

1205.82
У

Т. С. ТИМОФЕЕВА

ИЗОТОНИЧЕСКИЕ (НЕЙТРОННЫЕ) СВЯЗИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛАХ И РУДАХ ПРИРОДНЫХ АССОЦИАЦИЙ

Существующие в настоящее время минералого-геохимические теории о причинах сонахождения элементов в природных ассоциациях основываются в конечном итоге на изучении влияния электронного строения вещества на образование природных концентраций. Эта теория охватывает положения изоморфизма, валентность и валентные связи, подобия свойств элементов согласно Периодической системе Д. И. Менделеева, выяснение влияния числа Z на возможность образования природных соединений (3, 8, 10, 11, 15, 21, 24, 27) и мн. др. Общеизвестно, что в природных месторождениях в самых различных количествах можно обнаружить практически все элементы Периодической системы. Однако подход с позиций теории электронного строения вещества не объясняет всего многообразия вещественных составов месторождений. В связи с этим необходимы новые методики, использующие иные особенности строения атома.

В последнее время внимание исследователей привлекают факторы, связанные с изучением влияния внутреннего строения ядер вещества на поведение последнего в природных условиях. Так, А. Д. Мокрушин и О. Н. Бреусов (12) отмечают, что нестабильные частицы (нейтроны, позитроны, мюоны) интересны при изучении диффузионных процессов; D. D. Clayton, I. A. Morgan (27) указывают, что за счет мюонов космического происхождения в земной коре накапливаются $^{92,94}\text{Nb}$; А. С. Уклонский (22, 23) отмечал, что изотоны (элементы с одинаковым количеством нейтронов в ядрах изотопов) и их параэлементы могут накапливаться в природных минеральных ассоциациях.

Однако практически все исследователи базируются на положении о возможности существования и накопления в природных условиях только стабильных изотопов.

Мы выявили особенности вещественного состава 32 месторождений мира, охватывающих 16 генетических типов, в том числе руды Au, Ag, Pt, Pd, W, Hg, Sb, Pb, Zn, As, Bi, Cu, V, U, и Th.

1. В минеральных ассоциациях элемент представлен всеми изотопами: стабильными, короткоживущими, радиогенными. Видимо, справедливо предположение, что в природных условиях (подчеркиваем в природных, а не при физическом эксперименте!) ведущая роль принадлежит именно нестабильным изотопам — источникам нейтронов, мюонов, позитронов и других частиц, в значительной степени влияющих на окружающую среду и изменяющих ее. Доказательством являются плеохроичные кольца вокруг радиоактивных минералов, возникновение метамиктных состояний минералов и др. (20, 30). Наиболее значительным подобный процесс будет для собственно радиоактивных руд и для ассоциаций с U, Th, Ra и другими подобными элементами в примеси. Так, нами установлено, что в природных ураново-ванадиевых рудах, кроме обычных для таких руд компонентов, идет накопление плутония, нептуния, полония и не только их долгоживущих изотопов, но и тех, чьи периоды полураспада незначительны: ^{205}Po , ^{209}Po , ^{226}Ra , ^{228}Th , ^{233}U , ^{237}Np , ^{239}Pu (определения произведены в ИЯФ АН УзССР, аналитики Х. Рахимов и Д. Каримкулов). При изучении природных парагенезисов нельзя ограничиваться выяснением особенностей геохимии только стабильных изотопов, как это предлагают большинство исследователей (3, 7, 28, 31, 33 и др.).

