

случае механизмов, приводящих к появлению стопоров, сильно различающихся по прочности, может быть получен сложением  $\tau_k$ , т.е.

$$\tau = \sum_k \tau_k = Gb\rho^{1/2} \sum_k \alpha_k \quad (7)$$

Таким образом, для процесса увеличения сопротивления движению дислокаций характерен принцип аддитивности сопротивления. Существование принципа аддитивности доказано и для магнитоакустического эффекта Баркгаузена. Следовательно, изменение величины упрочения исследуемого ферромагнитного материала может фиксироваться появлением на кривой магнитоакустической эмиссии дополнительного экстремума, расположенного в области высоких перемагничивающих полей. Известно, что при наложении внешнего магнитного поля ферромагнетик будет намагничиваться, причем на первой стадии намагничивание будет осуществляться за счет смещения междоменных границ. Пусть при изменении намагниченности от  $I_1$  до  $I_2$  при смещении границы от  $x_1$  до  $x_2$  происходит  $n$  скачков Баркгаузена. Так как каждый скачок Баркгаузена происходит на некотором скоплении дислокаций, то при обратном движении от  $x_2$  до  $x_1$  должно произойти такое же количество скачков обратного направления. Максимальному количеству скачков соответствует значение коэрцитивной силы  $H_c$ . Исследования магнитоакустического эффекта Баркгаузена на образцах, отобранных на субширотном профиле, пересекающем зону «горячего шва» массива Денежкин Камень показали, что для подавляющего большинства образцов характерна моноэкстремальная кривая магнитоакустической эмиссии. Лишь для пород западного контактного блока (образец 25014, например) зарегистрировано бимодальное распределение магнитоакустической эмиссии. Следовательно, в матрице габбро под действием пластического деформирования прошли процессы упрочения горной породы. При пластическом течении одновременно с изменением коэрцитивной силы  $H_c$  уменьшается и индуктивная намагниченность горной породы  $\chi$ . Таким образом, поскольку  $H_c \sim \sqrt{\rho}$ , то можно утверждать, что происходило упрочение массива.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аронов В.И., Страхов В.Н. О применении факторного анализа в геологии // Геология и геофизика. 1985. № 8. С. 133-142.
2. Попов Л.Е., Конева Н.А., Терещенко И.В. Деформационное упрочение упорядоченных сплавов. М.: Металлургия, 1979. С. 5-22.
3. Пьянков В.А., Мартышко П.С., Начапкин Н.И., Полянина Т.В., Ефимов А.А. Трехмерная гравимагнитная модель земной коры североуральского сегмента Платиноносного пояса // Геофизический вестник. 2006. № 2. С. 11-16.

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ PT-CU-NI МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИНГАШСКОГО ТИПА

**Радомская Т.А.**

*Институт геохимии СО РАН, Иркутск, Россия  
e-mail: radomskajaojigova@rambler.ru*

### PHYSICAL AND CHEMICAL ORIGIN CONDITIONS OF THE PT-CU-NI DEPOSITS OF KINGASH TYPE

**Radomskaya T.A.**

*Institute of Geochemistry SB RAS, Irkutsk, Russia  
e-mail: radomskajaojigova@rambler.ru*

Crystallization temperatures of the rocks of the Pt-Cu-Ni deposits of kingash type are estimated by of the single-pyroxene thermobarometers and the olivine-augite geothermometer and olivine-spinel

geothermometer. The dunites and verlites of the Kingash massif are crystallized at about 1060-1480°C. The gabbronorites of the Kingash massif are formed at about 980-1300°C. The pyroxenites of the Upper-Kingash massif are created at about 1090°C. The olivines of the Kingash deposit are enriched in Mg, than olivines of the Upper-Kingash massif. It indicates on the more high-temperature condition their crystallization.

Базит-ультрабазитовые комплексы AR-PR Канского зеленокаменного пояса южного складчатого обрамления Северо-Азиатского кратона характеризуются высокой рудной продуктивностью. Среди них выделены массивы кингашского типа, расположенные в метаморфизованной осадочно-вулканогенной толще и относящиеся к габбро-перидотитовой формации. Линзовидные в плане и лополитообразные на разрезе Кингашский и Верхне-Кингашский массивы состоят из ультраосновных пород и габброидов, частично перекрывающих ультрамафиты. Между ними существует переходная зона клинопироксенитов. Месторождения платиноидно-медно-никелевых руд приурочены к ультраосновным породам и характеризуются халькопирит-пентландит-пирротиновой минерализацией Печенгского типа.

