффициент вариации, как правило, превышает 100 %.

По содержанию благородных металлов (Au, Pt, Pd) заметно выделяются альбитизированные гранит-порфиры ($\gamma\text{т}_2\text{J}_1\text{vk}$). Наиболее высоким содержанием золота характеризуются гидротермально измененные внутрирудные дайки калгутитов ($\gamma\text{т}_3\text{J}_1\text{vk}$). Среди рудоносных образований наибольшими концентрациями благородных металлов выделяются кварцевые жилы.

1. Благородные металлы в геологических образованиях месторождения

Геологические образования (кол-во проб)	Ag		Au		Pt		Pd		Os	
	г/т				мг/т					
	$\frac{\text{Среднее}}{\text{min-max}}$	V, %	$\frac{\text{Среднее}}{\text{min-max}}$	V, %	$\frac{\text{Среднее}}{\text{min-max}}$	V, %	$\frac{\text{Среднее}}{\text{min-max}}$	V, %	$\frac{\text{Среднее}}{\text{min-max}}$	V, %
Рудные кварцевые жилы (35)	$\frac{8,4 \pm 1,7}{0,2-41}$	125	$\frac{17 \pm 3}{0,5-50}$	90	$\frac{449 \pm 140}{0,5-3490}$	185	$\frac{63 \pm 20}{0,5-700}$	190	$\frac{6 \pm 2}{0,05-45}$	210
Околожилные грейзены (52)	$\frac{1,6 \pm 0,3}{0,06-9,4}$	150	$\frac{15 \pm 2}{0,5-66}$	105	$\frac{259 \pm 95}{0,5-4130}$	260	$\frac{16 \pm 2}{0,5-69}$	100	$\frac{4 \pm 2}{0,03-92}$	400
Грейзенизированные и хлоритизированные дайки калгутитов, $\gamma\text{т}_3\text{J}_1\text{vk}$ (6)	$\frac{1,2 \pm 0,7}{0,007-4}$	144	$\frac{116 \pm 80}{8-512}$	170	$\frac{265 \pm 137}{0,5-700}$	130	$\frac{8 \pm 1}{5-11}$	31	$\frac{7 \pm 5}{0,03-30}$	170
Грейзеновое тело «Мо-шток 1» (38)	$\frac{3 \pm 0,3}{0,1-6}$	59	$\frac{27 \pm 7}{0,5-178}$	160	$\frac{336 \pm 63}{0,5-1500}$	120	$\frac{99 \pm 24}{1-640}$	150	$\frac{5 \pm 1}{0,03-14}$	100
Грейзеновое тело «Мо-шток 2» (4)	$\frac{0,25 \pm 0,06}{0,15-0,4}$	50	$\frac{14 \pm 10}{1-46}$	150	$\frac{515 \pm 377}{0,5-1600}$	150	$\frac{45 \pm 24}{1-110}$	110	н.д.	–
Альбитизированные гранит-порфиры, $\gamma\text{т}_2\text{J}_1\text{vk}$ (5)	$\frac{0,1 \pm 0,04}{0,006-0,25}$	83	$\frac{29 \pm 15}{3-84}$	115	$\frac{802 \pm 336}{150-1800}$	94	$\frac{115 \pm 97}{10-500}$	190	$\frac{5 \pm 3}{1,2-19}$	150
Грейзенизированные порфировидные биотитовые граниты, $\gamma\text{-I}\gamma\text{T}_3\text{-J}_1\text{kl}$ (1)	0,04	–	93	–	28	–	10	–	0,8	–
Кларк [2]	0,05		1,8		н.д.		0,5		н.д.	

Примечание: н.д. – нет данных

Основные минералы руд (вольфрамит, молибденит, халькопирит, пирит, висмутин и др.) контрастно отличаются по содержанию благородных металлов (табл. 2). Максимальные содержания золота выявлены в зернах графита (100 г/т), что обусловлено микровключениями собственных минералов. Размер их может составлять 4–6 нм [3]. Среди других минералов заметно выделяется пирит рудных жил, содержание золота в котором (54 мг/т) значительно выше, чем в пирите Мо-штока. Все данные подчеркивают связь золотой минерализации с формированием сульфосольно-сульфидно-кварцевого оруденения.