2. Несмотря на различия в электронном строении атомов в природных парагенезисах присутствуют практически все элементы, свя-

занные между собой общностью количеств нейтронов в ядрах, т. е. изотоническими (межядерными, нейтронными — наш термин) связями. Геохимическая сущность их заключается в том, что в минералообразующем растворе накапливаются элементы — изотоны, которые ассоциируются в виде природных твердых тел — минералов. Минеральные ассоциации, занимающие в пространстве определенный объем, представляют собой равновесную систему, каждый компонент которой вне зависимости от содержания способствует стабильному состоянию остальных. По-видимому, изотонические (нейтронные) связи, относящиеся к межядерным, могут рассматриваться с позиций «сильных взаимодействий». Однако их физическая основа в настоящее время детально не изучена (1, 6, 26). Описываемые связи, проявляясь в природных образованиях, подчиняются законам объективно существующей реальности и по характеру должны быть гораздо более устойчивыми, чем связи между изотопами одного и того же элемента. Данное положение подтверждается возможностью природного фракционирования изотопов при одновременном сохранении всего перечня компонентов изотонического ряда (таблица). Изотонические связи проявляются как при кристаллизации отдельных минералов — природных твердых тел, например, арсенопирита FeAsS , роговой обманки $(\text{Na}, \text{K}_{0,5-2} \text{Ca}_{3-4} \text{Mg}_{3-8} \text{Fe}_{2-4} (\text{Al}, \text{Fe}^{++})_2 [(\text{OH})_4/\text{Al}_{2-4} \text{Si}_{12-14} \text{O}_{24}]$, так и их парагенетических ассоциаций (халькопирита CuFeS_2 с эмульсией сфалерита ZnS в андрадитовом $\text{Ca}_2\text{Fe}^{++} [\text{SiO}_4]$ скарне). В более общем случае они приводят к формированию минеральных ассоциаций всего месторождения.

Элементы-изотоны могут быть сгруппированы в виде своеобразных изотонических цепочек, каждый член которой имеет одинаковое количество нейтронов с правыми и левыми соседями. Например $(30)\text{Ca}$ $(30)\text{Sc}—(30)\text{Ti}$ или для краткости $(30)\text{Ca}—\text{Sc}—\text{Ti}$; цифра в скобках — количество нейтронов, дефис подчеркивает существование изотонической связи между элементами.

Основываясь на сказанном, с учетом данных (9, 28, 32, 33) нами составлена таблица изотонических рядов химических элементов в периодической системе Д. И. Менделеева, являющаяся классификацией элементов по принципу общности количеств нейтронов в ядрах. Таблица предлагается для геохимической практики впервые. В ней все известные (1978 г.) изотопы 107 элементов сгруппированы в 158 отдельных (частных) горизонтально расположенных изотонических цепочек (рядов). Классификация объединяет как стабильные, так и короткоживущие изотопы с числом нейтронов в ядрах от 1 для водорода до 158 для наиболее тяжелого из известных сейчас изотопов элемента 107 и включает всего 2061 изотоп. Цифра во второй вертикальной графе — количество нейтронов (таблица), характерное для ядер элементов, объединенных одной цепочкой; в последующих графах — символы химических элементов и их порядковые номера в Периодической системе.

Число подобных частных изотонических цепочек лимитируется количеством известных в настоящее время изотопов интересующего нас элемента. Так, у кислорода 12 изотопов, т. е. он входит в состав 12 частных изотонических цепочек, железа — 13, серебра — 26 и т. д. Элементы, начиная с крайнего левого изотопа определенного элемента (например, серебра; таблица) и до самого правого члена частной цепочки наиболее тяжелого изотопа (того же серебра), могут быть записаны друг за другом в порядке расположения в Периодической системе и составят полный изотонический ряд (наш термин). Этот ряд позволяет теоретически вне зависимости от требований промышленности в настоящее время предсказать весь возможный набор химических элементов в рудах, в каких бы количествах они не накапливались. В данном случае для серебра ряд будет состоять из 33 элементов, входящих в состав 26 частных изотонических цепочек и обладаю-

Номер эле- мент	Кол-во эф- фект	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I					
		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53					
34										Se																								
35									As	Se	Br	Kr																						
36					Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb																					
37					Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb																					
38					Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb																					
39					Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr																				
40					Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr																				
41					Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Zr																			
42									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr																		
43									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr																		
44									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr																		
45									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb																	
46									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo																
47									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc															
48									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru														
49									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh													
50									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd												
51									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag											
52									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd										
53									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd										
54									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn								
55									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb							
56									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
57									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
58									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
59									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
60									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
61									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
62									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
63									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
64									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
65									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
66									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
67									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
68									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
69									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						
70									As	Se	Br	Kr	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te						

