

Ф. В. КАМИНСКИЙ, Е. В. ФРАНЦЕССОН, В. П. ХВОСТОВА

**ПЕРВЫЕ СВЕДЕНИЯ О МЕТАЛЛАХ ГРУППЫ ПЛАТИНЫ  
(Pt, Pd, Rh, Ir, Ru, Os) В КИМБЕРЛИТОВЫХ ПОРОДАХ**

(Представлено академиком Д. С. Коржинским 16 VIII 1973)

В настоящее время геологическая литература не располагает полными данными о содержании платиновых металлов в горных породах. Есть лишь отдельные сообщения об изучении распределения элементов группы платины в некоторых типах изверженных и осадочных пород (<sup>1-8</sup>).

Небольшое количество информации, характеризующей распределение платиноидов можно объяснить прежде всего трудностями химико-аналитического порядка. Содержание платиновых металлов в породах настолько мало ( $10^{-6}$ — $10^{-8}\%$ ), что определение их сводится, по существу, к анализу следовых количеств этих элементов.

В данной работе излагаются результаты определения платиновых металлов в кимберлитовых породах. Поскольку элементы группы платины генетически связаны с магматическими породами, образующимися в результате плавления материала верхней мантии, определение содержания этих элементов в кимберлитовых породах и содержащихся в них ультраосновных включениях представляет определенный интерес.

Аналізу было подвергнуто 10 проб, отобранных из кимберлитовых трубок Сибирской алмазонасной провинции, и три ультраосновных включения из трубки «Обнаженной». Первоначальный вес проб составлял от 0,5 до 2 кг. Из-за низкого содержания платиновых металлов в кимберлитах навеска анализируемого материала, полученная путем квартования исходных проб, составляла 30 г. Вскрытие пород осуществляли сплавлением анализируемого образца с  $\text{NH}_4\text{F}\cdot\text{HF}$  и растворением в кислотах ( $\text{HF} + \text{HCl} + \text{H}_2\text{SO}_4$ ). Концентрирование малых количеств платиновых металлов

Таблица 1

Расчет средней квадратичной ошибки и коэффициента вариации при определении Pt, Pd, Rh и Ir на примере кимберлитовой брекчии трубки «Мир»

Элемент	$x, 10^{-7}\%$	$\bar{x}, 10^{-7}\%$	$\bar{x}^2$	$(x-\bar{x})^2$	$S$	$v, \%$	Элемент	$x, 10^{-7}\%$	$\bar{x}, 10^{-7}\%$	$\bar{x}^2$	$(x-\bar{x})^2$	$S$	$v, \%$
Pt	140	116	+24	576	34,61	29,8	Rh	0,3	0,4	-0,1	0,01	0,30	76,5
	130		+14	196				0,7		+0,3	0,09		
	70		-46	2116				0,5		+0,1	0,01		
	90		-26	676				0,4		+0,5	0,25		
	140		+24	576				0,9		-0,1	0,01		
	170		+54	2916				0,3		-0,2	0,04		
	110		-6	36				0,2		+0,5	0,25		
	80		-36	1296				0,9					
Pd	40	36	+4	16	18,81	51,1	Ir	2,2	3,0	-0,8	0,64	1,09	36,3
	35		-1	1				3,5		+0,5	0,25		
	20		-16	256				2,0		-1,0	1,00		
	10		-26	676				3,2		+0,2	0,04		
	60		+24	576				3,2		+0,2	0,04		
	60		+24	576				2,6		-0,4	0,16		
	40		+4	16				2,0		-1,0	1,00		
	20		-16	256				5,3		+2,3	5,29		

Таблица 2

Содержание металлов группы платины в кимберлитовых и родственных им породах

Район	Название трубок	№ пробы	Содержание элементов, 10 <sup>-7</sup> вес. %						
			Pt	Pd	Ir	Rh	Ru	Os	
<b>Кимберлитовые породы</b>									
Мало-Богучинский	«Мир»	ср. из 8 ап.	116	30	5,3	1	7	5	
	Аномалия № 21	ф. 11 ф. 20	115	22	2,3	7	4	5	
Далдынский	«Зарница»	ф. 13 ф. 31 ф. 41	303	47	11	21	5	4	
Алактыский	«Айхал»	Ай-1 ф. 28 ф. 44	130	4	7	3	3	3	
		«Маршрутная»	ф. 36	170	55	11	23	5	3
		«Москвичка»	ф. 30	220	170	8	—	12	9
		«Октябрьская»	ф. 26	30	83	4,7	5	6	4
Куонамский	«Смежная»	ф. 35	280	76	12	11	18	12	
		«Сувенир»	—	74	34	6,3	—	2	3
		«Космическая»	ф. 12	430	11	8,3	—	3	2
		ф. 49							
Среднее			187	53	7,6	7,1	6,5	5,0	
<b>Карбонатиты</b>									
Куонамский	Аномалия № 70	ф. 10 ф. 50	66	40	11	15			
<b>Пикритовые порфириды</b>									
Ингилийский	«Нина»	ф. 9	120	14	Не опр.	—			
<b>Щелочные базальтоиды</b>									
Онежский п.-о.	«Карахта»	—	36	7,3	—	0,73			
	«Лывозеро»	Л-1	160	105	3,1	10,5			
<b>Ультрасосновные включения из трубки «Обнаженная»</b>									
Нижне-Оленекский	Пироповый перидотит	Л-69—21	20	9	7	4			
	»	Л-69—24	50	150	28	20			

проводили при помощи тиомочевины. Для дальнейшего анализа платиновые металлы переводили в хлориды постоянного состава. Полученные стабильные комплексные формы разделяли методом хроматографии на бумаге с последующим элюированием и идентификацией спектрофотометрическим и кинетическим методами (10).