Золото обнаружено в двух самостоятельных формах выделения: – самородное мелкое низкой пробы (300–150 ‰, основные примеси Cu и Ag), – самородное тонкое высокой пробы (964–835 ‰, основные примеси – Ag, Cu, Hg, Te).

2. Благородные металлы в минералах Калгутинского месторождения

Минерал	Образования, вид анализа (кол-во проб)	Au, мг/т	Ag, г/т	Pt	Pd	Os
				мг/т		
Вольфрамит	Жила № 87, ИНАА (8)	25	1,1	–	–	–
	Мо-шток 1, ИНАА (4)	25	0,5	–	–	–
	Концентрат, ИВАМ (1)	–	–	313	56	0,03
Молибденит	Жила № 87, ИНАА (5)	12	78	–	–	–
	Мо-шток, ИНАА (3)	13	20	–	–	–
	Концентрат, ИВАМ (1)	–	–	6	75	1,6
Халькопирит	Жила № 87, ИНАА (6)	15	51	–	–	–
	Мо-шток 1, ИНАА (2)	15	35	–	–	–
	Концентрат, ИВАМ (1)	–	–	4	9	0,05
Пирит	Жила № 87, ИНАА (7)	54	11	–	–	–
	Мо-шток 1, ИНАА (2)	15	20	–	–	–
	Концентрат, ИВАМ (1)	–	–	670	92	0,05
Кварц	Жила № 87, ИНАА (9)	18	0,5	–	–	–
	Околожилльные грейзены, ИНАА (9)	18	0,1	–	–	–
	Мо-шток 1, ИНАА (6)	15	0,1	–	–	–
	Альбитиз. гранит-порфиры ИНАА (2)	27	0,1	–	–	–
	Вмещающие граниты, ИНАА (1)	2,5	0,1	–	–	–
Графит	Концентрат, «Самбах»	(2)	$100 \cdot 10^3$	1400	–	–
Гладит		(4)	–	1400	–	–
Купробисмутин		(1)	–	12000	–	–
Vi-тенантит		(3)	–	900	–	–
Висмутин		(4)	–	8400	–	–
Павонит		(3)	–	73000	–	–
Золото, <10 мкм		(5)	$911 \cdot 10^6$	87200	–	–

Примечание: ИНАА – инструментальный нейтроноактивационный анализ, ИВАМ – инверсионный вольтамперметрический анализ, прочерк – нет данных

Серебро накапливается главным образом в сульфидах и сульфосолях, где его концентрация достигает 1 %. Максимальные содержания Ag отмечаются в павоните – 7,3 %, купробисмутине – 1,2 %, гладите – 0,14 %. Высокое содержание Ag характерно для зерен графита (до 0,14 %). Из других рудных минералов высокие содержания Ag отмечаются в молибдените (до 260 г/т), халькопирите (до 200 г/т), пирите (до 27 г/т).

Значительные содержания платиноидов выявлены в пирите (Σ ЭПГ=760 мг/т), вольфрамите (Σ ЭПГ=369 мг/т) и молибдените (Σ ЭПГ=82 мг/т). Максимальные содержания платины отмечаются в пирите (670 мг/т) и вольфрамите (313 мг/т). Высокие содержания палладия на уровне 10 мг/т характерны для всех трех минералов. Предполагается наличие микровключений собственных минералов Pt и Pd.

Повышенные содержания благородных металлов отмечаются в различных концентратах, получаемых при обогащении руд (табл. 3).

