

С. А. ЩЕКА, В. Г. МОЙСЕЕНКО, В. Г. ФОМИНЫХ

## ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОЛОТА В ИНТРУЗИВНЫХ БАЗИТАХ И ГИПЕРБАЗИТАХ

(Представлено академиком А. П. Виноградовым 25 IX 1970)

Несмотря на некоторую противоречивость данных, работы по геохимии золота (<sup>1-11</sup>) подчеркивают устойчивую тенденцию к повышению кларка золота в основных и ультраосновных породах (в метеоритах до 2540\*), что позволило считать первичным источником этого элемента мантию (<sup>1, 2</sup>), а образование промышленных его месторождений связывать с переработкой базитов и гипербазитов гранитами (<sup>2</sup>). Установлено (<sup>3-5</sup>), что при дифференциации габброидной магмы золото связывается с оливиновыми дифференциатами и накапливается в кислом (существенно натровом) и медно-сульфидном остатках. Авторами сделана попытка систематизировать данные по геохимии золота в базитах и гипербазитах различного состава и генезиса. Анализы на золото выполнены в Дальневосточном геологическом институте спектрохимическим методом с чувствительностью 0,2. Подавляющее большинство параллельных определений дает удовлетворительную сходимость и подтверждается многочисленными повторными анализами, выполненными в разное время. Более значительны расхождения параллельных определений из одной пробы при высоких содержаниях, что объясняется неравномерностью распределения золота. Нейтронно-активационные контрольные определения, сделанные в Институте геохимии и аналитической химии АН СССР и в Институте ядерной физики АН УзбССР, дают те же величины, что и анализы авторов, — как на малых содержаниях (спектро-химический метод, среднее из 86 3,7, активационный — среднее из 94 3,3), так и на высоких (соответственно среднее из 34 определений 34,9 и среднее из 34 32,8). Определения авторов полностью согласуются с известными в литературе спектрохимическими (<sup>6, 8</sup>) и нейтронно-активационными (<sup>3-5</sup>) данными по одноименным типам пород.

Материалом для анализов послужили образцы хромитоносных дунит-гарцбургитовых интрузивов Сихотэ-Алиня, Камчатки, КНДР, Малого Кавказа, Урала, Филиппин, Индийского океана, железо-титаносных габбро-перидотитовых комплексов Сихотэ-Алиня, Камчатки, Урала, расслоенных никеленосных интрузий Станового хребта и габбро-портландитовых массивов Камчатки и Сихотэ-Алиня. Кроме того, были изучены субщелочные гипербазиты (меймечиты, пикриты, кимберлиты) Якутии и Сихотэ-Алиня, субщелочные базальтоиды Приморья и оливиновые включения в них. Все перечисленные объекты описаны в литературе и подробно здесь не характеризуются. По составу пород и рудоносности изученные комплексы можно разделить на две группы: а) производные гипербазитовой магмы (дунит-гарцбургитовая формация); б) производные базальтовой магмы (все остальные комплексы).

Общее представление о распределении золота в изученных породах дает табл. 1. Из нее следует, что наиболее высокие фоновые содержания золота характерны для пород (независимо от петрографического состава) гипербазитовой дунит-гарцбургитовой формации. В породах габброидного

\* Здесь и далее в работе содержание золота —  $n \cdot 10^{-7}$  %.

Распределение содержания золота в базитах и гипербазитах различных комплексов ( $n \cdot 10^{-7}\%$ )

