

ГЕОХИМИЯ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О РЕЗЕРВЕ ЦЕННЫХ И ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, СКОНЦЕНТРИРОВАННОМ В МАКСИМИНЕРАЛАХ В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Н.А. Григорьев

Приводимые данные – новый частный результат определения роли максиминералов как носителей ценных и токсичных химических элементов. Максиминералы – главная первичная форма максимальной концентрации химических элементов в природе. В них содержание одного или нескольких химических элементов больше некоторого граничного и приближается к максимально возможному [Григорьев, 1999]. Меняются технологии переработки минерального сырья, но почти все они (включая только еще проектируемые) ориентированы на использование максиминералов. Вместе с тем, многие максиминералы – первоисточники веществ, загрязняющих окружающую среду. Таким образом, рассматриваемый вопрос – это вопрос о резерве потенциального минерального сырья и о степени опасности непродуманного оперирования этим резервом. Целью исследования, так же как и в предыдущий период, было не только получение конкретных цифр, но и определение путей решения вопроса. Сейчас разработано несколько вариантов его решения в зависимости от имеющихся в литературе и у автора характера исходных данных по конкретным химическим элементам. Все варианты базируются на модели химического строения земной коры А.Б. Ронова с коллегами [1990], несколько детализированной автором. В большинстве случаев использованы новые данные о среднем химическом [Григорьев, 2003] и минеральном составе континентальных пород, полученные преимущественно автором. Лишь данные по Au получены в значительной мере с использованием результатов изучения золотосодержащих руд, окколорудных горных пород и россыпей. О других особенностях вариантов использованных методик сообщалось в статьях, по-

священных конкретным химическим элементам [Григорьев, 2004, 2005а,б].

Здесь подведен итог исследований, проведенных преимущественно в 2005 г. Рассматриваются наиболее важные результаты, относящиеся только к ситуации в верхней части континентальной коры в целом (табл. 1). Химические элементы ранжированы по их среднему содержанию в верхней части континентальной коры, максиминералы – по среднему содержанию рассматриваемых элементов. Доли масс химических элементов – средние для всей верхней части континентальной коры. В конкретных горных породах они сильно варьируют в зависимости от трех главных факторов: содержания химических элементов в горных породах, состава и генезиса последних. Новые данные, также как и полученные раньше [Григорьев, 2004, 2005а,б], свидетельствуют о наличии в континентальных породах огромных масс химических элементов, сконцентрированных в потенциально промышленных минералах и распределенных весьма неравномерно. Исключением пока можно считать лишь Sb. Однако изучена она крайне слабо. Полученные данные – первое приближение к пониманию истинной ситуации. Степень этого приближения зависит от качества исходных данных. Средние содержания максиминералов в континентальных породах рассчитаны преимущественно по опубликованным в литературе результатам микрообогачительных анализов. Исключения – Au и Cl. В первом случае преобладали результаты рациональных анализов, во втором – проведен пересчет среднего химического состава эвапоритов на минеральный по результатам качественных минералогических анализов.

