

*Геохимические
показатели
техногенеза*

Подсчеты масс химических элементов, ежегодно вовлекаемых в техногенные потоки, и сравнение их с массами элементов, участвующих в природных геохимических потоках (речной гидрохимический сток, биологический круговорот), свидетельствуют о том, что с 60-х годов XX в. геохимическая деятельность человечества не уступает по мощности природным процессам. Человечество ежегодно извлекает из недр и освобождает при сжигании горючих ископаемых (особенно угля) многие химические элементы в равном или большем количестве, чем их потребляется растительностью суши для создания годового прироста (табл.)

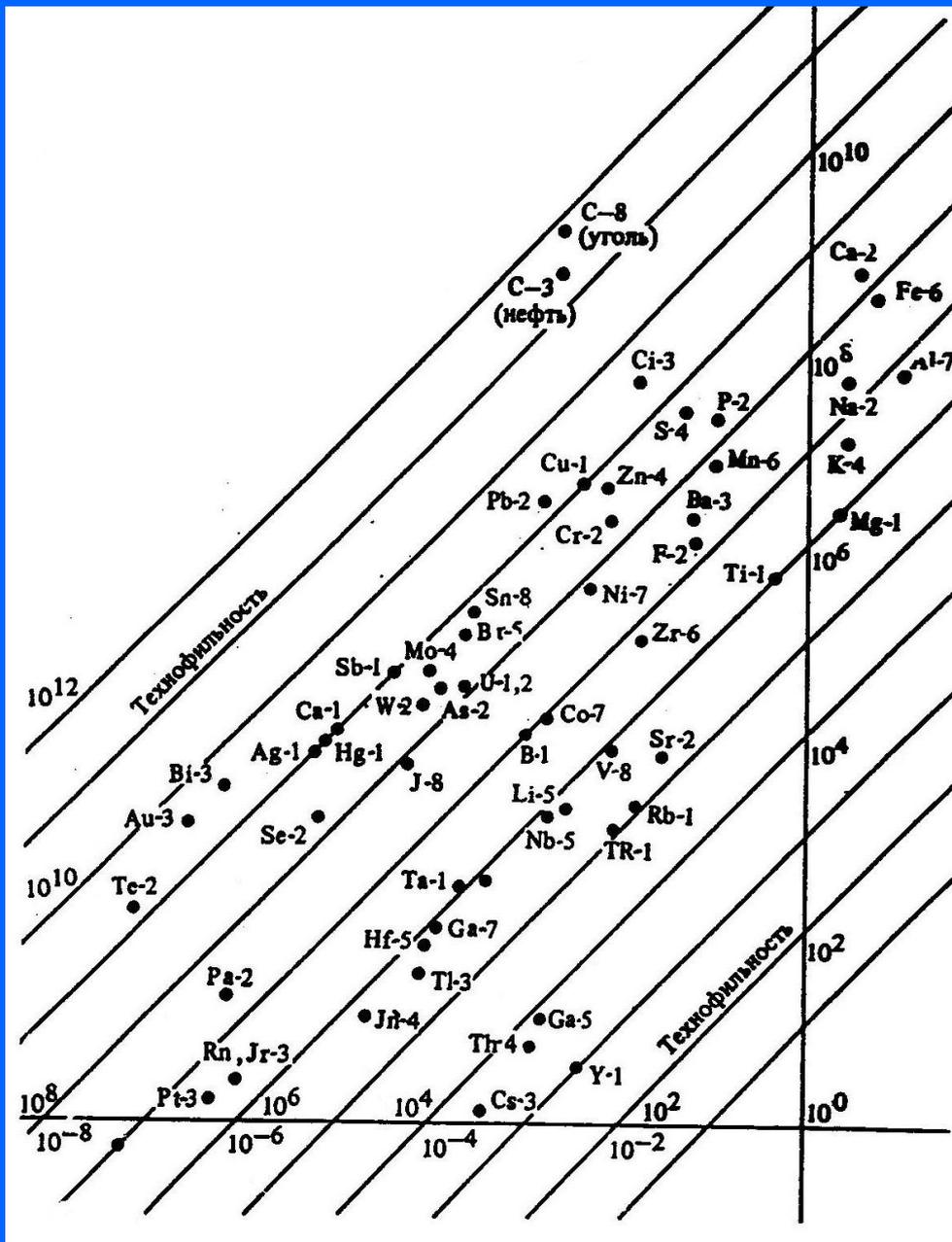
**Массы химических элементов, ежегодно вовлекаемых в основные
глобальные природные и техногенные потоки биосферы
(по Добродееву О.П., 1978)**

