

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР  
ИНСТИТУТ БИОЛОГИИ ЮЖНЫХ МОРЕЙ  
ИМ. А.О. КОВАЛЕВСКОГО

ПРОВ 2010

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ

(Материалы симпозиума)

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКОВА ДУМКА»  
КИЕВ—1972

3. Левинсон-Лессинг Ф.Ю., Дьяконова-Савельева Е.Н. Вулканическая группа Карадага в Крыму. Изд-во АН СССР, Л., 1938.
4. Слудский А.Ф. Записки Крымского общества естествоиспытателей и любителей природы, т. I, 1912, 33-43.
5. Смирнов А.Н. и др. Карадаг. Научно-популярные очерки. Изд-во АН УССР, К., 1959.
6. Ферсман А.Е. Кил. Техническая энциклопедия, 1930, т. IО, 154.
7. Цейтлин С.Г. Тр. Биогеохим. лаб. АН СССР, 1944, т. 7, 128.

Н.С.Рисик, Г.Г.Поликарпов, Х.Абдуллаев

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА В МОРСКОЙ ВОДЕ И МОРСКИХ ОРГАНИЗМАХ МЕТОДОМ НЕЙТРОННОЙ АКТИВАЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДЕТЕКТОРОВ

Существует большое количество химических, физико-химических и физических методов количественного определения урана в различных средах. Большинство из них требует предварительного химического выделения урана из проб или сложной и малодоступной аппаратуры.

Общепринятым методом, применяемым для определения микроколичеств урана в морской воде и биоматериале, является люминесцентный. Этот метод основан на способности уранила в виде твердого раствора с фтористым натрием люминесцировать под действием ультрафиолетового излучения. С увеличением содержания урана в образцах интенсивность свечения линейно возрастает в диапазоне концентраций до  $6 \cdot 10^{-5}$  г, что используется для количественного определения [5].

Однако на точность определения урана оказывают большое влияние присутствующие в пробах гасящие примеси (Cu, Mn, Cr, Pb, Fe, Bi, Co, Ni и др.), которые снижают яркость люминесценции [5]. Для отделения урана от примесей гасителей применяют экстрагирование его трибутилфосфатом [7], соосаждение уранилроданидного комплекса с осадком роданида метилвиолета [6], адсорбцию на угле [3].

В последние годы получили распространение диэлектрические детекторы заряженных частиц и с помощью их определение концентрации урана. Это один из наиболее чувствительных методов (табл. I).

Начало разработки этой методики было положено Силком и Барнесом [12], Прайсом и Уокером [14], которые применили слюду для регистрации следов осколков деления урана. Но ввиду того, что в то время еще не могли устранять высокий фон следов от осколков деления примесных ядер урана, этот детектор не нашел широкого применения.

Т а б л и ц а I  
Наиболее чувствительные методы определения урана

| М е т о д                                                             | Чувствительность<br>определения, % | Литературный<br>источник |
|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Радиоактивационный                                                    | $1 \cdot 10^{-7}$                  | [10, 11]                 |
| Кулонометрический                                                     | $2,5 \cdot 10^{-8}$                | [9]                      |
| Люминесцентный                                                        | $1 \cdot 10^{-8}$                  | [5, 7]                   |
| Нейтронной активации<br>с применением диэлектри-<br>ческих детекторов | $1 \cdot 10^{-8}$                  | [1, 2, 4]                |

В дальнейшем были найдены новые детекторы и разработана методика для определения концентрации урана в твердых телах [2], минералах [4] и растениях [1] и в усовершенствованном виде применена авторами для определения микроколичеств урана в морской воде и гидробионтах.

К диэлектрическим детекторам, применяемым для определения урана, предъявляются следующие требования: 1) достаточно высокая эффективность регистрации; 2) низкое содержание делящихся веществ в детекторе; 3) отсутствие чувствительности к легким заряженным частицам, нейтронам и гамма-лучам.

Этим требованиям больше всего соответствует лавсан (полиэтиленгликольтерефталат), эффективность которого  $88 \pm 5\%$ , содержание урана менее  $10^{-10}$  г/г, нечувствителен к легким заряженным частицам и к гамма-лучам [2].

Из лавсана, толщиной 20 мк, изготавливаются пакеты размером 2 x 2,5 см. В эти пакеты помещаются предварительно отожженные в муфельной печи при температуре  $500-600^{\circ}\text{C}$  или высушенные до постоянного веса пробы гидробионтов.

Для анализа морской воды достаточно пробы 15-20 мл. Это количество воды выпаривается в фарфоровом тигле. Полученный осадок солей доводят до постоянного веса, взвешивают и помещают в лавсановый пакет.

Навески проб, необходимые для анализа, 100-200 мг могут быть в виде порошка или прессованных таблеток.