Таблица 1

Температура образования пород Кингашского месторождения

номер п/п	Номер образца	Название породы	T/BBG, °C
1	C-37-65	Дунит	1478-1488(2)
2	C-31-25	Дунит	1260-1130(2)
3	C-34-93,6	Дунит	1099-1142(2)
4	C-38-197,5	Пироксеновый дунит	810-995(2)
5	C-38-218,8	Верлит	1074-1299(2)
6	C-37-103,5	Верлит	1249-1403(2)

Примечание. T/BBG – оливин-шпинелевый геотермометр [5]. Для расчета T/BBG равновесное давление было принято равным 1 ГПа (10 кбар). В скобках указано число определений. Составы минералов приведены в работе [1].

Несмотря на достаточную изученность структуры месторождений [1], дискуссионным вопросом остается генезис массивов и связанного с ними оруденения. Поэтому целью этой работы является вычисление температуры и выяснение условий образования пород Кингашского и Верхне-Кингашского массивов. С помощью комбинированного оливин-хромшпинелевого геотермометра Большауза, Берри и Грина [5] рассчитана температура кристаллизации дунитов и верлитов Кингашского месторождения (табл. 1). Для дунитов она варьирует в пределах 1099-1488°C, для верлитов – 1074-1403°C.

На тройной диаграмме химического состава оливинов видно (рис. 1), что оливины как Кингашского, так и Верхне-Кингашского массивов близки по составу и относятся к форстеритам. Фаялитовая составляющая (Fa) в оливинах Кингаша варьирует в пределах 13-15 %, а в оливинах Верхнего Кингаша возрастает и колеблется в пределах 18,5-21,5 %.

Поскольку породы массивов достаточно сильно изменены, и в некоторых сохранились лишь пироксены, являющиеся проходящими минералами почти для всех пород, были выбраны

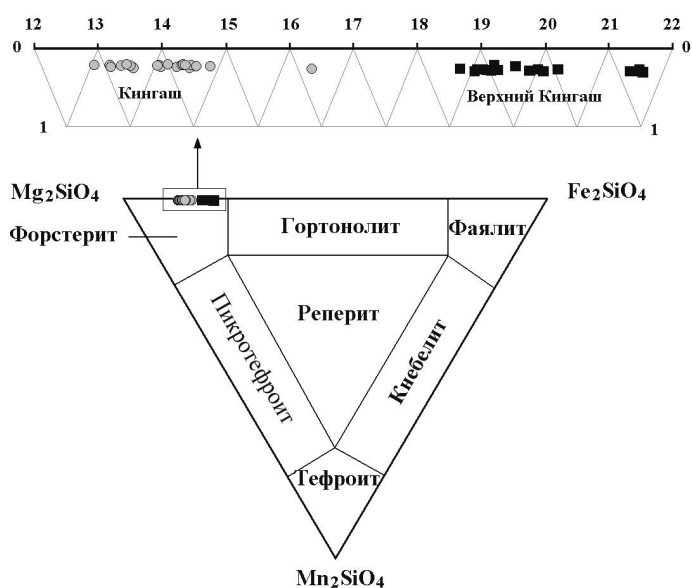


Рис. 1. Химический состав оливинов Кингашского и Верхне-Кингашского массивов на трехкомпонентной диаграмме  $Mg_2SiO_4 - Fe_2SiO_4 - Mn_2SiO_4$

Таблица 2

Сравнение равновесных температур, подсчитанных различными геотермометрами

№ п/п	Массив	Номер образца	Название породы	T/П, °C	T/М, °C	T/L, °C	T/BBG, °C
1	Кингаш	C-38-218,8	Верлит	1069	953		1074-1299(2)
2		C-17-129	Верлит	1097		1062	
3	В. Кингаш	C-11	Пироксенит	1091			
4	Кингаш	Пр. 99-5, канава 55 в районе скв. 8	Габбро-норит	1302	1704		
5				988			

Примечание. T/П, T/М – «мономинеральные» пироксеновые геотермометры [3] и [7] соответственно, T/L – оливин-пироксеновый геотермометр [6], T/BBG – оливин-шпинелевый геотермометр [5]. Для расчета T/BBG равновесное давление было принято равным 1 ГПа (10 кбар).