Для определения летучих элементов платиновой группы — Os и Rh использован разработанный одним из авторов настоящей статьи высокочувствительный каталитический метод, в основу которого положена индикаторная реакция окисления  $\alpha$ -нафтиламина азотной кислотой (11).

Оценку однородности пробы и представительности выбранной навески осуществляли расчетом средней квадратичной ошибки и коэффициента вариации при определении Pt, Pd, Rh и Ir на примере кимберлитовой брекчи трубки «Мир». Результаты расчетов, полученных из анализов восьми параллельных навесок кимберлитовой брекчи трубки «Мир» (см. табл. 1) показывают, что Pt и Ir характеризуются наибольшей однородностью рас-

## Содержание металлов группы платины в изверженных породах

	Породы	Число анализов	Содержания металлов, 10 <sup>-7</sup> %						Pt: Pd	Источник
			Pt	Pd	Rh	Ir	Ru	Os		
	Хондриты Ультраосновные породы		1200 200	1270 120	150 —	400 —	950 —	900 —	0,95 1,67	(5) (18)
Ультрабазиты дунит-пироксенит-габбровой и дунит-гарцбургитовой формаций										
Урал	Дуниты	15	68	20	2,8	5	0,65	4,2	3,40	(4,6)
Нуралинский массив	Гарцбургиты	1	93	8	3,1	4,5	0,53	0,59	11,6	(6)
Инаглинский массив (Алданский щит)*	Пироксениты	6	38	25	—	—	—	—	1,32	(4)
	Дуниты	5	500	100	50	17	5	8	5,0	(3)
Породы дифференцированных платформенных габбро-норитовых интрузий										
Бушвельдский комплекс	Перидотиты	84	292	610	94	—	—	—	0,48	(8)
	Бронзититы	6	21	12	14,2	—	—	—	1,77	} Hagen, 1954 г.
	Пироксениты	7	48	59	—	—	—	—	0,81	
	Габбро	4	21	31	—	—	—	—	0,68	
	Нориты	7	38	15	—	—	—	—	2,54	
Мончегорская интрузия	Перидотит	1	56	16	—	—	—	—	3,50	(4)
	Пироксениты	2	52	29	—	—	—	—	1,79	(4)
	Габбро	1	42	23	—	—	—	—	1,82	(4)
	Норит	1	63	21	—	—	—	—	3,0	(4)
Воронежско-Курская интрузия	Дунит	1	32	13	—	—	—	—	2,46	(4)
	Габбро-пироксенит	1	Не обн.	19	—	—	—	—	—	(4)
Породы формации центральных ультраосновных щелочных комплексов и связанных с ними карбонатитов										
Маймеча-Котуйский район	Оливиниты	9	30	35	—	—	—	—	0,86	(5)
	Пикрит	1	Сл.	20	—	—	—	—	—	(5)
	Йолиты	3	250	15	—	—	—	—	16,6	(5)
	Карбонатиты	3	233	80	—	—	—	—	2,9	(5)
Кольский полуостров	Пироксениты	6	100	30	—	—	—	—	3,3	(5)

\* Отнесение пород массива к дунит-пироксенит-габбровой формации дискуссионно.

пределения. Коэффициент вариации в 30—36% обусловлен в основном ошибкой химического анализа. По Pd и Rh анализируемый образец менее однороден, и суммарный коэффициент вариации (ошибка анализа + неоднородность) для Pd составляет 51%, а для Rh 76,5%.

Результаты определения платиновых металлов в кимберлитовых породах представлены в табл. 2. Чувствительность определения отдельных элементов составляет (10<sup>-7</sup>%) для Pt и Pd 1, Rh 0,5, Ir 0,1 — из навески 30 г и Ru и Os 0,8 — из навески 5 г (с коэффициентом вариации 20—30%).

Как видно из приведенных данных, в большинстве анализированных образцов из металлов платиновой группы количественно преобладает Pt. Pd — второй по величине концентрации платиновый металл, — его в 2—40 раз меньше, чем Pt. Остальные металлы группы платины присутствуют в кимберлитовых породах в еще меньших количествах. Средняя величина отношения Pt: Pd для образцов с преобладанием Pt равна 3,5. Однако в одном образце (обр. № Ф-30) кимберлитовой брекчии трубки «Октябрьская»

получились обратные соотношения, Pt : Pd=0,3. По полученным первым данным, средние содержания платиноидов в кимберлитах Сибири составляют ( $10^{-7}\%$ ): Pt 187, Pd 53, Rh 7, Ir 7, Ru 6,5, Os 5,0; Pt : Pd=3,5.