**Роль главных максиминералов как носителей химических элементов
в верхней части континентальной коры**

Элементы и их среднее содержание, %	Максиминералы	Среднее содержание, %		Доли масс элементов в макси- минералах %
		Элементов в макси- минералах	Макси- минералов	
Cl 0,15	Галит	57,3	0,19	72,58
	Сильвин	47	$6,6 \times 10^{-4}$	0,21
	Прочие	34-55	$1,6 \times 10^{-4}$	0,06
	Всего		0,19	72,85
P 0,072	Апатит	17,8	0,13	32,1
	Карбонатапатит	15,7	0,0083	1,81
	Ксенотим	14,2	$3,7 \times 10^{-5}$	0,01
	Монацит	12,1	0,0013	0,22
	Всего		0,14	34,14
F 0,051	Флюорит	48,33	0,0022	2,08
	Топаз	19,67	$4,6 \times 10^{-4}$	0,18
	Бастнезит	8,2	$3,2 \times 10^{-4}$	0,05
	Гумит	4	0,001	0,08
	Клиногумит	2,39	0,0015	0,07
	Апатит	1,9	0,13	4,84
	Всего		0,1355	7,3
Cr 0,015	Хромшпинелиды	31	$1,9 \times 10^{-4}$	0,64
Ni 0,0049	Васзит	47	$7,6 \times 10^{-6}$	0,07
	Никелин	42,6	$5,1 \times 10^{-6}$	0,04
	Гарньерит	41	$1,3 \times 10^{-5}$	0,11
	Виоларит	38,7	$7,6 \times 10^{-6}$	0,06
	Пентландит	34,5	$8,4 \times 10^{-5}$	0,59
	Герсдорфит	30,4	3×10^{-6}	0,02
	Всего		$1,2 \times 10^{-4}$	0,89
Cu 0,0039	Медь самородная	100	$4,1 \times 10^{-7}$	0,011
	Халькозин	70,8	$1,8 \times 10^{-7}$	0,004
	Ковеллин	66,5	$3,6 \times 10^{-6}$	0,06
	Борнит	63,3	$2,2 \times 10^{-6}$	0,036
	Малахит	57,4	2×10^{-6}	0,029
	Азурит	55,3	$2,5 \times 10^{-6}$	0,035
	Халькопирит	34,57	$1,1 \times 10^{-4}$	0,975
	Кубанит	23	6×10^{-6}	0,035
	Всего		$1,3 \times 10^{-4}$	1,185
B 0,0034	Турмалин	3,09	0,0043	3,91
	Аксинит	1,9	$1,1 \times 10^{-5}$	0,01
	Корнерупин	0,89	6×10^{-4}	0,16
	Всего		0,0049	4,08
Co 0,0017	Кобальтин	31,4	$8,4 \times 10^{-7}$	0,02
	Арсенопирит	2,1	$8,8 \times 10^{-6}$	0,01
	Виоларит	1,8	$7,6 \times 10^{-6}$	0,01
	Пентландит	0,95	$8,4 \times 10^{-5}$	0,05
	Псиломелан	0,5	2×10^{-5}	0,01
	Всего		$1,2 \times 10^{-4}$	0,1
Pb 0,0017	Свинец самородный	100	$1,8 \times 10^{-7}$	0,01
	Галенит	86,6	$1,9 \times 10^{-5}$	0,97
	Церуссит	76	$6,3 \times 10^{-7}$	0,03
	Англезит	68,3	$3,3 \times 10^{-7}$	0,01
	Всего		2×10^{-5}	1,02

Таблица 1 (продолжение)

