

УДК 553.042(571.55)

ГЕОХИМИЯ

А. Д. КАНИЩЕВ

## ПОКАЗАТЕЛЬ РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТАЛЛОВ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 22 XII 1971)

Существует представление о прямой связи между средними содержаниями металла в земной коре и его суммарными мировыми запасами в рудных месторождениях<sup>(1)</sup>. Такая же зависимость была установлена Мак-Кельви для территории США<sup>(1)</sup>. Мы предположили, что она может проявиться и в Забайкалье, земная кора которого состоит из трех оболочек — базальтовой, днорито-метаморфической и гранитно-осадочной<sup>(2)</sup>. Для проверки этого предположения на основании 112 300 количественных и приближенно количественных спектральных анализов были вычислены средние содержания 12 рудообразующих химических элементов в земной коре Центрального и Восточного Забайкалья и ее оболочках, а также учтены запасы главных и сопутствующих компонентов в 2362 промышленных и непромышленных месторождениях. Какой-либо зависимости между величинами запасов и средними содержаниями соответствующих элементов во всей толще земной коры, мощность которой в Центральном и Восточном Забайкалье составляет в среднем 43 км<sup>(2)</sup>, не установлено, но она выявляется для верхней части земной коры (см. рис. 1) мощностью в среднем в 2 км. Коэффициент корреляции между логарифмами величин запасов и средних содержаний равен 0,75, а его критическое значение при уровне значимости 0,02 составляет 0,61.

Соотношение между мировыми запасами и средними содержаниями металлов в земной коре выражается формулой<sup>(1)</sup>  $\Sigma_{\text{зап}} = KA$ , где  $K$  — среднее содержание металла в земной коре,  $A$  — средний коэффициент пропорциональности, равный  $3,2 \cdot 10^{10}$ . Среднее значение  $A$  было получено из его частных значений для каждого химического элемента. Значения коэффициента  $A$  косвенно показывают, какую часть составляют запасы химических элементов в месторождениях по отношению к их массам, содержащимся в земной коре в рассеянном виде, истинное значение которой  $N$  представляет отношение каждого частного значения  $A$  к величине массы земной коры  $M$ :

$$N = A / M = \Sigma_{\text{зап}} / KM.$$

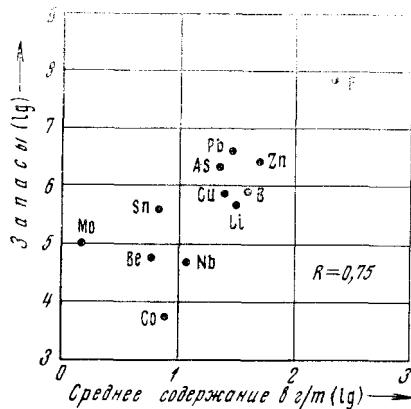


Рис. 1. Корреляция запасов рудообразующих химических элементов в известных месторождениях Центрального и Восточного Забайкалья с их средними содержаниями в верхней части земной коры. Запасы даны в условных единицах.  $R$  — величина коэффициента корреляции

Следовательно, чем больше  $A$ , тем большая часть металла перешла от рассеяния к концентрации в рудных месторождениях.

Несмотря на приближенность частных значений  $A$ , объясняющуюся неточностью цифр как средних содержаний, так и запасов, вариации этих значений, по-видимому, отражают рудообразующую способность химических элементов, которая в конечном итоге зависит от физических свойств атомов (см. табл. 1). Из табл. 1 и рис. 2 видно, что частные значения  $A$

Таблица 1

Зависимость отношений мировых запасов металлов в месторождениях суши к их средним содержаниям в земной коре  $A$  (1) от физических свойств атомов