Таблица 3

Состав моноклинных пироксенов из ультраосновных массивов кингашского типа

Номер	1	2	3	4	Пересчет на минеральные составляющие				
					Миналы	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	52,98	52,68	50,36	52,72	Тi-фассаит	0,83	1,43	1,84	1,43
TiO <sub>2</sub>	0,30	0,51	0,40	0,51	Юриит (уреит)	0,25	0,47	1,18	0,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,03	2,73	5,21	3,18	Жадеит	0,43	0,47	0,00	0,65
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,17	0,32	0,99	0,27	Акмит	–	–	–	0,04
FeO	7,51	4,75	5,04	3,93	Са-чермакит	2,25	1,33	4,70	1,74
MnO	0,12	0,13	0,14	0,09	Волластонит	30,35	43,06	41,31	45,40
MgO	19,65	16,37	15,56	15,49	Энстатит	54,16	45,44	44,13	43,20
CaO	16,10	22,27	21,70	23,45	Ферросилит	11,72	7,80	7,54	7,15
Na <sub>2</sub> O	0,19	0,26	0,32	0,29					
K <sub>2</sub> O	0,00	0,00	0,00	0,03					
Сумма	100,05	100,02	99,72	99,96					
Пересчет на кристаллохимическую формулу на 6 (O)					Расчетные параметры				
Si	1,926	1,928	1,856	1,928	f, %	17,66	14,00	15,38	12,46
Ti	0,008	0,014	0,011	0,014	Ca/(Ca+Mg)100	37,06	49,44	50,06	52,11
Al <sup>IV</sup>	0,074	0,072	0,144	0,072	Al <sup>VI</sup> /Al <sup>IV</sup>	0,74	0,64	0,57	0,92
Al <sup>VI</sup>	0,055	0,046	0,082	0,066	A/B	3,51	1,59	5,13	1,95
Cr	0,005	0,009	0,029	0,008	Примечание. Авгиты из: 1 – габбронорита (Пр. 99-5), 2 – верлита (C-17-129), 3 – пироксенита (C-11, В. Кингаш), 4 – габбронорита (Пр. 99-5). Анализы выполнены на микроанализаторе «Superprobe-733», аналитик Л.Ф. Пискунова, Институт геохимии СО РАН [1]. f=Fe/(Fe+Mg) – железистость минералов. A/B – отношение миналов высокого и низкого давления.				
Fe <sup>2+</sup>	0,228	0,145	0,155	0,120					
Mn	0,004	0,004	0,004	0,003					
Mg	1,065	0,893	0,855	0,845					
Ca	0,627	0,873	0,857	0,919					
Na	0,013	0,018	0,023	0,021					
K	0,000	0,000	0,000	0,001					

«мономинеральные» термометры Дж. Мерсье [7] и Л.Л. Перчука [3]. Полученные значения температур по клинопироксеновому термометру Л. Л. Перчука [3] для верлита, в котором сохранился также и оливин, весьма сходны с цифрами, вычисленными по оливин-пироксеновому термометру R.R. Loucks [6] (табл. 2).

Минеральные составляющие клинопироксенов также позволяют охарактеризовать кроме температуры и давление, при которой происходит их кристаллизация [2]. В авгитах обоих массивов фиксируется барофильная Са-чермакитовая минеральная группировка, свойственная глубинным, но безгранатовым фациям пород (табл. 3). Акмитовый минал в авгите габбронорита указывает на незначительную повышенную щелочность магмы в момент его кристаллизации. Соотношение миналов высокого и низкого давления (параметр A/B в табл. 3) в пересчитанных на минеральные составляющие пироксенах Кингаша варьирует от 1,59 до 5,13. Полученные данные нанесены на трехкомпонентную диаграмму, где приводится соотношение барофильных минеральных составляющих с кальций-чермакитовым миналом, а также с группой барофильных фассаитовых миналов (рис. 2). На диаграмме нанесены поля кристаллизации безхромистых и

малохромистых пироксенов, характерных для гранатовых и шпинелевых фаций пород [2]. Авгит клинопироксенита В. Кингаша попадает в поле составов клинопироксенов из высокотемпературных перидотитов. Промежуточное положение между полями составов клинопироксенов из пироксенитов, габброидов Платиноносного пояса Урала и высокотемпературных перидотитов занимают авгиты из верлита и габбро-норита Кингашского массива.

