

УДК 551.464.679.1+551.464.526

ГЕОХИМИЯ

Г. Н. БАТУРИН

О СООТНОШЕНИИ СРЕДНИХ КОНЦЕНТРАЦИЙ УРАНА И ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В СОВРЕМЕННЫХ МОРСКИХ И ОКЕАНСКИХ ОСАДКАХ

(Представлено академиком Н. М. Страховым 11 VI 1971)

Значительная часть урана, поступающего в водоемы с речным стоком, находится в растворенной форме (¹, ²). При последующем осаждении урана существенную роль играют органические вещества, о чем свидетельствует связь $U-C_{орг}$ в морских и океанских осадках (^{1b}, ¹, ³, ⁴). Если гидрорегенный уран преобладает в осадках над терригенным, то коэффициент $U/C_{орг}$ можно, видимо, в ряде случаев рассматривать как показатель концентрации урана на органических компонентах. Отсюда представляет интерес сравнить значения этого коэффициента в осадках различных типов с различным содержанием урана. С этой целью нами вычислены величины $U/C_{орг}$ для осадков ряда морских и океанских бассейнов. Все пробы были условно разделены на два класса — с фоновым (менее $5 \cdot 10^{-4}\%$) и повышенным (более $5 \cdot 10^{-4}\%$) содержанием урана.

В отдельных пробах современных морских и океанских осадков содержание урана колеблется в пределах $1 \cdot 10^{-5} - 6 \cdot 10^{-3}\%$, содержание $C_{орг}$ — в пределах 0,1—15%, отношение $U/C_{орг}$ — в пределах $3 \cdot 10^{-5} - 3 \cdot 10^{-3}$. Средние значения всех этих величин в каждом из водоемов более равномерны, и отношения $U/C_{орг}$ находятся в пределах $(1 \div 7) \cdot 10^{-4}$ (табл. 1).

В большинстве рассмотренных морей наиболее низкие отношения $U/C_{орг}$ отмечаются в песчано-алевритовых осадках, которые накапливаются с относительно высокой скоростью. Очевидно, это обстоятельство препятствует концентрации в них гидрогенного урана. Данные по изотопному соотношению U^{234}/U^{238} подтверждают, что в подобных осадках Черного и Азовского морей уран преимущественно терригенный (⁵).

Наиболее высокие значения $U/C_{орг}$ характерны для медленно накапливающихся осадков халистатических зон, обогащенных как органическим веществом, так и ураном (^{1b}, ¹, ³), причем уран в этих осадках преимущественно гидрогенный (⁵).

При сравнении между собой осадков с повышенным содержанием урана из различных бассейнов наиболее высокие величины $U/C_{орг}$ отмечаются в Аральском и Каспийском морях (в среднем $8 \cdot 10^{-4}$ и $4,5 \cdot 10^{-4}$), наиболее низкие — в Балтийском (в среднем $3 \cdot 10^{-4}$). Видимо, это в значительной мере связано с повышенным содержанием урана в водах Аральского (до $30-50 \cdot 10^{-6}$ г/л (⁶)) и Каспийского (до $10 \cdot 10^{-6}$ г/л (⁷)) морей и пониженным (порядка $(1 \div 2) \cdot 10^{-6}$ г/л (⁸)) — в водах Балтийского моря.

В целом, при содержании урана в морских водах $(2 \div 3) \cdot 10^{-6}$ г/л (⁷, ⁹, ¹⁰), для морских осадков наиболее характерны средние значения $U/C_{орг}$ $(2 \div 3,5) \cdot 10^{-4}$. Это относится к основным типам осадков Черного, Балтийского, Каспийского морей (табл. 1), к исследованным ранее осадкам Средиземного (³), Аравийского (¹¹), а также Берингова морей.