Комплекс основных и ультраосновных пород	Число анализов	Пределы содержания	Среднее арифметическое	Среднее геометрическое	Среднее квадратическое отклонение	Коэффициент вариации	Экссесс
Гипербазиты дунит-гарцбургитовой формации	42	1,4 ÷ 63	21,3	15,1	16,4	0,77	-0,133
Гипербазиты габброидного ряда, (дунит-пироксенитовая, габбро-портландитовая формации)	86	<0,2 ÷ 12	3,1	1,9	2,6	0,85	0,633
Все гипербазиты габброидного ряда, включая субщелочные	93	<0,2 ÷ 12	3,3	2,0	2,8	0,86	0,85
Все гипербазиты (габброидный + гипербазитовый + субщелочной ряды)	135	<0,2 ÷ 63	8,9	3,8	12,6	1,41	5,386
Все породы дунито-троктолитовых расслоенных интрузий Станового хребта	12	1 ÷ 9	3,8	3,2	2,3	0,60	-0,348
Субщелочные гипербазиты: шкиры, кимберлиты, меймечиты	40	1 ÷ 13	4,4	2,8	4,1	0,93	-0,617
Оливиновые включения в щелочных базальтах	87	6 ÷ 14	10,4	10,0			
Щелочные базальты, вмещающие оливиновые включения	9	6 ÷ 15	10,9	10,4	3,3	0,30	-1,710
Габброиды габброидного ряда	17	1 ÷ 9	3,4				
Все породы габброидного ряда, включая субщелочные	121	<0,2 ÷ 13	3,9	2,4	3,4	0,87	1,122

ряда (одинаково в базитах и гипербазитах) эти величины заметно ниже и укладываются в узкий интервал. Данные по субщелочным гипербазитам из-за небольшого числа анализов могут считаться пока лишь ориентировочными, равно как и содержания в субщелочных базальтоидах не характеризуют в целом эту группу пород, ибо они отобраны вблизи ксенолитов — включений гипербазитов. Равенство же кларков золота во включениях и вмещающих эффузивах (которое характерно и для других типов эффузивов и включений) свидетельствует о выравнивании его концентрации между включающим и вмещающей магмой.

Анализ пород по вертикальному разрезу расслоенного массива Лукинда (Становой хребет) показывает, что содержания золота в нижних дунитовых с хромитом горизонтах, в средних троктолитовых с пирротитом и в верхних габбро-норитовых с титано-магнетитом, с одной стороны, и в подобных им жильных образованиях — с другой, близки между собой и равны 2,5—5; при появлении сульфидов меди и никеля они резко (в 3—10 раз) возрастают. Присутствие хромита (Au 0,2—2,7) снижает кларк золота, особенно заметно — в породах гипербазитовой формации. Анализы показывают, что в процессе автометасоматической амфиболизации, столь характерной для рудоносных комплексов, золото инертно или незначительно перераспределяется внутри интрузий. В базитах и гипербазитах золото очень чувствительно ко вторичным, особенно гидротермальным, изменениям. Для большинства интрузивов дунит-гарцбургитовой формации характерна интенсивная серпентинизация, протекающая вне видимой связи с гранитами на фоне регионального метаморфизма зеленосланцевой фации. В этих условиях (спилитизация базальтоидов) наблюдается широкая миграция золота, а в зонах натрового метасоматоза в базитах и гипербазитах любой формации иногда возникают повышенные концентрации его. Поэтому не исключен привнос части золота в гипербазиты в процессе серпентинизации, хотя содержания его в неизмененных

## Химические анализы пород контактов норит — гранит, гипербазит — гранит (%)

Компонент	Норит → Гранит			Верит ←		Гранит
	обр. № Щ724Б/1	обр. № Щ768а	обр. № Щ768а/1	обр. № Р895г	обр. № Р758	обр. № Р757
SiO <sub>2</sub>	45,80	52,48	57,00	39,84	36,68	69,28
TiO <sub>2</sub>	1,20	0,74	1,15	0,25	0,21	0,41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,45	14,04	18,81	3,71	1,59	14,93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,90	1,48	2,21	7,38	10,60	2,60
FeO	7,48	8,18	3,65	3,84	1,74	0,52
MnO	0,15	0,16	0,04	0,14	0,14	0,07
MgO	18,00	12,60	4,86	29,17	35,10	0,72
CaO	8,82	5,17	5,54	6,05	0,88	1,30
Na <sub>2</sub> O	1,69	1,84	2,92	0,21	0,10	3,74
K <sub>2</sub> O	0,32	0,92	2,11	0,08	0,04	4,51
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	1,74	0,12	0,77	6,64	9,81	2,26
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,09	0,30	0,27	0,79	0,65	0,25
CO <sub>2</sub>	0,36	0,06	—	2,41	2,39	—
П.п.п.	—	1,69	0,96	0,18	0,01	0,16
Σ	100,00	99,78	100,29	100,68	99,94	100,59
Au, 10 <sup>-7</sup> %	5—6	1	1—3	9	1—8	1
F, 10 <sup>-3</sup> %	25	10	36	9	1	35
B, 10 <sup>-4</sup> %	3	6	5	38	79	2
Cu, 10 <sup>-3</sup> %	6,08	3,08	3,2	6,32	2,2	0,88
Zn, 10 <sup>-3</sup> %	11,7	6	3,6	3	3,3	3,9
Pb, 10 <sup>-4</sup> %	9,5	7	3,2	2,6	9,1	2,6
W, 10 <sup>-4</sup> %	0,5	0,75	0,5	1	0,75	0,5
Mo, 10 <sup>-1</sup> %	2	3	3	1,8	2,1	1,5
Cl, 10 <sup>-2</sup> %	2	2	2	2	2	1