Номер эле- ментов	Кол-во ней- тронов	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	
59		45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	
60																										
61																										
62																										
63																										
64																										
65																										
66																										
67																										
68																										
69																										
70																										
71																										
72																										
73																										
74																										
75																										
76																										
77																										
78																										
79																										
80																										
81																										
82																										
83																										
84																										
85																										
86																										
87																										
88																										
89																										
90																										
91																										
92																										
93																										
94																										

Продолжение таблицы

Номер- ле- почк	Кол-во ней- тронов	Sm	Eu	Od	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Fr	Ra	
		62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	
83									Tm																				
84									Tm	Yb	Lu																		
85									Tm	Yb	Lu	Hf		W															
86									Tm	Yb		Hf																	
87									Tm	Yb		Hf																	
88									Tm	Yb		Hf		W															
89									Tm	Yb		Hf		W															
90									Tm	Yb		Hf		W															
91									Tm	Yb	Lu																		
92									Tm	Yb	Lu																		
93									Tm	Yb	Lu		Ta			Os													
94									Tm	Yb	Lu	Hf	Ta			Os	Ir												
95									Tm	Yb	Lu	Hf	Ta		Re	Os	Ir	Pt											
96			Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er																				
97			Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W		Os	Ir	Pt	Au									
98										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
99										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
100										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
101										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
102										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
103										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
104										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
105										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
106										Tm	Yb	Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au									
107										Yb																			
108										Yb																			
109											Lu																		
110												Hf																	
111												Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au										
112												Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au										
113												Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au										
114													Ta																
115														W	Re	Os	Ir	Pt	Au										
116														W	Re	Os	Ir	Pt	Au										
117														W	Re	Os	Ir	Pt	Au										
118														W	Re	Os	Ir	Pt	Au										

Номер цепочки	Кол-во нейтронов	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	105	106	107
154	154	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	105	106	107
155	155	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	105	106	107
156	156	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	105	106	107
157	157	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	105	106	107
158	158	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	Ku	105	106	107

дних числом нейтронов от 50 до 76 (суммарное количество нейтронов в расчете на один атом вещества — 51 845, сумма нейтронов стабильных изотопов — 8 387, короткоживущих — 43 458). Ряд состоит из Ga, Ge, As, Se, Br, Kr, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Tc, Ru, Rh, Pd, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, J, Xe, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Pm, Sm, Eu (таблица). Согласно положениям изотонизма, все перечисленные выше элементы могут в самых различных количествах быть обнаружены в серебряных ассоциациях.

Полная изотоническая цепочка золота представлена 30 элементами, входящими в состав 30 частных изотонических цепочек с числом нейтронов в ядрах от 96 до 126 (общая сумма нейтронов — 78 033, сумма нейтронов стабильных изотопов — 9 156, короткоживущих — 68 877). Полный ряд состоит из Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Po, At, Rn, Fr, Rd, Ac, Th, Pa (таблица). Следует отметить, что оба перечисленных полных изотонических ряда имеют общие элементы, которые, по нашему мнению, могут быть геохимическими посредниками, способствующими взаимодействию серебряной и золотой минерализаций. Нейтронные связи проявляются как непосредственно между членами одной и той же частной или полной изотонической цепочки (прямые изотонические связи), так и через элемент-посредник (косвенные изотонические связи — наши термины). В последнем случае такие посредники Sm и Eu. Косвенные изотонические связи проявляются при образовании многометалльных руд — медно-молибденовых, золото-серебряных, ртутно-сурьмяных и др.

Таким образом, описанное явление, называемое нами, «изотонизмом», необходимо рассматривать как объективно существующую реальность. Обусловлено оно проявлением в природе изотонических (нейтронных, т. е. межядерных) связей и основано на геохимическом родстве элементов, чьи изотопы имеют в ядрах одинаковое количество нейтронов.