В океане, при содержании урана в воде $3 \cdot 10^{-6}$ г/л (¹¹), средние значения $U/C_{орг}$ в осадках колеблются в пределах $(2 \div 7) \cdot 10^{-4}$. Наиболее высокие величины (в среднем $7 \cdot 10^{-4}$) характерны для тихоокеанских красных глин. Последние накапливаются значительно медленнее, чем все

Т а б л и ц а 1

Отношение $U/C_{орг}$ в морских и океанских осадках

Бассейн	Осадки с $U < 5 \cdot 10^{-4}\%$	Число проб	$U/C_{орг} \times 10^4$		Осадки с $U > 5 \cdot 10^{-4}\%$	Число проб	$U/C_{орг} \times 10^4$	
			пределы	средн.			пределы	средн.
Аральское море	Пески и алевроиты северной и восточной зон	20	2,7—10	5	Алевритово-цеолитовые илы западной и центральной зон	19	3,5—11	8
Каспийское море	Пески и алевроиты	15	0,5—5	2	Цеолитовые илы центральной и южной котловин	25	2,3—7,2	4,5
Черное море	Пески	5	0,7—5	2,3	Слабоизвестковые цеолитовые илы (10—30% $CaCO_3$)	10	2,5—5,2	3
	Алевроиты	4	0,7—4	2,3				
	Мелкоалевритовые илы	11	1—3,8	2,5	Известковые цеолитовые илы (30—50% $CaCO_3$)	11	2—5,5	3,5
	Фосфоритовый ил	5	2—4	2,6				
	Цеолитовые илы	30	0,8—4,5	2,4	Известковые цеолитовые илы (более 50% $CaCO_3$)	14	2,4—4,5	3,9
Азовское море	Алевроитовые илы	12	0,5—1,5	1				
Балтийское море	Пески	2	1,1—1,3	1,2	—	16	0,9—4,5	3
	Алевроиты	2	1,7—2,1	1,9				
Карское море	Пески и алевроиты	8	0,5—6	3	Алевроитово-цеолитовые илы	16	0,9—4,5	3
	Алевроитово-цеолитовые илы	10	0,5—4,5	2,4	Цеолитовые илы	10	1,8—3,3	3
Тихий океан	Целагические известковые илы	24	0,3—6	2	—	7	0,6—8	3
	Целагические кремнистые илы	10	0,3—6	3				
	Красные глины	47	2—25	7	Песчано-алевритовые осадки шельфа Перу — Чили	6	1,4—5	3
	Целагические известковые илы *	12	0,3—5	2				
Индийский океан	Целагические кремнистые илы *	13	0,3—4	2	Алевроитовые илы шельфа и континентального склона с.-з. части океана	32	0,5—10	3,5
	Красные глины *	8	1—6	3				
	Целагические известковые илы	5	1,4—5	3	Алевроиты и алевроитово-цеолитовые илы шельфа Ю.-З. Африки			

* Рассчитано по данным (9).

остальные типы морских и океанских осадков (¹²), и, видимо, благодаря этому часто содержат заметное количество костного детрита, обогащенного ураном (¹³). Можно предположить, что та часть содержащегося здесь урана, которая является гидрогенной, связана в основном не с органическим веществом, а с фосфатами.

В известковых и кремнистых осадках Тихого, Атлантического и Индийского океанов и в красных глинах Индийского океана средние отношения $U/C_{орг}$ составляют $(2 \div 3) \cdot 10^{-4}$. В обогащенных органическим веществом осадках продуктивных прибрежных районов, где накопление гидрогенного урана происходит наиболее интенсивно (¹⁴, ¹⁵), средние отношения $U/C_{орг}$ лишь немного выше: $(3 \div 3,5) \cdot 10^{-4}$. Исключением являются встречающиеся в этих зонах фосфатные осадки (¹⁶, ¹⁶, ¹⁷), в которых $U/C_{орг}$ повышается до $10 \cdot 10^{-4}$ и более в связи с приуроченностью значительной части урана к фосфатным фракциям.

Следовательно, для большинства основных типов как морских, так и океанских осадков характерны средние значения $U/C_{орг}$ в пределах $(2 \div 4) \cdot 10^{-4}$. Существенные отклонения от этого отношения обусловлены либо преобладанием в осадках терригенного урана, либо наличием фосфатных фракций.

Это показывает, что в глубоководных океанских осадках, по крайней мере известковых и кремнистых, присутствует, несмотря на низкое общее содержание урана и отношение $U^{234}/U^{238} < 1$ (¹⁸), гидрогенный уран. О том же свидетельствует наличие в пелагических осадках океана подвижного урана, выщелачиваемого слабыми растворителями (¹⁹).