Nb 0,0012	Колумбит	46,9	$6,6 \times 10^{-6}$	0,26
	Пирохлор	39,6	1×10^{-6}	0,03
	Фергусонит	30,6	$2,4 \times 10^{-6}$	0,06
	Эвксенит	16,5	$6,6 \times 10^{-6}$	0,09
	Ильменорутил	12,6	$2,5 \times 10^{-5}$	0,26
	Бломстрандин	11,7	9×10^{-7}	0,01
	Лопарит	6,4	1×10^{-6}	0,01
	Всего		$4,3 \times 10^{-5}$	0,72
Th $9,3 \times 10^{-4}$	Торит	49,2	$5,7 \times 10^{-5}$	3,02
	Иттриалит	8	$1,6 \times 10^{-5}$	0,14
	Монацит	5,8	0,0013	8,11
	Фергусонит	3,4	$2,4 \times 10^{-6}$	0,01
	Уранинит	3,2	$6,6 \times 10^{-6}$	0,02
	Ксенотим	2,9	$3,7 \times 10^{-5}$	0,12
	Эвксенит	1,9	$6,6 \times 10^{-6}$	0,01
	Ортит	1,1	0,0048	5,68
	Всего		0,0062	17,11
As $6,5 \times 10^{-4}$	Аурипигмент	0,9	$8,5 \times 10^{-7}$	0,09
	Никелин	54,9	$5,1 \times 10^{-6}$	0,5
	Герсдорфит	44,9	3×10^{-6}	0,24
	Арсенопирит	44,9	$8,8 \times 10^{-6}$	0,71
	Кобальтин	44,3	$8,4 \times 10^{-7}$	0,07
	Всего		$1,9 \times 10^{-5}$	1,61
Sn $3,5 \times 10^{-4}$	Касситерит	77	3×10^{-6}	0,66
	Колумбит	0,32	$6,6 \times 10^{-6}$	0,01
	Всего		$9,6 \times 10^{-6}$	0,67
U 0,0003	Уранинит	69,5	$6,6 \times 10^{-6}$	1,84
	Эвксенит	5,8	$6,6 \times 10^{-6}$	0,15
	Бломстрандин	2,8	9×10^{-7}	0,01
	Фергусонит	2,2	$2,4 \times 10^{-6}$	0,02
	Иттриалит	1,7	$1,6 \times 10^{-5}$	0,11
	Циртолит	1,5	$1,9 \times 10^{-6}$	0,01
	Торит	0,37	$5,7 \times 10^{-5}$	0,08
	Монацит	0,27	0,0013	1,4
	Ортит	0,11	0,0048	2,11
	Всего		0,0062	5,73
W 0,0002	Шеелит	61,6	$6,5 \times 10^{-6}$	2
	Вольфрамит	59,5	$7,8 \times 10^{-7}$	0,23
	Всего		$7,3 \times 10^{-6}$	2,23
Mo $1,6 \times 10^{-4}$	Молибденит	59,9	$1,2 \times 10^{-5}$	4,49
	Повеллит	45,5	4×10^{-8}	0,01
	Шеелит	3,4	$6,5 \times 10^{-6}$	0,14
	Всего		$1,9 \times 10^{-5}$	4,64
Ta $1,4 \times 10^{-4}$	Танталит	51,5	$2,6 \times 10^{-7}$	0,1
	Колумбит	7,2	$6,6 \times 10^{-6}$	0,34
	Эвксенит	5,9	$6,6 \times 10^{-6}$	0,28
	Ильменорутил	4,5	$2,5 \times 10^{-5}$	0,8
	Прочие	1 – 2,7	$3,5 \times 10^{-6}$	0,06
	Всего		$3,9 \times 10^{-5}$	1,58
Sb $1,2 \times 10^{-4}$	Антимонит	71,66	$4,4 \times 10^{-9}$	0,004
	Джемсонит	36,99	$2,8 \times 10^{-9}$	0,001
	Блеклые руды	21,07	$3,4 \times 10^{-9}$	0,001
	Всего		$1,1 \times 10^{-8}$	0,006
Bi 3×10^{-5}	Висмут самородный	100	$4,4 \times 10^{-8}$	0,15
	Бисмутит	81,5	1×10^{-7}	0,3
	Висмутин	78,9	$9,2 \times 10^{-8}$	0,24
	Тетрадимит	59,5	$1,6 \times 10^{-8}$	0,03
	Всего		$2,52 \times 10^{-7}$	0,72
Au $4,4 \times 10^{-7}$	Золото самородное	100	$1,8 \times 10^{-8}$	4,1

Микрообогатительные методы наиболее совершенны, но тоже не лишены недостатков. Главный – преуменьшение содержания акцессорных минералов в изученных пробах [Григорьев, 1999]. Поэтому приведенные выше доли масс химических элементов – преимущественно минимально возможные.

Количество вовлекаемых в производство максиминералов со временем увеличивается, а минимально-промышленное их содержание в минеральном сырье – уменьшается. Альтернативы этой тенденции нет, и, судя по приведенным данным, перспективы ее практически безграничны. Но велика и опасность неограниченного и нерационального оперирования подобными ресурсами. Новые данные, так же как и полученные раньше, подтверждают мнение о том, что сейчас главной является проблема культуры отношения к природным ресурсам.

Список литературы

Григорьев Н.А. Введение в минералогическую геохимию. Екатеринбург, 1999. 302 с.

Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. № 7. 2003. С. 785-792.

Григорьев Н.А. Минералы как концентраторы и носители железа в верхней части континентальной коры // Ежегодник-2003. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2004. С. 282-286.

Григорьев Н.А. Редкоземельные минералы как носители иттрия и лантаноидов в верхней части континентальной коры // Ежегодник-2004. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005а. С. 161-167

Григорьев Н.А. Циркон как носитель гафния и циркония в верхней части континентальной коры // Литосфера. 2005б. № 1. С. 143-149.

Ронов А.Б., Ярошевский А.А., Мигдисов А.А. Химическое строение земной коры и геохимический баланс главных элементов. М. Наука, 1990. 183 с.