Элемент	$A (10^{10})$	$\mathcal{E}$	$I$	$\mathcal{E}/I$	Геохимич. классиф. по (4)
Fe	8	185	26	7,14	
Ni	0,9	210	34,6	6,08	
Co	0,2	195	29,7	6,56	
Mo	5	235	73	3,22	
Pt	0,2	215	178	1,21	
Pd	0,06	225	97,5	2,30	
Th	0,09	165	44,1	3,74	
Mn	7,5	180	17,5	10,3	
Cr	5,4	250	22,4	11,45	
W	1,0	200	140	1,45	
Al	0,1	220	34,8	6,32	
Ti	0,1	155	24,1	6,45	
Be	0,06	210	54,8	3,83	
Nb	0,9	220	74	2,98	
Ta	0,2	190	150,7	1,26	
Zr	0,2	195	39,6	4,93	
U	1,1	180	50,8	3,55	
V	0,25	165	32,7	5,05	
Cu	7,2	180	16,1	11,2	
Pb	7	175	24,8	7,05	
Zn	2,4	205	27,3	7,50	
Sn	6,8	170	26,7	6,36	
Sb	4	190	2,91	6,53	
Hg	9,6	240	14,7	16,3	
Au	31,4	210	18,3	11,4	
Ag	6,6	175	17,9	9,79	
Bi	2,8	195	28,8	6,77	

П р и м е ч а н и е. Электроотрицательность ( $\mathcal{E}$ ) и ионная плотность ( $I$ ) взяты при минимальных валентностях по А. С. Поваренных (4) и Ю. Г. Щербакову (4) соответственно. Геохимическая классификация: Л — лиофильные, Х — халькофильные, С — сидерофильные элементы.

у 26 металлов имеют тенденцию возрастать с увеличением отношения значения электроотрицательности  $\mathcal{E}$  к ионной плотности  $I$ , взятых при минимальных валентностях. Это отношение  $\mathcal{E}/I$  мы предлагаем назвать показателем рудообразующей способности металлов. Коэффициент корреляции  $R$  между величинами  $A$  и  $\mathcal{E}/I$  значимый, равный 0,58. Еще лучше эта зависимость проявляется у 17 металлов: Fe, Mn, Cr, Ni, W, Mo, Cu, Pb, Zn, Sn, Sb, Hg, Nb, U, Re, Ag, Au, для которых  $R = 0,724$ , что превышает табличные значения. У неметаллов S, P, B, F такая корреляция отсутствует.

Зависимость величин мировых запасов и коэффициента  $A$  от отношения  $\mathcal{E}/I$  хорошо проявляется при рассмотрении элементов с равными или близкими кларками, но различными значениями  $\mathcal{E}/I$ . В таких случаях чем больше  $\mathcal{E}/I$  для того или другого металла, тем больше его мировые запасы и коэффициент  $A$ . При этом довольно существенные уменьшения кларка — при сохранении порядка величин — не нарушают закономерности (см. табл. 2).

Величины  $A$  и  $\mathcal{E}/I$  закономерно меняются у различных геохимических групп элементов (см. табл. 1). Халькофильным элементам свойственны их максимальные значения, а литофильным и сидерофильным, как правило, — минимальные. Так, у халькофильных элементов среднее значение

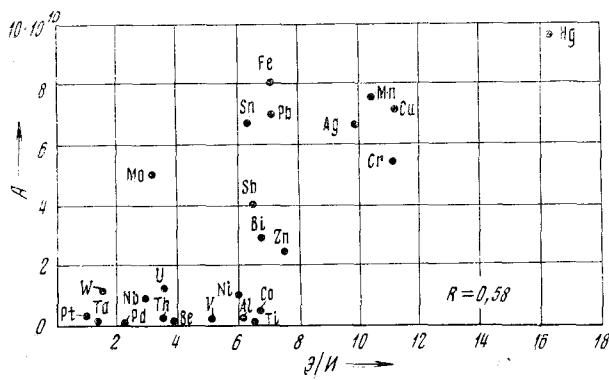


Рис. 2. Зависимость коэффициента  $A$  от отношения  $\mathcal{E}/I$

$A = 7,06$ ,  $\mathcal{E}/I = 9,2$ , а у литофильных и сидерофильных (без Fe, Mn, Cr) соответственно 0,72 и 2,7. Это свидетельствует о большей способности халькофильных элементов переходить от рассеяния в земной коре к концентрации в месторождениях по сравнению с большинством сидеро- и литофильных элементов.