Лавсановые пакеты с анализируемыми пробами помещают в специальный контейнер. Вместе с пробами помещают второй детектор (силикатное стекло) в контакте с препаратом урана. Затем контейнер с пробами облучают на реакторе потоком тепловых нейтронов. Интегральный поток нейтронов составляет  $10^{14}-10^{16}$  н/см<sup>2</sup>.

Тепловые нейтроны вызывают деление ядер урана. Осколки ядер

попадают в лавсановый детектор и вызывают в нем нарушения структуры, имеющие форму треков диаметром 100 Å и длиной порядка 10 мк.

После облучения из лавсановых пакетов удаляют пробы и вырезают полоски лавсана размером 1,5х2 см, которые подвергают химическому травлению КОН с удельным весом 1,35 при температуре 20°C в течение 18-20 час. При повышении температуры время травления уменьшается.

После травления следы осколков увеличиваются в диаметре до 5-10 мк, что позволяет вести их поиски и подсчет на оптических микроскопах. Размер площади подсчета выбирается в зависимости от числа следов осколков на лавсане.

Поскольку препарат урана и исследуемый образец облучаются в одинаковых условиях, концентрацию урана определяют из соотношения плотностей следов от осколков, зарегистрированных на этих детекторах по следующей формуле [2]

$$C_B = \frac{C_A \cdot N_2 \cdot \epsilon_1}{N_1 \cdot R_{\text{эф}}},$$

где  $N_1$  и  $N_2$  — плотность следов осколков деления на детекторах, находившихся в контакте с препаратом и исследуемым образцом;  $C_A$  — количество урана на препарате, мг/см<sup>2</sup>;  $\epsilon_1$  — эффективность детектора, находившегося в контакте с препаратом;  $R_{\text{эф}}$  — эффективная толщина исследуемого образца, мг/см<sup>2</sup>;  $C_B$  — количество урана, г/г;  $\epsilon_2$  — для силикатного стекла  $40 \pm 3\%$ ;  $R_{\text{эф}}$  — определяется следующим образом. Исходя из известного химического состава морской воды и морских организмов [15], вычисляется средний атомный номер —  $\bar{Z}$  и по графику зависимости эффективной толщины слоя  $R_{\text{эф}}$  от атомного номера поглотителя  $Z$  (см. рисунок) определяется  $R_{\text{эф}}$  исследуемого образца. Для морской воды и некоторых организмов  $R_{\text{эф}}$  приведены в табл. 2.

Ошибка в определении концентрации урана с помощью диэлектрических детекторов составляет  $\pm 10\%$ . Она определяется в основном неточностью в измерении эффективности регистрации детектора  $\epsilon_1$ , толщины слоя  $R_{\text{эф}}$  ( $\pm 5-7\%$ ) и статистическими ошибками в измерении плотностей следов  $N_1$  и  $N_2$  на детекторах [2].

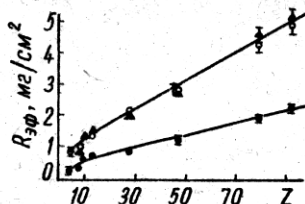
Данные по определению концентрации урана в морской воде и морских организмах приведены в табл. 2, где также рассчитаны коэффициенты накопления урана для данных организмов. Коэффициент накопления показывает способность организма аккумулировать тот или иной изотоп (элемент) и выражается отношением концентрации радиоизотопа (элемента) в организме и в водном растворе [8, 13].

Как видно из табл. 2, наибольшие величины коэффициентов на-

Т а б л и ц а 2

Концентрация урана в морских организмах и морской воде в районе Карадага в Крыму

| О б ъ е к т                                       | Сырой вес<br>Вес зола | $R_{эф.}, 2$<br>мг/см | Число<br>проб | $n \cdot 10^{-6}$ ,<br>г/г зола    | $n \cdot 10^{-7}$ ,<br>г/г сыр. веса | Коэффициенты<br>накопления  |
|---------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| <b>Водоросли:</b>                                 |                       |                       |               |                                    |                                      |                             |
| <i>Cystoseira barbata</i><br>(молодые талломы)    | 16,5                  | 1,30                  | 5             | $2,71 \pm 0,29$                    | $1,64 \pm 0,16$                      | $60 \pm 6$                  |
| <i>Padina pavonia</i>                             | 10,2                  | 1,38                  | 3             | $4,98 \pm 0,30$                    | $4,88 \pm 0,30$                      | $170 \pm 11$                |
| <b>Высшие цветковые растения:</b>                 |                       |                       |               |                                    |                                      |                             |
| <i>Zostera nana</i>                               | 15,0                  | 1,25                  | 1             | 3,33                               | 2,21                                 | 76,0                        |
| <b>Моллюски:</b>                                  |                       |                       |               |                                    |                                      |                             |
| <i>Mytilus galloprovincialis</i><br>тело раковина | 23,1<br>1,3           | 1,53<br>1,43          | 3<br>3        | $5,57 \pm 0,20$<br>$3,01 \pm 0,38$ | $2,41 \pm 0,09$<br>$23,1 \pm 2,90$   | $87 \pm 3$<br>$830 \pm 105$ |
| <b>Рыбы:</b>                                      |                       |                       |               |                                    |                                      |                             |
| <i>Scorpaena porcus</i>                           | 20,2                  | 1,46                  | 5             | $0,31 \pm 0,17$                    | $0,16 \pm 0,08$                      | $6,0 \pm 2$                 |
| Морская вода                                      | -                     | 1,40                  | 5             | $2,76 \pm 0,25$ г/л                |                                      |                             |



