

В. В. ГРОМОВ, академик В. И. СПИЦЫН

**ВЛИЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ  
СОСТОЯНИЕ  $\text{Ru}^{329}$ ,  $\text{Ru}^{106}$ ,  $\text{Tc}^{99}$  И  $\text{Co}^{60}$   
В ОКЕАНСКОЙ ВОДЕ**

Фитопланктон — первое звено биологического цикла, в который вовлекаются растворенные соединения <sup>(1)</sup>. Он способен на короткое время накапливать различные микроэлементы, в том числе и радиоактивные, попадающие в океан. Поэтому изучение физико-химического состояния радиоактивных изотопов в реальной биохимической системе, какой является океанская вода, имеет первостепенное значение для определения закономерностей миграции элементов в морской среде и усвоения их фитопланктоном.

В данной работе методами ультрафильтрации на биологических фильтрах и адсорбции с переменной массой сорбента исследовалось изменение состояния радиоактивных изотопов  $\text{Ru}^{329}$ ,  $\text{Ru}^{106}$ ,  $\text{Tc}^{99}$  и  $\text{Co}^{60}$  в результате усвоения их фитопланктоном. Опыты выполнялись как с монокультурой одноклеточных зеленых водорослей (*Platymonas viridis*), находящейся в питательной среде Гальдберга, так и с природным сообществом фитопланктона в естественных условиях. Методика экспериментов по ультрафильтрации и биоассимиляции микроэлементов детально изложена в работах <sup>(2, 3)</sup>, по адсорбции на донных осадках — в <sup>(4)</sup>. Дополнительно следует лишь заметить, что опыты по адсорбции и биоассимиляции выполнялись с океанской водой, содержащей исследуемые радиоактивные изотопы в физико-химическом равновесии с жидкой фазой, очищенной от фитопланктона до вовлечения в биологический цикл и после биоассимиляции данных изотопов. В последнем случае океанская вода с изотопами отделялась от фитопланктона на 17–18 день после начала опытов, когда клетки планктона уже разложились, т. е. изучались только растворимые формы изотопов <sup>(3)</sup>. Учитывалось поглощение изотопов стенками посуды, в которой велись опыты.

Работа проводилась в 8-м рейсе научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» в 1972 г. Отбор фитопланктона осуществлялся простым зачерпыванием его с водой на поверхности в районе, богатом фитопланктоном ( $\sim 2$  мг/л) у побережья Перу (Апвеллинг, август). Зоопланктон в пробах был представлен единичными экземплярами <sup>(3)</sup>. В табл. 1 приведены некоторые свойства радиоактивных изотопов, используемых в работе.

Как следует из табл. 1, для кобальта количество элемента, вносимое вместе с изотопом, в несколько раз превышало его содержание в океанской воде ( $\sim 0,2$  мкг/л). Поэтому опыты с  $\text{Co}^{60}$ , хотя и отражают истинное поведение кобальта в океане, но более характерны случаю незначительного локального повышения концентрации этого элемента. Аналогичных затруднений с  $\text{Ru}^{329}$ ,  $\text{Ru}^{106}$  и  $\text{Tc}^{99}$  не возникает (поскольку плутоний и технезий в морской воде практически отсутствуют).

Значение pH океанской воды в опытах колебалось в пределах 7,9–8,1; температура изменялась от 20 до 26°. Отклонение полученных экспериментальных величин от средних значений (по 3–4 параллельным опытам) составляло  $\sim 8$ –15 %.

Образцы красной глины были отобраны с глубины 4140 м ( $23^{\circ}55'4''$  с. ш.,  $121^{\circ}31'7''$  з. д.). В ней встречались отдельные конкреции, слюды, роговая обманка. Эксперименты проводились со свежими образца-

ми глины без их предварительной сушки. Отбор проб глины для адсорбционных опытов делался объемным методом. Величина поверхности, определенная методом БЭТ по адсорбции криптона, равнялась  $64 \text{ м}^2/\text{г}$ . Результаты опытов представлены на рис. 1, 2 и в табл. 2.

Как видно из рис. 1,  $\text{Pu}^{239}$  и  $\text{Ru}^{106}$  могут вовлекаться в биологический цикл, в результате чего сильно изменяется их первоначальное состояние.

