

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 ⁽¹⁾. Такая же зависимость была установлена Мак-Кельви для территории США ⁽¹⁾. Мы предположили, что она может проявиться и в Забайкалье, земная кора которого состоит из трех оболочек — базальтовой, диорито-метаморфической и гранитно-осадочной ⁽²⁾. 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 ⁽²⁾, 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 ⁽¹⁾ $\Sigma_{\text{зап}} = KA$, 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 :

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

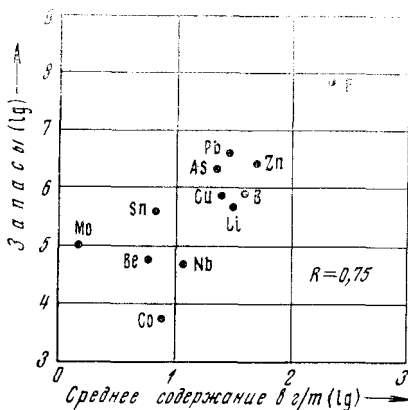


Рис. 1. Корреляция запасов рудообразующих химических элементов в известных месторождениях Центрального и Восточного Забайкалья с их средними содержаниями в верхней части земной коры. Запасы даны в условных единицах. R — величина коэффициента корреляции

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	C
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	11,15	
W	1,0	200	140	1,45	
Al	0,1	220	34,8	6,32	Л
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	X
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	

Примечание. Электроотрицательность (\mathcal{E}) и ионная плотность (I) взяты при минимальных валентностях по А. С. Поваренных (4) и Ю. Г. Щербакову (5) соответственно. Геохимическая классификация: Л — литофильные, X — халькофильные, C — 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

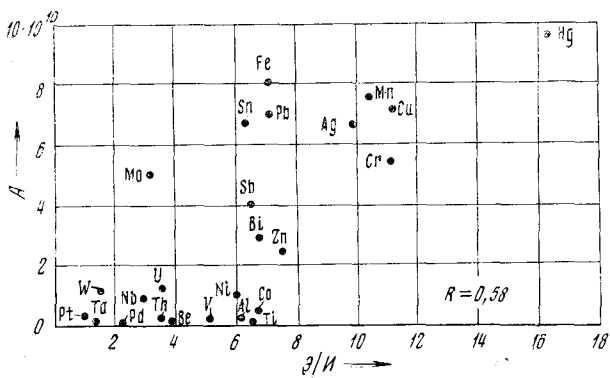


Рис. 2. Зависимость коэффициента A от отношения \mathcal{E} / I

$A = 7,06$, $\mathcal{E} / I = 9,2$, 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	0,1	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	2,93					

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 Садецкий-Кардош [7], подвижность ионов возрастает с уменьшением ионной плотности. Это явление он объяснял гравитационным эффектом.

В заключение предлагаем уточненную формулировку выявленной Л. Н. Овчинниковым (1) 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

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