Зависимость эффективной толщины слоя  $R_{эф}$  от атомного номера поглотителя  $Z$  :  
 [2] ○ - лавсан; ◆ - слюда; ▲ - силикатное стекло

скопления наблюдаются у раковин мидий *Mytilus galloprovincialis* -830, а наименьшие - в рыбах *Scorpaena porcus*-6.

Одним из преимуществ определения урана с помощью диэлектрических детекторов является возможность производить радиографию исследуемых образцов. Так, в данной работе при просмотре лавсановых детекторов (увеличение 125-300 раз) авторами обнаружено, что в теле мидий встречаются одиночные скопления урана в виде его микрочастиц размером 5-10 мк. Микрочастицы найдены как в золе мидий, так и в высушенном теле этих моллюсков.

#### В ы в о д ы

1. Показана применимость диэлектрических детекторов для определения концентрации урана в морской воде и морских организмах.

2. Определены концентрации и оценены величины коэффициентов накопления урана в природных условиях в некоторых черноморских организмах.

3. С помощью диэлектрических детекторов обнаружены микроскопления урана в теле мидий, что указывает на возможность использования диэлектрических детекторов в изучении пространственного распределения урана в исследуемых образцах.

#### Л и т е р а т у р а

1. Абдуллаев Х., Захватаев Б.Б., Перелыгин В.П. Определение концентрации урана в растениях по следам осколков деления урана. Препринт ОИЯИ, 3-3396, Дубна, 1967а.
2. Абдуллаев Х., Капусцик А., Отгонсуре О., Перелыгин В.П., Чултэм Д. Определение концентрации делящихся веществ в твердых телах. Препринт ОИЯИ, Р 12-3243, Дубна, 1967 б.
3. Батурин Г.Н., Коченов А.В., Ковалева С.А. Некоторые особенности распределения урана в водах Черного моря. " ДАН СССР, 1966, т.166, № 3.

4. Берзина И.Г., Берман И.Б., Гурвич М.Ю., Флеров Г.Н., Шимелевич Ю.С. Определение концентрации урана и его пространственного распределения в различных минералах и горных породах. Препринт ОИЯИ, Р 13-3159, Дубна, 1967.
5. Добровольская Т.С. Люминесцентный метод. - Аналитическая химия урана. Гл. ред. Виноградов А.П. Изд-во АН СССР, М., 1962.
6. Кузнецов В.И., Акимова Т.Г. Органические соосади-  
тели. Сообщение 8. Соосаждение урана при его определении  
в морской воде. - Аналитическая химия, 1958, т.13, в.1.
7. Немодрук А.А., Веротницкая И.Е. Экстракционно-люминесцентный  
метод определения урана в почвах, илах, растениях и тканях  
животных. - Аналитическая химия, 1962, т.УП, в.4.
8. Поликарпов Г.Р. Радиозэкология морских организмов. Атомиздат,  
М., 1964.
9. Удальцова К.И. Кулонометрическое определение урана. - В кн.:  
Аналитическая химия урана, Изд-во АН СССР, М., 1962.
10. Шашкин В.Л. Методы анализа естественных радиоактивных элемен-  
тов. М., 1961.
11. Яковлев Ю.В. Радиоактивный метод определения урана. - В кн.:  
Аналитическая химия урана, Изд-во АН СССР, М., 1962.
12. Silk E.C.H., Barnes R.S. Examination of fission fragment  
tracks with an electron microscope. *Phylos.*, 1959,  
*Mag.* 4, 44.
13. Policarpov G.G. Radioecology of aquatic organisms. North.  
Holl. Publ. Co. Reinhold Book Div. Amsterdam-New-York,  
1964.
14. Price P.B., Walker R.M. Chemical etching of charged particle  
tracks in solids. *Appl. Phys.*, 1962, v. 33, N 3407.
15. Vinogradov A.P. The elementary chemical composition of marine  
organisms. New Haven, 1953.

А.К.Грибков, Л.Д.Сошин

#### МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ СЛОЖНЫХ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ ГАММА-СПЕКТРОВ

Высокая светосила сцинтилляционных спектрометров, несмотря на их низкую разрешающую способность, делает их незаменимыми в гамма-спектроскопии малых активностей. Однако получение информации о спектральном составе и интенсивности регистрируемого  $\gamma$ -излучения сильно затруднено не столько из-за малой статистики, сколько