Таблица 1  
Характеристики изотопов

Изотопы	Период полураспада, тип излучения	Химическая форма	Количество элемента, вносимого с изотопом, $\mu\text{г}/\text{л}$
$\text{Pu}^{239}$	$2,4 \cdot 10^4$ лет, $\alpha$	Хлористый, $\text{Ru} (\text{IV})$	$\sim 0,02$
$\text{Ru}^{106}$	1 год, $\beta^-$ , $\gamma$	Аготнокислый	$< 1 \cdot 10^{-5}$
$\text{Tc}^{99}$	$2,1 \cdot 10^5$ лет, $\beta^-$	Пертехнат аммония	$(1-1,5) \cdot 10^3$
$\text{Co}^{60}$	5,2 года, $\beta^-$ , $\gamma$	Хлористый	0,5—1

У обоих элементов наблюдается возрастание доли частиц малого размера. При этом данная тенденция более характерна плутонию, который эффективно усваивается планктоном. Следует отметить, что через 100—120 час. при усвоении  $\text{Pu}^{239}$  и  $\text{Ru}^{106}$  водорослью *Platymonas viridis* уже достигается стационарное состояние в распределении данных изотопов по частицам различного размера. В естественных условиях стационарное состояние достигается быстрее на 2—3 сутки после добавления радиоактивных изотопов к океанской воде с природным сообществом фитопланктона (2—4). По-видимому, в частицах, имеющих размер  $> 1 \mu\text{м}$   $\text{Pu}^{239}$  и  $\text{Ru}^{106}$  ассоциированы с детритом отмершего фитопланктона.

Таблица 2  
Влияние процесса биоассимиляции на сорбционные характеристики микроэлементов глубоководной красной глины

Изотоп	Значение константы $K_f$ , $\text{см}^3 \cdot \text{г}^{-1}$	
	до вовлечения в биологический цикл	после вовлечения в биологический цикл
$\text{Pu}^{239}$	$(9,8 \pm 1,0) \cdot 10^3$	$(3,1 \pm 0,3) \cdot 10^4$
$\text{Ru}^{106}$	$(3,0 \pm 0,6) \cdot 10^4$	$(4,3 \pm 0,2) \cdot 10^3$
$\text{Tc}^{99}$	$6,0 \cdot 10^1$	$4 \cdot 10^{-1}$
$\text{Co}^{60}$	$(3,5 \pm 0,7) \cdot 10^3$	$(5,0 \pm 1,0) \cdot 10^3$

На рис. 2 представлены результаты опытов по адсорбции глубоководной красной глиной равновесных с океанской водой физико-химических форм кобальта и рутения. Аналогичные зависимости получены для  $\text{Tc}^{99}$  и  $\text{Pu}^{239}$ . По оси ординат отложено значение  $\lg$  равновесного относительного поглощения  $\bar{\epsilon} = (C_0 - C_p)/C_p$ , где  $C_0$  и  $C_p$  — исходная и равновесная концентрации элемента; величина  $\bar{m}$  соответствует отношению  $m/v$ , где  $m$  — масса сорбента,  $v$  — объем жидкой фазы. Представление экспериментального материала по адсорбции с переменной массой сорбента в форме зависимостей  $\lg \bar{\epsilon}$  от  $\lg \bar{m}$  позволяет легко сделать определенные выводы о состоянии элементов в жидкой фазе (5). Например, у рутения после биоассимиляции фитопланктом появляются несорбируемые формы, которые остаются в растворах при увеличении веса осадка-поглотителя. На это указывает возникновение участка изотермы, параллельного оси абсцисс (кривая  $I'$ ,  $\lg \bar{\epsilon}$  предельное). Кобальт остается в сорбируемом виде и степень его поглощения практически не меняется.

Плутоний после вовлечения в биологический цикл заметно изменяет свое физико-химическое состояние: количество несорбируемых форм рез-

ко-поглощается с детритом отмершего фитопланктона. Более мелкие частицы могут быть представлены агрегатами комплексных органических соединений, выделившихся с метаболитами из живого планктона или в процессе его бактериального разложения. Технеций и кобальт в данных условиях экспериментов изменяли свое первоначальное состояние незначительно.