Изотонизм и предложенная классификация элементов теоретически объясняют накопление, рассеяние и сосуществование в природных минеральных ассоциациях казалось бы чуждых друг другу компонентов, имеющих существенные различия в строении электронных оболочек атомов. Однако внутреннее строение ядер имеет общую весьма существенную особенность — одинаковое количество нейтронов. Таким образом, одна из многочисленных, ранее не учитываемых причин концентрации элементов в минералах, рудах и ассоциациях — изотонизм как явление, объективно существующее в природе, и изотонические (т. е. нейтронные, межядерные) связи между элементами — как причина. Изучение их дополнит наши знания о геохимических особенностях поведения элементов в природных минералообразующих растворах и полнее раскроет физический смысл этих явлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров Ю. А. Фундаментальные свойства нейтронов. М., 1976.
2. Бадалов С. Т. ДАН УзССР, 1972, № 1, с. 30—45.
3. Бадалов С. Т. Зап. Узб. отд. ВМО, 1973, № 28, с. 12—17.
4. Бадалов С. Т. Зап. Узб. отд. ВМО, 1975, № 30, с. 45.
5. Вернадский В. И. Избранные труды, 1955.
6. Вонсовский С. В. Магнетизм микрочастиц, М., 1973.
7. Войткевич Г. В. «Изв. Сев.-Кавк. научн. центра высшей школы», 1974.
8. Годовиков А. А. Тр. Зап. Сиб. отд. ВМО, 1978, № 7, с. 3—36.
9. Гусев Н. Г., Дмитриев П. П. Радиоактивные цепочки. М., 1978.
10. Лебедев В. И. Кристаллохим. аспекты изоморфизма. Киев, 1977, с. 28—47.
11. Маракушев А. А. Зап. ВМО, вып. I, 1980, с. 3—14.
12. Мокрушин А. Д., Бреусов О. Н. Физ. тв. тела, т. 22, 1980, № 9, с. 2828.
13. Селинов И. П. Изотопы, т. III, 1972.
14. Свирский М. С. Электронное строение вещества, М., 1980.
15. Тимофеева С. Т. Зап. ВМО, 1968, № 4, с. 105.
16. Тимофеева Т. С. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 22, 1970, с. 160.
17. Тимофеева Т. С., Протодряконова З. М. Зап. Узб. отд. ВМО, вып. 23, 1970.
18. Тимофеева Т. С. Вопросы petrol., геол и минерал. эндоген. местор. Ср. Аз. 1972, с. 42—47.
19. Тимофеева Т. С., Мансуров М. М., Голощук П. М. [и др.]. О палладистом золоте Кочбулака. «Узб. геол. ж.», 1978, № 5, с. 25—27.
20. Титаева Н. А. ДАН СССР, т. 251, 1980, № 4, с. 974.
21. Трифонов Д. Н. Структура и границы Периодической системы, 1969.
22. Уклонский А. С. Изотонический парагенезис химических элементов. ДАН УзССР, 1955, № 5, с. 24.
23. Уклонский А. С. ДАН УзССР, 1959, № 3, с. 35.
24. Ферсман А. Е. Геохимия. М., 1939.
25. Чурилин М. А. Тр. Зап.-Сиб. отд. ВМО, 1979, № 9, с. 14.
26. Широков Ю. М., Юдин Н. П. Ядерная физика, 1980.
27. Юшко-Захарова О. Е. Платиноносность рудных месторождений. М., 1975.
28. Brookins D. G. Chemical. Geology. 1978 N 23, p. 309—323.
29. Clayton D. D., Morgan J. A. Natur. m. 266, N 5604, 1977, p.p. 712—713.
30. Fleischer R. L. Raabe O. G. Geoch. et cosmoch. Acta, V 42, 1978, N 7, p.p. 973—978.
31. Hageman R. Geol. Suev. Open—File Rept. n. 701, 1978, p.p. 157—158.
32. Lederer M. Table of Isotopes Toronto, 1978.
33. Vobecký M. Chem. listty. m. 68, 1974 N 4, 374—377.

Институт геологии и геофизики
им. Х. М. Абдуллаева
АН УзССР

Поступило
20. XI 1981 г.