Впервые также произведено определение содержания платиноидов в ультраосновных включениях из кимберлитовых пород (табл. 2). До сих пор имелось только одно определение Pd в оливините из гавайских базальтов (кратер Салт Лейк):  $7,3 \cdot 10^{-7}\%$ . Средние содержания платиноидов в ультраосновных включениях из трубки «Обнаженная» составляют ( $10^{-7}\%$ ): Pt 35, Pd 80, Ir 17, Rh 12, Pt : Pd=0,5.

Для сравнения использованы литературные материалы по содержанию металлов группы платины в ультраосновных породах различных формаций (табл. 3). Видно, что по содержанию всех исследованных металлов (Pt, Pd, Rh, Ir, Ru, Os) кимберлитовые породы близки к другим ультраосновным породам, но при этом, как правило, более обогащены этими элементами. Средние содержания платиноидов в кимберлитах Сибири превышают обычные содержания платиноидов в гипербазитах складчатых областей и дифференцированных платформенных габбро-норитовых интрузий и близки к содержанию соответствующих элементов в рудных дунитах и пироксенитах. Из всех типов безрудных пород наиболее близкие и столь же повышенные содержания платиноидов (Pt и Pd) отмечены для ультраосновных, щелочных и карбонатитовых пород комплексов центрального типа Сибири (<sup>4</sup>). Эти сведения подтверждаются и нашими данными по карбонатитам и пикритовым порфиритам, слагающим трубки взрыва в окраинных частях Сибирской платформы, а также по щелочным базальтоидам из трубок Онежского полуострова (см. табл. 2).

Одним из показателей степени фракционирования исходного мантийного вещества при магмообразовании является отношение Pt : Pd. В метеоритах оно близко к 1, а в различных типах горных пород и руд варьирует от десятых долей до 10—15. По мнению О. Е. Юшко-Захаровой с соавторами (<sup>4</sup>), это связано с тектонической позицией пород: чем в более спокойной тектонической обстановке происходило формирование руд, тем ниже отношение Pt : Pd, причем максимальные величины этого отношения свойственны массивам дунитов складчатых областей.

Полученные нами данные противоречат такому предположению. Как известно, образование кимберлитовых трубок происходило в наиболее стабилизированных участках древних платформ. Между тем, среднее значение отношения Pt : Pd в них (3,5) близко к величинам для дунит-пироксенит-габбровой и дунит-гардбургитовой формаций.

*Примечание при корректуре.* После сдачи данной статьи в печать появилась работа О. Е. Юшко-Захаровой и И. П. Илупина (<sup>13</sup>). В ней приводятся результаты определений Pt и Pd в трех пробах кимберлитов из сибирских трубок, а также в нескольких ультраосновных включениях.

Центральный научно-исследовательский  
геологоразведочный институт цветных  
и благородных металлов  
Москва

Поступило  
11 VIII 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> R. R. Brooks, L. H. Ahrens, Spectrochem. acta, v. 16, № 7, 783 (1960). <sup>2</sup> T. L. Wrigh, M. Fleischer, Unit. States Geol. Surv. Bull., № 1214-A, 24 (1965). <sup>3</sup> Л. В. Разин, В. П. Хвостова, В. А. Новиков, Геохимия, № 2, 459 (1965). <sup>4</sup> О. Е. Юшко-Захарова, В. В. Иванов и др., Геохимия, № 11, 1381 (1967). <sup>5</sup> О. Е. Юшко-Захарова, В. В. Иванов и др., Геохимия, минералогия и методы определения элементов группы платины, М., 1970. <sup>6</sup> В. Г. Фоминых, В. П. Хвостова, ДАН, т. 191, № 2, 443 (1970). <sup>7</sup> В. Г. Фоминых, В. П. Хвостова, ДАН, т. 200, № 2, 443 (1971). <sup>8</sup> N. G. Page, L. B. Riley, J. Haffty, Econ. Geol., v. 67, № 7, 915 (1972). <sup>9</sup> С. И. Гинзбург, Н. А. Езерская и др., Аналитическая химия платиновых металлов, «Наука», 1972. <sup>10</sup> Г. М. Варшал, В. С. Сычкова и др., Сборн. Анализ и технология благородных металлов, М., 1971. <sup>11</sup> В. П. Хвостова, В. И. Шленская, Г. И. Кадырова, ЖАХ, т. 28, 2, 328 (1973). <sup>12</sup> I. H. Crocket, G. B. Skippen, Geochim. et cosmochim. acta, v. 30 (1966). <sup>13</sup> А. П. Виноградов, Геохимия, № 1, 3 (1961). <sup>13</sup> О. Е. Юшко-Захарова, И. П. Илупина, ДАН, т. 212, № 5, 1213 (1973).