На рис. 2 представлены результаты опытов по адсорбции глубоководной красной глиной равновесных с океанской водой физико-химических

ко падает и одновременно увеличивается захват красной глиной сорбируемых форм ( $K_r$  возрастает,  $K_r = \bar{\varepsilon}/\bar{m}$ ), табл. 2. Несколько понижается сорбция  $Tc^{99}$  ( $K_r$  уменьшается от 60 до 40), что может быть вызвано переходом простой исходной ионной формы  $TcO_4$  в сложные анионные комплексы. В целом усвоение технечия фитопланктоном невелико (2), поэтому и физико-химическое состояние его в океанской воде изменяется мало.

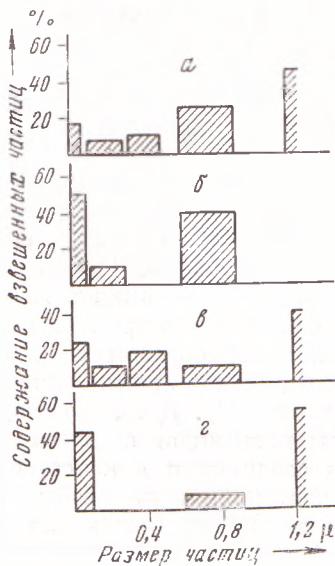


Рис. 1

Рис. 1. Распределение  $Pu^{239}$  (a, b) и  $Ru^{106}$  (c, d) в органической взвеси в результате усвоения данных изотопов одноклеточными зелеными водорослями *Platymonas viridis* (метод ультрафильтрации). Концентрация водоросли составляла 22 мг/л. a, c — 120 час., b — 170 час., d — 140 час. после начала опыта

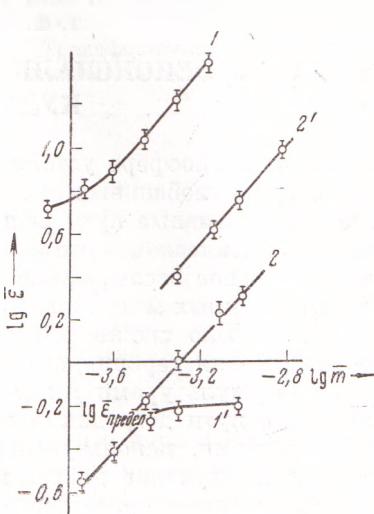


Рис. 2

Рис. 2. Поглощение  $Ru^{106}$  (1) и  $Co^{60}$  (2) красной глиной после вовлечения этих элементов в биологический цикл в океанской воде. 1', 2' — результаты сорбции равновесных с океанской водой физико-химических форм радиоактивных изотопов после биоассимиляции планктоном

Ассимиляция фитопланктоном и последующее выведение элементов в океанскую воду с метаболитами и продуктами разложения планктона наиболее сильно влияет на поведение  $Pu^{239}$  и  $Ru^{106}$ . Очевидно, эти элементы существуют в океанской воде в виде сложных комплексных органических соединений. Нельзя также исключать и процессы чисто физико-химические, взаимодействие с растворенным неорганическим и органическим веществом. Однако, как показывает опыт, решающее значение при стабилизации физико-химических форм исследованных элементов имеет биоассимиляция фитопланктоном, в результате которой изменяется состояние плутония, технечия, кобальта и рутения в океанской среде, что, в свою очередь, приводит к изменению захвата этих элементов донными осадками и, очевидно, взвесью.

Институт физической химии  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
8 V 1973

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- 1 А. П. Виноградов, Введение в геохимию океана, «Наука», 1967.
- 2 В. Н. Тихомиров, В. В. Громов и др., ДАН, т. 194, 112, 445 (1970).
- 3 В. В. Громов, Е. Г. Стадрубцев, Усвоение элементов группы железа фитопланктоном. Отчет 8 рейса н.и. судна Дм. Менделеев, бывш. Инст. океанол. АН СССР, 1972.
- 4 Ю. А. Богданов, В. В. Громов, А. П. Лисицын, Докл. на III совещ. по физическим методам исследования осадочных пород, Всесоюзн. н.и. институт синтеза мин. сырья, Александров, 1973.
- 5 Ю. В. Егоров, В. М. Николаев. Радиохимия, т. 5, 8, 273 (1965).