Вовлекается химических элементов	Выносятся с речным течением	Ассимилируется в биологической продукции на суше	Мировая добыча	Содержится в сжигаемых горючих ископаемых
$n \cdot 10^{14}$		O		
$n \cdot 10^{10}$		C, N, H		O
$n \cdot 10^9$		Ca, K, Si	C	C
$n \cdot 10^8$	C, Ca, Mg, Na, S	P, Mg, Na, Al, S	Fe	Al, O, H
$n \cdot 10^7$	K, N, Fe	Cl, Mn, Sr, Fe	K, Na, S, O, C, I	Fe, Ca, S, Na
$n \cdot 10^6$	Sr, Al, Ba	Zn, Ti, B, Cr, Cu, Br, Pb, F, Al, Cl, Ba, Mg	P, Cu, Zn, Mn, Pb, F, Al, Cl, Ba, Mg	K, Sr, Ti, Na, Mg, Ba
$n \cdot 10^5$	Zn, Br, B, P, Ti, Mn, Ni, Cu, As, Zr	Ni, I, Ba, Ge, V, Ga, Rb, Mo, Co,	Ti, Ni, B, Sn, Br	P, Hg, Cr, Cu, Zn, Mo, Li, B, Ge, Be, U, Pb, La, Zn, As, M, N, V, Rb
$n \cdot 10^4$	I, Pb, Li, Co, Cr, Mo, U, Rb	Rb, Li, Pb, F, Zr, Sn, Y, Cs, Se, Be	Hg, As, Co, Mo, U, , Cd, Sb, W	Pb, I, Y, Ga, Sc, Bi, W, Hg
$n \cdot 10^3$	Ag, Cs, V	Ag, Au, Y, U, Th, Nb, As	Li, V, Se, I, Zr, Bi, Ag, Au, Be, Sr, N	Ag, Cd
$n \cdot 10^2$	Th		Ge	Au
$n \cdot 10$		Cd	Y, Cs, Ga, In, Th	
n		Hg		

Из недр ежегодно добывается больше, чем включается биологический круговорот: Cd- более чем в 160 раз, Sb- в 150, Hg-110, Pb- в 35, As, F - в 15, U- более чем в 6, Sn- в 5, Cu- в 4, Mo - в 3 раза. Добыча Ag, Cr, Ni, Zn примерно равна ежегодному потреблению растительностью.

Наряду с извлечением малых и рассеянных элементов при добыче руд не меньшие, а для многих элементов большие их количества освобождаются и рассеиваются в окружающей среде при сжигании угля. Ежегодно при сжигании угля выделяется больше, чем включается в биологический круговорот, **Hg** в 87000 раз, **As** - в 125, **U** - в 60, **Cd** - в 40, **Li, Y, Be, Zr** - в 10, **Sn, V** - в 3-4 раза.

- Степень использования элемента по отношению к его содержанию в литосфере называют его технофильностью. Понятие "технофильность элементов" было введено А.П.Перельманом (1973). Показателем технофильности является отношение массы ежегодной добычи элемента к его кларку в литосфере. (Рис) Технофильность элементов изменяется во времени и зависит от использования и добычи определенных групп элементов.



Технофильность химических элементов (по Перельману А. И., 1973)

Общая тенденция развития ноосферы состоит в увеличении технофильности

- Наиболее высокую глобальную технофильность имеют **CL, C**, она весьма высока у **Pb, Sb, Zn, Cr, Sn, Mo, Hg**. Однако показатель технофильности не полностью отражает степень вовлечения химических элементов в техногенез, так как в нем не учитывается поступление в природную среду элементов, добываемых с полезными ископаемыми попутно, например с углем или нефтью. Кроме того, в техногенез вовлекаются элементы не только из литосферы, но и из атмосферы (синтез азотных удобрений и др.), из гидросферы (добыча солей и др.), накапливающихся в живом веществе (все культурные растения, древесина, все органические продукты, добываемые в морях и океанах.)

**О с н о в н ы е
г е о х и м и ч е с к и е
п о к а з а т е л и
т е х н о г е н е з а**

Показатель (коэффициент)
специального техногенного
пользования, или специаль-
ная техногенность:

$$N = (M_1 + \Pi_1) / n_n,$$

- Показатель (коэффициент) общего техногенного использования элемента или техногенность:

$$N=(M_1+M_2+П_1+П_2/n_n),$$

- где:

M_2 и $П_2$ - вовлечение элементов в техногенную миграцию соответственно в результате мобилизации из иммобильного состояния и перевода из природных потоков, но в качестве побочных продуктов.

Этот коэффициент показывает степень общего вовлечения элемента в техногенную миграцию.

В табл. приведены показатели технофильности и техногенности элементов для Земли в целом.