3. Благородные металлы в концентратах Калгутинского месторождения

Концентраты, количество проб	Au	Ag	Pt	Pd	Os
	мг/т	г/т	мг/т		
Вольфрамитовый промпродукт, (1)	120	280	110	93	н.д.
Вольфрамитовый концентрат (ГОСТ-213-83), (2)	10	67	530	50	0,03
Сульфидный концентрат, (6)	5030	270	150	103	н.д.
Молибденитовая руда, (3)	11	1,2	340	4,6	0,7
Молибденитовый концентрат (ГОСТ-212-83), (2)	10	70	230	6,0	1,9

Золото в основном накапливается в сульфидных отходах (5,0 г/т), образующихся при получении вольфрамитового концентрата. Серебро также в основном остается в сульфидных отходах, вместе с тем в концентратах вольфрамита и молибденита его содержание достаточно высокое (67–70 г/т). Содержания платины менее дифференцированы, но более высокие содержания отмечаются в вольфрамитовом концентрате (530 мг/т). Высокие содержания палладия отмечаются также в вольфрамитовом концентрате (50 мг/т), но в большей степени он накапливается в сульфидном концентрате (103 мг/т) совместно с золотом и серебром.

Весьма интересным является присутствие в рудах месторождения графита [3]. Зерна графита (< 0,5 мм) встречаются в сростках с кварцем и сульфидами. В самих зернах отмечаются включения и микропрожилки халькопирита, пирита, висмутита, Вi-теннантита. Все полученные данные позволяют утверждать, что графит входит в состав поздних минеральных ассоциаций, формирующихся в сульфосолюно-сульфидно-кварцевую стадию основного этапа рудообразования.

Исследование спектра комбинационного рассеяния света (КРС) графита показывает, что минерал характеризуется разупорядоченным, поликристаллическим состоянием, то есть переходным к полнокристаллическому состоянию. Размер микрокристаллов графита, оцененный по данным КРС составляет 4 – 6 нм. В зернах графита установлены высокие концентрации многих металлов, в том числе Au и Ag. Высокие содержания металлов в зернах графита могут быть обусловлены микровключениями собственных минералов.

Методом кулонометрического титрования в борздовых пробах, отобранных по основной рудной жиле (№ 87), было определено содержание углерода (не карбонатные формы) и особенности его пространственного распределения. Среднее содержание элемента в пробах составляет $0,035 \pm 0,01$ %, что значительно выше кларка углерода (0,02 %), отмечаются значительные вариации концентраций от 0,02 до 0,12 %. С глубиной в жиле (изучено 3 штольневых горизонта через 60 м.) содержание углерода растет от 0,025 % на верхнем горизонте до 0,049 на нижнем горизонте. Распределение углерода в пределах жилы № 87 имеет закономерный, концентрически зональный характер (рис. 2). На вертикальной проекции наблюдается увеличение концентрации элемента от верхней и периферической части жилы в низ и к центру. При этом просматривается отчетливая закономерность в распределении углерода, благородных металлов, изменении мощности жилы и в распределении участков с богатыми концентрациями W, Mo и Cu. Анализ изотопных характеристик, выполненный на масс-спектрометре «DELTA» в ОИГГМ СО РАН (аналитик Пономарчук В.А.), показал «легкий» состав углерода. Значение $\delta^{13}\text{C}$ изменяется в узком диапазоне от $-26,3 \pm 0,4$ ‰ до $-26,6 \pm 0,3$ ‰. По мнению Фора Г. [4] такие изотопные соотношения в первую очередь характерны для восстановленной формы углерода, чем в данном случае и является графит. Вместе с тем «легкие» изотопные характеристики углерода могут быть результатом высокой степени дифференциации вещества в процессе перемещения глубинного флюида в область рудообразования.

На месторождении выявлена контрастная зональность в распределении большого числа химических элементов, в том числе основных промышленных и благородных металлов [5]. Общая схема зональности основной промышленной жилы № 87 характеризуется следующими особенностями. В верхней (фронтальной) части геохимического ряда зональности преимущественно накапливаются литофильные (редкие и редкоземельные) элементы. В нижней (тыловой) части ряда накапливаются в основном халькофильные элементы. Основные рудные элементы значительно дифференцированы – в верхней части геохимического ряда расположены Cu, Вi, слабее дифференцировано содержание W, в тыловой части ряда находятся Be, Mo.

