

В. В. ГРОМОВ, академик В. И. СПИЦЫН

**ВЛИЯНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА НА ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ  
СОСТОЯНИЕ  $\text{Pu}^{239}$ ,  $\text{Ru}^{106}$ ,  $\text{Tc}^{99}$  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  $\text{Pu}^{239}$ ,  $\text{Ru}^{106}$ ,  $\text{Tc}^{99}$  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 (~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 (~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  $\text{Pu}^{239}$ ,  $\text{Ru}^{106}$  и  $\text{Tc}^{99}$  не возникает (поскольку плутоний и технеций 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 ~8–15%.

Образцы красной глины были отобраны с глубины 4140 м (23°55'4" с. ш., 121°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.

Т а б л и ц а 1

Характеристики изотопов

Изотопы	Период полураспада, тип излучения	Химическая форма	Количество элемента, вносимого с изотопом, $\mu\text{г}/\text{л}$
$\text{Pu}^{239}$ $\text{Ru}^{106}$ $\text{Tc}^{99}$ $\text{Co}^{60}$	$2,4 \cdot 10^4$ лет, $\alpha$ 1 год, $\beta^-$ , $\gamma$ $2,1 \cdot 10^5$ лет, $\beta^-$ 5,2 года, $\beta^-$ , $\gamma$	Хлористый, $\text{Pu}$ (IV) Азотнокислый Пертехнатат аммония Хлористый	$\sim 0,02$ $< 1 \cdot 10^{-5}$ $(1-1,5) \cdot 10^3$ 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 (<sup>2-4</sup>). По-видимому, в частицах, имеющих размер  $> 1 \mu\text{м}$   $\text{Pu}^{239}$  и  $\text{Ru}^{106}$  ассоцииро-

Т а б л и ц а 2

Влияние процесса биоассимиляции на сорбционные характеристики микроэлементов глубоководной красной глины

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

ваны 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-химиче-

ских 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 (<sup>5</sup>). Например, у рутения после биоассимиляции фитопланктоном появляются несорбируемые формы, которые остаются в растворах при увеличении веса осадка-поглотителя. На это указывает возникновение участка изотермы, параллельного оси абсцисс (кривая 1',  $\lg \bar{\epsilon}$  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 падает и одновременно увеличивается захват красной глиной сорбируемых форм ( $K_r$  возрастает,  $K_r = \varepsilon/\bar{m}$ ), 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 технеция фитопланктоном невелико<sup>(2)</sup>, поэтому и физико-химическое состояние его в океанской воде изменяется мало.

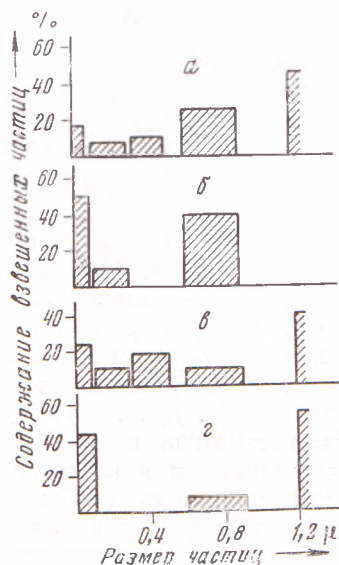


Рис. 1

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

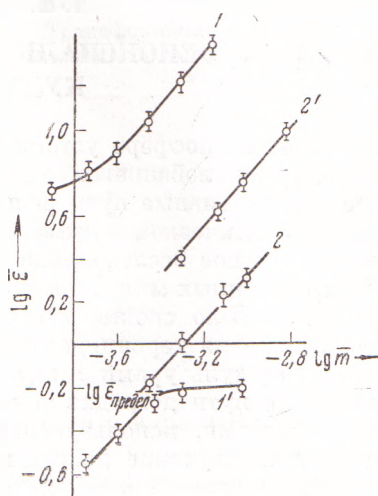


Рис. 2

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  $Pu^{106}$ . 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, технеция, 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

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