Степень рационального использования вовлеченного в техногенез элемента может быть показана с помощью коэффициента полноты техногенного использования (P), который представляет собой процентное отношение количества специально добытого элемента к его общему количеству, вовлеченному в техногенез:

Распределение элементов по показателям технофильности (по Н.Ф.Глазовскому, 1982)

Значение показателя	Технофильность	Специальная техногенность	Общая техногенность
10^{11}			Au
10^{10}	Cl	Au	Ni, Bi, U
10^9	Bi, Au, Cd, Ag	Bi, Pb, Cu, Aq, Cd, W, Zr	Cd, W, Pb, Cu, Ag, I, Zn, As, Se, Mo, Zr
10^8	Pb, Br, Cu, Sn, Hg, S, As, N, P, Ca, Cr, Zn, Mo, Se, W, Na, U, I	Cl, Zn, Ba, Na, Mo, Sn, Cr, Ca, N, Fe, P, As, U, S, Mn, I, Ni	Cl, Ba, S, Na, Cr, Sn, Ca, P, Fe, Be, B, Ge, F, Ti, Ni
10^7	B, Fe, Mn, Ni, Ba, F, Ti,	Se, Br, Hg, F, B, K, Co, Cs	Br, Mn, Hg, Co, V, Ga, K
10^6	Zr, Co, Cs, K, Li, Mg, Al	U, Mg, Be, Al, Y, Ti	Mg, Li, Al, Tl
10^5	Ge, Be, V, Tl	Tl	
10^4	Sc	Sc	
10^3	Ga	Ga	

Коэффициент полноты техногенного использования (по Н.Ф. Глазовскому, 1982)

Элемент	Коэффициент полноты техногенного использования	Элемент	Коэффициент полноты техногенного использования
Cl	98	Ca	81
Na, Cu, Ag, Ba	91	Hg	77
Li, Fe, Pb	88	Br	71
Sn	87	P	55
Ni	86	Mn	54
Cr, Zn	83	Mo, F	45
W	43	Be	2,1
Cd	38	Si	n
B, Co	31	V	n
Bi	25	J	n
K	22	Ge	0,8
S	20	Sc	0,4
As, N	17	Ga	0,024
Al, U			
Se	7,1		

Для характеристики связи техногенной геохимической миграции с другими миграционными процессами и для выявления степени устойчивости элемента в сфере техногенеза Н.Ф.Глазовским предложен коэффициент техногенной фиксации:

$$K_{\Phi} = Q_1 + Q_2,$$

где: $Q_1 = M_1 + \Pi_1$, т.е. количество вовлеченного в техногенез элемента за определенное время,

Q_2 - количество рассеянного элемента за то же время.

При рассмотрении региональных аспектов техногенной миграции накопление вещества (Н) в виде продуктов питания, сырья, орудий производства в пределах данного района можно представить следующим образом:

$$H = \Pi + M \pm \Delta - B$$

где: Π - вещество переводимое из природных геохимических потоков в техногенные;

M - вещество, мобилизованное в техногенные геохимические потоки из иммобильного состояния;

Δ - результирующая ввоза-вывоза этого вещества для данного района;

B - количество вещества, вводимого в данном районе из техногенных потоков в природную среду. Если элемент достаточно полно и быстро выводится из техногенных потоков (например, с удобрениями или при сжигании топлива), то $B = \Pi + M \pm \Delta$.

Для характеристики техногенного геохимического воздействия на ландшафты целесообразно использовать величину $TД = M \pm \Delta$, которая показывает, какие добавочные количества элемента выводятся в данном районе из техногенных потоков в природные.

Величину $TД$ можно назвать техногенным геохимическим давлением, а ее отношение к площади изучаемого района (S) - модулем техногенного геохимического давления: $D_m(TД/S)$.

Техногенное давление необходимо определять не только для химического элемента, взятого в чистом виде, но отдельно и для его соединений.

При рассмотрении закономерностей техногенной миграции элементов на Земле в целом можно определить средний модуль техногенного давления M/S ,

где :

M - общее количество мобилизованного вещества,

S - площадь поверхности Земли (табл.). Этот средний модуль может быть использован в качестве эталона при сравнении техногенного химического давления в разных районах.