Хроматографический анализ газов, выделенных из кварцев рудной жилы № 87, показал наличие в их составе наряду с водой и угольной кислотой широкого спектра углеводородов (CH_4 , C_2H_2 , $\text{C}_2\text{H}_{4,6}$, C_3H_8 , C_4H_{10} , C_5H_{12} , C_6H_{14}) и даже свободного водорода. При этом концентрация газов закономерно изменяется от верхних горизонтов (штольни 20, 19) к нижнему (штольня 18). С глубиной значительно уменьшается концентрация CO_2 (от 83 до 71 мг/кг), H_2O (от 1300 до 970 мг/кг) и заметно увеличивается суммарное содержание углеводородов. Особенно значительно возрастает концентрация $\text{C}_2\text{H}_{4,6}$ и C_6H_{14} (от 0,7 до 1,7 мг/кг). На нижнем горизонте в составе газов появляется H_2 , концентрация которого достигает 5 мг/кг.

Полученные данные свидетельствуют об активном участии углеводородов и водорода в процессе образования руд Калгутинского месторождения. Этим объясняется присутствие в рудах и закономерный характер распределения графита. Принимая во внимание геохимическую характеристику зерен графита можно заключить, что источником благородных металлов являлись глубинные металлоносные флюиды, имеющие явно восстановленный характер.

Совокупность установленных фактов в соответствии с представлениями Н.Л. Добрецова [6 и др.], Ф.А. Летникова [7 и др.] указывают на глубинный мантийно-плумовый характер флюидно-магматической системы Калгутинского месторождения. В процессе развития Калгутинской флюидно-магматической системы влияние глубинного флюида нарастает и достигает максимума во время формирования минеральных ассоциаций основной стадии минералообразования. Это позволяет оценить как весьма высокие перспективы рудоносности более глубоких горизонтов месторождения, а в сочетании с данными по зональности оруденения прогнозировать качественные характеристики руд.

Более высокие содержания Au, Pt, Pd в измененных гранит-порфирах и калгутитах, по сравнению с жилами и околожилными грейзенами, указывают на высокие перспективы выявления в районе благороднометалльного оруденения в связи с этими магматическими образованиями.