Физико-химическая сущность отношения  $\mathcal{E}/I$ , вероятно, такова. Электроотрицательность атомов характеризует их химическое поведение

Таблица 2

Связь мировых запасов и коэффициента  $A$  металлов с величиной отношения  $\mathcal{E}/I$

Металл	Ср. содерж. в земной коре, % (%)	Мировые запасы, млн т (%)	$A (10^{10})$	$\mathcal{E}/I$	Металл	Ср. содерж. в земной коре, % (%)	Мировые запасы, млн т (%)	$A (10^{10})$	$\mathcal{E}/I$
Fe	4,65	$3,75 \cdot 10^5$	8,0	7,14	Sn	$2,5 \cdot 10^{-4}$	17	6,8	6,36
Al	8,05	$8,14 \cdot 10^3$	0,1	6,32	U	$2,5 \cdot 10^{-4}$	2,65	1,1	3,55
Mn	0,4	7520	7,5	7,43	Ta	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,52	0,2	1,26
Ti	0,45	486	0,1	6,45	Mo	$1,1 \cdot 10^{-4}$	5,46	5,0	3,22
Cr	$8,3 \cdot 10^{-3}$	445,5	5,4	11,15	W	$1,3 \cdot 10^{-4}$	1,36	1,0	1,45
Ni	$5,8 \cdot 10^{-3}$	54,4	0,9	6,08	Hg	$8,3 \cdot 10^{-6}$	0,80	9,6	16,3
Zr	$1,7 \cdot 10^{-2}$	36,9	0,2	4,93	Ag	$7 \cdot 10^{-6}$	0,46	6,6	9,79
Cu	$4,7 \cdot 10^{-3}$	342	7,5	11,2	Bi	$9 \cdot 10^{-7}$	0,025	2,8	6,77
Zn	$8,3 \cdot 10^{-3}$	201	2,4	7,5	Pd	$1,3 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-4}$	0,06	2,30
V	$9 \cdot 10^{-3}$	22,3	0,25	5,05	Au	$4,3 \cdot 10^{-7}$	0,135	31,4	11,4
Pb	$1,6 \cdot 10^{-3}$	107	7,0	7,05	Pt	$5 \cdot 10^{-7}$	$8 \cdot 10^{-4}$	0,2	1,28
Nb	$2 \cdot 10^{-3}$	18	0,9	2,98					

в реакциях, приводящих к формированию рудных залежей, а ионная плотность, т. е. удельный вес иона, равный величине отношения массы иона к его объему, является мерой подвижности ионов. Как показал Садецки-Кардош [7], подвижность ионов возрастает с уменьшением ионной плотности. Это явление он объяснял гравитационным эффектом.

В заключение предлагаем уточненную формулировку выявленной Л. Н. Овчинниковым <sup>(1)</sup> закономерности: суммарные запасы химических элементов в месторождениях мира, континента, большой страны, региона

имеют прямую зависимость от средних содержаний химических элементов в земной коре, а для металлов — также от величин отношений их электроотрицательностей к ионным плотностям, взятых при минимальных валентностях.

Эта закономерность, несомненно, нуждается в дальнейшем проверке и уточнении, в особенности на примерах отдельных континентов и крупных геологических регионов; она позволяет делать суммарную прогнозную оценку еще не выявленных запасов металлов в рудах (¹).

Комплексная тематическая экспедиция  
Читинского геологического управления

Поступило  
17 XII 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> Л. Н. Овчинников, ДАН, 196, № 3 (1971). <sup>2</sup> А. Д. Канищев, Г. И. Менакер, Геохимия, № 1 (1971). <sup>3</sup> А. Д. Канищев, Г. И. Менакер, Средние содержания 15 рудообразующих химических элементов в земной коре Центрального и Восточного Забайкалья, Чита, 1972. <sup>4</sup> Краткий справочник по геохимии, 1970. <sup>5</sup> Ю. Г. Щербаков, Распределение и условия концентрации золота в рудных провинциях, «Наука», 1967. <sup>6</sup> А. П. Виноградов, Геохимия, № 7 (1962). <sup>7</sup> E. Szadeczky-Kardoss, Acta geol. hung., 2, № 1—2 (1953).