разностях до 60 свидетельствуют о повышенных исходных концентрациях. Корреляция между содержаниями золота и степенью серпентинизации (по H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>) не обнаруживается. Интенсивный вынос из базитов и гипербазитов не только золота, но и других «сиалических» элементов (Cu, Zn, Pb, W, Mo) наблюдается при переработке их гранитоидами (табл. 2). Значительную роль при этом играют щелочи и летучие. Натровый метасоматоз обычно ведет к привносу золота, с калиевыми же растворами оно выносится (<sup>12</sup>).

Таким образом, наиболее высокий кларк сугубо «сиалического» элемента — золота наблюдается в интрузиях гипербазитового ряда, что может использоваться для расчленения формаций. Учитывая количественные соотношения гипербазитов габброидного и гипербазитового рядов (2:1), кларк золота в этих породах следует считать близким к 9, в габброидах (исключая субщелочные) — равным 4. Золото равномерно распределяется в породах в процессе дифференциации и аутометасоматических изменений базит-гипербазитовых интрузий, накапливается в сульфидном медно-никелевом остатке и почти полностью выносится под влиянием гранитов. Все это позволяет утверждать, что первичными источниками золота являются магматические очаги и лишь в процессе длительной его миграции в земной коре образуются месторождения.

Дальневосточный геологический институт  
Дальневосточного филиала им. В. Л. Комарова  
Сибирского отделения Академии наук СССР  
Владивосток

Поступило  
12 IX 1970

Институт геологии и геохимии  
Уральского научного центра Академии наук СССР  
Свердловск

## ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> V. M. Goldschmidt, J. Chem. Soc., 1937, 655. <sup>2</sup> A. M. Macgregor, S. Afric. J. Sci., 47, 157 (1951). <sup>3</sup> E. A. Vincent, J. H. Crocet, Geochim. et cosmochim. acta, Part 1, 18, № 1—2 (1960). <sup>4</sup> E. A. Vincent, J. H. Crocet, Geochim. et cosmochim. acta, Part 2, 18, № 1—2 (1960). <sup>5</sup> J. J. Rowe, Chem. Geol., 4, № 3—4, 421 (1969). <sup>6</sup> Ю. Г. Щербаков, Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях, «Наука», 1967. <sup>7</sup> Ю. Г. Щербаков, Геохимия, № 12 (1968). <sup>8</sup> Н. Т. Воскресенская, Н. Ф. Зверева, Геохимия, № 4 (1968). <sup>9</sup> L. N. Ahrens, M. Fleisher, U. S. Geol. Surv. Bull., 1113, 83 (1960). <sup>10</sup> H. Hamaguchi et al., Geochim. et cosmochim. acta, 23, 296 (1961). <sup>11</sup> E. Goldberg, A. Uchiyama, H. Brown, Geochim. et cosmochim. acta, 2, 1 (1951). <sup>12</sup> В. Г. Моисеенко, С. А. Щека и др., Геохимические особенности распределения золота в породах Тихоокеанского пояса, «Наука», 1971.