Таким образом, формирование пород Кингашского и Верхне-Кингашского массивов происходило в практически одинаковых температурных условиях. Повышенная магнезиальность оливинов Кингаша, по сравнению с В. Кингашом, говорит о более высокотемпературном образовании породы, поскольку известно, что температура плавления магнезиальных оливинов выше, чем железистых [4]. В то же время наличие значительного количества Са-чермакитового минала в авгите из клинопироксенита В. Кингаша указывает на повышенное давление во время его кристаллизации.

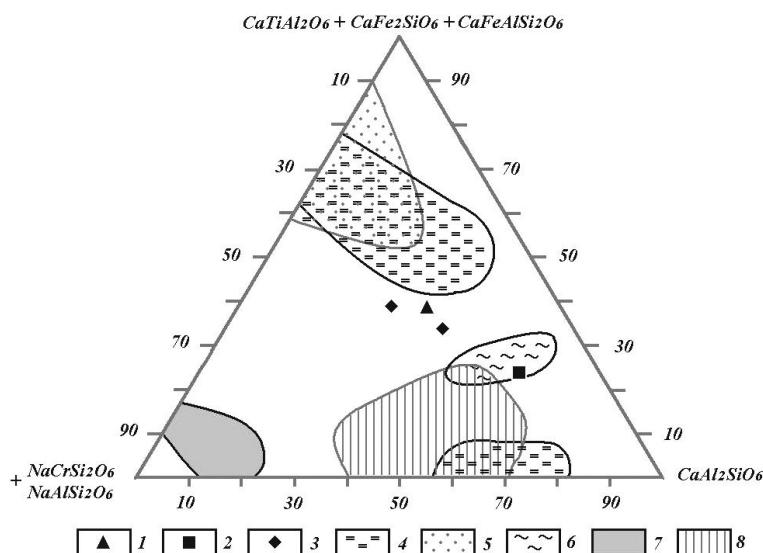


Рис. 2. Соотношение барофильных и барофобных миналов в моноклинных пироксенах по И.А. Малахову [2].

1-3 авгиты из: 1 – верлита (Кингаш), 2 – пироксенита (В. Кингаш), 3 – габбро-норита (Кингаш); 4 – поле составов клинопироксенитов из альпинотипных ультрамафитов; 5 – то же для пироксенитов и габброидов Платиноносного пояса Урала; 6 – поле составов клинопироксенитов из высокотемпературных перидотитов; 7 – поле составов пироксенитов из гранатовых лерцолитов; 8 – то же для шпинелевых лерцолитов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. Иркутск: Изд-во ИГГУ, 2003. 192 с.
2. Малахов И.А. Расчет формул минералов и использование их типохимизма для выявления генетической природы и формационной принадлежности пород: Учебное пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГГА, 2002. 228 с.
3. Перчук Л.Л. Усовершенствование двухпироксенового геотермометра для глубинных перидотитов // Докл. АН СССР. 1977. Т. 233. № 3. С. 456-459.
4. Скляр Е.В., Гладкоуб Д.П., Донская Т.В. и др. Интерпретация геохимических данных. М.: Интермет Инжиниринг, 2001. 228 с.
5. Ballhaus C., Berry R.F., Green D.H. High pressure experimental calibration of the olivine-orthopyroxene-spinel oxygen geobarometer: implications for the oxidation state of the upper mantle // Contrib. Mineral. Petrol. 1991. V.107. P. 27-40.
6. Loucks R.R. A precise olivine-augite Mg-Fe-exchange geothermometer // Contrib. Mineral. Petrol. 1996. V. 125. P. 140-150.
7. Mercier S.C. Single-pyroxene thermobarometry // Tectonophysics. 1980. V. 70. № 1-2. P 1-37.