Накопление гидрогенного урана в пелагических осадках океана может быть обусловлено процессами трансформации органического вещества, что, в частности, вызывает увеличение содержания урана в древних биогенных карбонатах по сравнению с современными на порядок и более (²⁰). Подобные процессы, протекающие в пелагической зоне океана достаточно медленно, могут, видимо, сопровождаться фракционированием изотопов урана, о чем свидетельствуют опыты по сорбции урана из океанской воды глинами (¹⁸).

Относительное однообразие средних отношений $U/C_{орг}$ в морских и океанских осадках показывает, что в целом возможности накопления гидрогенного урана на органических компонентах осадков при седиментогенезе ограничены. В Черном море — при наличии способствующего осаждению урана сероводородного заражения вод — $U/C_{орг}$ в осадках лишь незначительно выше по сравнению с бассейнами с нормальной аэрацией (за исключением Аральского и Каспийского морей, о чем говорилось выше). Причина этого заключается, видимо, в том, что для накопления урана в осадках необходима, помимо прочих условий, циркуляция придонных вод, являющихся источником урана; это доказывается наличием зависимости между «временем жизни» растворенного урана в водах и глубиной бассейнов (²¹). Но восстановительная обстановка в придонных водах совместима лишь с весьма замедленной вертикальной циркуляцией. В силу этого противоречия окончательный итог процесса концентрации урана на органических компонентах осадков в целом одинаков как в сероводородной обстановке (Черное и Балтийское моря, продуктивные шельфы океанов), так и в бассейнах с нормальной аэрацией.

Поступило
11 III 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Г. Н. Батури́н, а) ДАН, 178, № 3 (1968); б) ДАН, 189, № 6 (1969); в) Геохимия, № 3 (1968); г) Океанология, № 6 (1969); д) Атомная энергия, № 4 (1966).
² W. S. Moore, Earth and Planet. Sci. Lett., № 2 (1967). ³ А. В. Коченов, Г. Н. Батури́н и др., Геохимия, № 3 (1965). ⁴ Ю. В. Кузнецов, З. Н. Симо́няк и др., Геохимия, № 3 (1968). ⁵ Д. С. Николаев, К. Ф. Лазарев и др., ДАН, 165, № 1 (1965). ⁶ А. В. Коченов, Г. Н. Батури́н, Океанология, № 4 (1967).

И. Е. Старик, Д. С. Николаев и др., Тр. Радиев. инст., № 8 (1958). ⁸ F. F. Koszy, E. Tomic, F. Necht, *Geochim. et cosmochim. acta*, № 1—2 (1957). ⁹ Д. С. Николаев, О. П. Корн и др., ДАН, **132**, № 6 (1960). ¹⁰ Г. Н. Батурин, А. В. Коченов, С. А. Ковалева, ДАН, **166**, № 3 (1966). ¹¹ E. D. Goldberg, *Ann. Rev. Phys. Chem.*, № 12 (1961). ¹² E. D. Goldberg, M. Koide, *Geochim. et cosmochim. acta*, № 3 (1962). ¹³ G. Arrhenius, M. N. Bramlette, E. E. Picciotto, *Nature*, **180**, № 4576 (1957). ¹⁴ Г. Н. Батурин, А. В. Коченов, Ю. М. Сенин, *Геохимия*, № 4 (1971). ¹⁵ H. N. Veeh, *Earth and Planet. Sci. Lett.*, № 3 (1967). ¹⁶ Е. М. Емельянов, Ю. М. Сенин, *Литол. и полезн. ископ.*, № 2 (1969). ¹⁷ Ю. М. Сенин, *Литол. и полезн. ископ.*, № 1 (1970). ¹⁸ T. L. Ku, *J. Geophys. Res.*, № 14 (1965). ¹⁹ И. Е. Старик, Ю. В. Кузнецов, В. К. Легин, *Радиохимия*, № 3 (1959). ²⁰ W. C. Broecker, *J. Geophys. Res.*, № 9 (1963). ²¹ Г. Н. Батурин, А. В. Коченов, *Геохимия*, № 6 (1969).