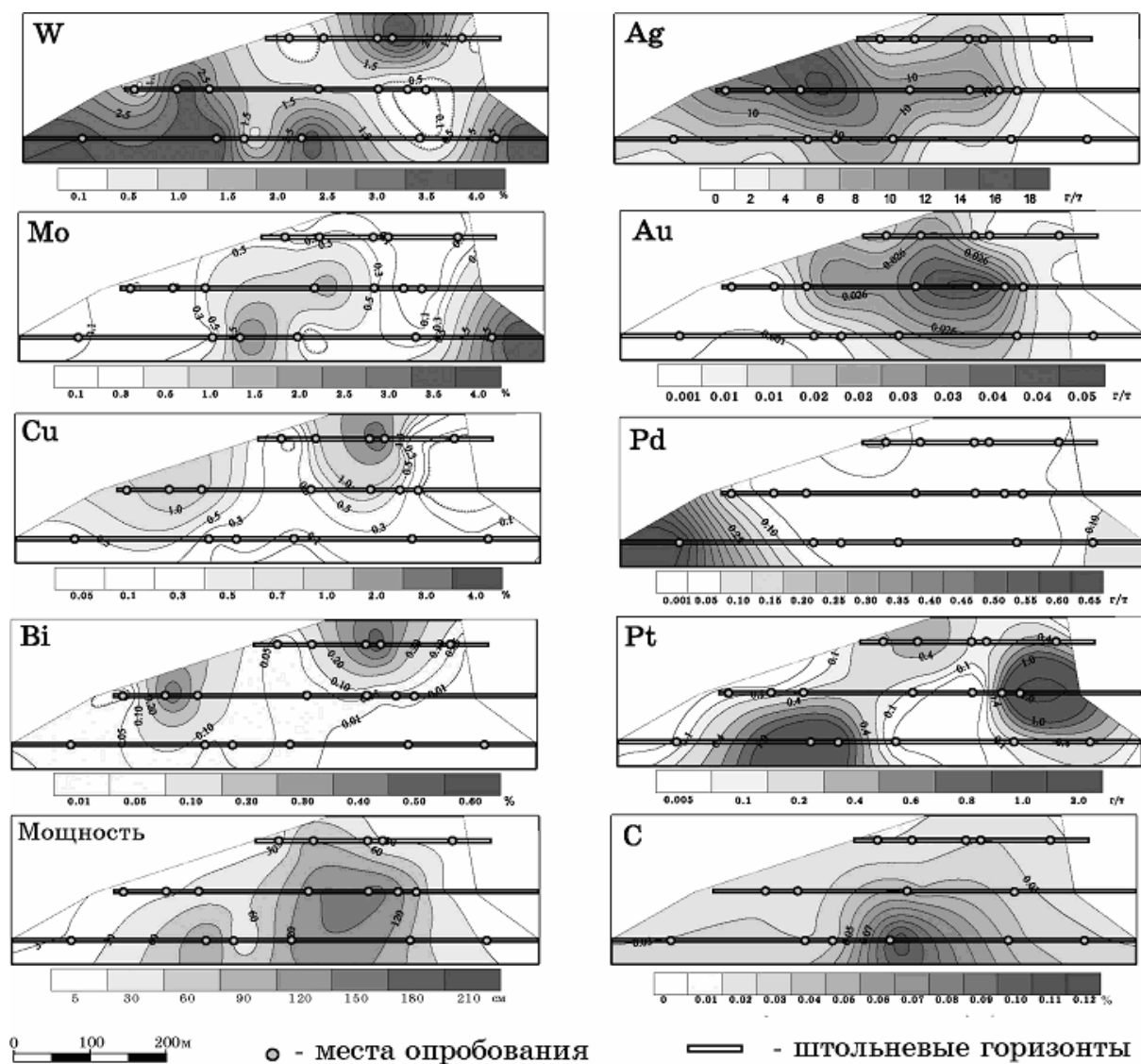


Рис. 2. Распределение углерода, благородных и основных рудных элементов в жиле № 87 (проекция на вертикальную плоскость).

Работа выполнена при финансовой поддержке программы «Университеты России – фундаментальные исследования», № УР 09.01.045

Литература

1. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Рихванов Л.П. и др. Благородные металлы в Калгутинском редкометалльном месторождении (Горный Алтай) // Известия Томского политехнического университета, 2004. Т. 307. № 5. С. 36-42.
2. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция: Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 384 с.
3. Поцелуев А.А., Котегов В.И., Акимцев В.А. Графиты Калгутинского редкометалльного грайзенового месторождения (Горный Алтай) // Доклады РАН, 2004. Т. 399. № 2. С. 1-4.
4. Фор Г. Основы изотопной геологии: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.- 590 с.
5. Поцелуев А.А., Котегов В.И. Зональность и закономерности в соотношении содержаний химических элементов в жилах и околожилных грайзенах (Калгутинское месторождение) // Известия Вузов: Геология и разведка, 2002, № 4. С. 59-66.
6. Добрецов Н.Л. Мантийные плюмы и их роль в формировании анорогенных гранитоидов // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – № 12. – С. 1243–1261.
7. Летников Ф.А., Дорогокупец П.И. К вопросу о роли сверхглубинных флюидных систем земного ядра в эндогенных геологических процессах // Доклады РАН. – 2001. – Т. 378. – № 4. – С. 535-537.