Распределение элементов по модулям техногенного давления

(по Н.Ф. Глазовскому, 1982)

Модуль техногенного давления, (кг/км ²) год	Элементы
500-1000	Na, Cl, Ca, Fe
200-500	S
100-200	N, K
50-100	Al
20-50	P
10-20	Ti, Mn
1010	B, F, Mg, Cu, Zn, Zr, Ba, Pb
0,1-1	V, Cr, Ni, As, Br, Sr, Mo, Cd, Sn, I, U
0,01-0,1	Be, Sc, Co, Ga, Ge, Se, Bi
0,001-0,01	Li, Ag, W, Au, Hg, Tl
0,0001-0,001	Cs

Значение различных продуктов в техногенном давлении на территории бывшего СССР в целом (по Н.Ф.Глазовскому, 1982)

Продукты	Техногенное давление, $n \cdot 10^5$ т/год			
	азот	калий	фосфор	сера
Уголь	64-124	Нет данных	0,26-2,5	100-190
Нефть	3,5-35	88	0,03-0,3	5,6-56
Газ	22-220	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Удобрения	± 21	28	16,5	26
Зерно	± 6	$\pm 1-2$	$\pm 0,8$	$\pm 0,3-0,6$
Древесина	$\pm 0,75$	$\pm 0,1-0,4$	$\pm 0,4$	$\pm 2,3-0,6$

Средние модули техногенного давления экономическим районам бывшего СССР по N, P, K, S (по Н.Ф.Глазовскому, 1976)

№ п/п	Экономические районы	Модули техногенного давления, т/км ²			
		N	P	K	S
1	Северо-Западный	0,7(г)	0,76(уд)	0,74(уд)	0,48(уг)
2	Центральный	6,0(г)	0,32(уд)	0,53(уд)	4,5(уг)
3	Волго-Вятский	3,8(г)	0,2(уд)	0,43(уд)	1,6(уг)
4	Центральночерноземный	5,6(уд)	0,65(уд)	0,93(уд)	4,8(уг)
5	Поволжский	1,85(г)	0,1(уд)	0,065(уд)	0,87(уг)
6	Северо-Кавказский	3,43(г)	0,39(уд)	0,33(уд)	1,65(уг)
7	Уральский	4,9(г)	0,25(уд)	0,27(уд)	1,8(уг)
8	Западно-Сибирский	0,29(уд)	0,025(уд)	0,0082(уд)	0,31(уг)
9	Восточно-Сибирский	0,21(уг)	0,0086(уд)	0,044(уд)	0,14(уг)
10	Дальневосточный	0,12(уд)	0,0076(уд)	0,017(уд)	0,065(уг)
11	Донецко-Приднепровский	14,7(г)	0,75(уд)	0,85(уд)	28,0(уг)
12	Юго-Западный	3,15(уг)	0,62(уд)	1,34(уд)	5,0(уг)
13	Южный	6,25(уд)	0,27(уд)	1,8(уд)	6,6(уг)
14	Прибалтийский	2,57(уг)	0,39(уд)	2,1(уд)	3,7(уг)
15	Закавказский	4,34(г)	0,29(уд)	0,28(уд)	2,1(н)
16	Среднеазиатский	1,03(г)	0,12(уд)	0,066(уд)	0,32(уд)
17	Казахстанский	0,3(уг)	0,04(уд)	- 0,006(з)	0,32(уг)
18	Белорусский	3,1(уг)	0,44(уд)	1,66(уд)	2,2(уг)
19	Молдавский ССР	5,9(уд)	0,82(уд)	0,82(уд)	3,8(уг)

Для сравнения различных продуктов производства по значению в геохимическом воздействии на окружающую среду можно использовать суммарный коэффициент ноосферной концентрации:

$$C_n = i C_1 / N_n + \dots + C / N_n,$$

где C - содержание компонентов в данном продукте,
 N_n - кларки соответствующих компонентов в ноосфере (биосфере),

i - число аномальных элементов.

Коэффициенты ноосферной концентрации показывают, таким образом, насколько увеличено содержание элементов в тех или иных продуктах по сравнению с окружающей средой. Для некоторых продуктов эти коэффициенты, рассчитанные на основании их элементного состава, приведены в табл.

При расчете коэффициентов были учтены **58 элементов**, т.е. встречающихся в естественных условиях.

**Суммарные коэффициенты ноосферной концентрации элементов в
некоторых продуктах
(по Н.Ф.Глазовскому, 1985)**

Продукт	C_n для элементов с Кларками биосферы 10⁻²	C_n для элементов с Кларками биосферы 10⁻³	Итого
Уголь	220	1500	1720
Нефть	200	20	220
Газ	190	510	700
Минеральные удобрения	50-700	До 1300	50-2000
Компост	40	2400	280
Осадки сточных вод	0	200-3000	250-3000
Навоз	10	Не опр.	Не опр.
Сельскохозяйственная продукция	60	150	210
Древесина	20	80	100
Пластовые воды нефтяных месторождений	10-100	100-700	100-800
Дренажные воды	2-5	5-500	2-500