

Таким образом мы показали, что протонно-активационный анализ по короткоживущим продуктам ядерных реакций обладает следующими преимуществами перед другими методами анализа:

чувствительность определения элементов составляет $(2670 - 0,5) \cdot 10^{-9}$ г/(г·мкА⁻¹), что в большинстве случаев в 10—1000 раз выше чувствительности других методов. При использовании больших потоков протонов (выше 1 мкА) этот предел можно понизить;

методы неdestructивны, экспрессны и стоимость определения одного элемента ниже стоимости анализа по долгоживущим радионуклидам, так как время, требуемое для облучения образца, в первом случае намного меньше;

возможность неdestructивного анализа матриц, имеющих большие сечения активации на тепловых, быстрых нейтронах и γ -квантах;

определение содержания элементов, которые из-за интерференций с помощью других ядерных реакций не определяются;

возможность для многоциклического анализа и его автоматизации.

Однако методы имеют и некоторые ограничения, заключающиеся в трудности подавления фона от более долгоживущих радионуклидов (особенно, когда их число велико) и комптоновского распределения от аннигиляционных квантов с постоянной высокой интенсивностью, так как почти все радионуклиды распадаются путем излучения β^+ -частиц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Benaben P., Barrandon J., Debrun J. «Anal. Chem. Acta», 1975, v. 78, p. 129.
2. Debrun J. e.a. «Anal. Chem.», 1975, v. 47, p. 637.
3. Krasnov N., Sevasthyanov Ju., Konstantinov I. «J. Radioanal. Chem.», 1973, v. 16, p. 395.
4. Мунинов В. А., Мухаммедов С., Хайдаров Р. А. «Заводск. лаборатория», 1977, т. 1. с. 40.
5. Затолокин Б. В., Константинов И. О., Краснов Н. Н. «Атомная энергия», 1977, т. 42, вып. 4, с. 311.
6. Barrandon J. e.a. «Nucl. Instrum. Methods», 1975, v. 127, p. 269.
7. Debrun J., Barrandon J., Benaben P. «Anal. Chem.», 1976, v. 48, p. 167.
8. Debrun J., Riddle D., Schweikert E. Ibid., 1977, v. 44, p. 1386.
9. Мунинов В. А. и др. Ядерно-физические методы анализа и контроля технологических процессов. Ташкент, «Фан», 1974, с. 50.
10. Султанов Б. Автореферат канд. дис. Ташкент, ИЯФ АН УзССР, 1977.
11. Bankert S., Bloom S., Sauter G. «Anal. Chem.», 1973, v. 45, p. 692.
12. Козаческий П. В., Кнозоров В. Д., Сокольский В. В. В кн.: Прикладная ядерная физика. Кн. 2. Ташкент, «Фан», 1973, с. 123.
13. McGinly I., Schweikert E. «Anal. Chem.», 1975, v. 47, p. 2403.
14. Burton T., Swindle D., Schweikert E. «Radiochem. Radioanal. Lett.», 1972, v. 9, p. 155.
15. Thomas I., Schweikert E. «Nucl. Instrum. Methods», 1972, v. 9, p. 461.
16. Мунинов В. А., Мухаммедов С., Хайдаров Р. А. «Изотопы в СССР», 1977, т. 49, с. 11.
17. Williamson C., Boujot I., Picard I. Rep. CEA-3042, 1966.
18. Маслов И. А., Лукницкий В. А. Справочник по нейтронному активационному анализу. Л., «Наука», 1971.
19. Lutz G. «Anal. Chem.», 1969, v. 41, p. 424.

Поступила в Редакцию 28.09.97

УДК 551.464.6.02

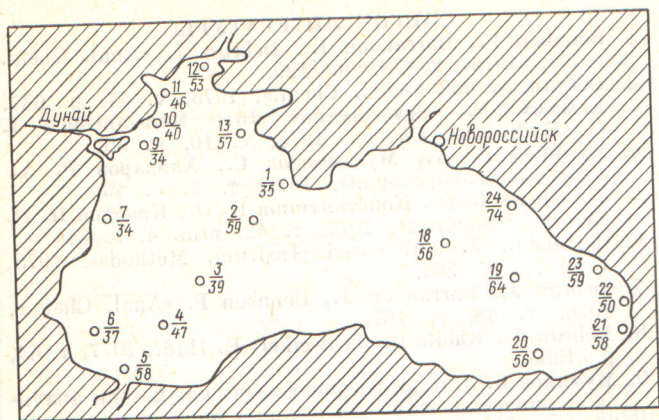
Пространственное распределение и баланс ^3H и ^{137}Cs в Черном море в 1977 г.

ВАКУЛОВСКИЙ С. М., КАТРИЧ И. Ю., КРАСНОПЕВЦЕВ Ю. В., НИКИТИН А. И., ЧУМИЧЕВ В. Б., ШКУРО В. Н.

Исследования поведения радиоактивных примесей в морской среде в первую очередь направлены на обеспечение радиационной безопасности человека и сохранение природных ресурсов океана. При этом следует уделять особое внимание изучению радиоактивной загрязненности морей с ограниченным водообменом, к которым принадлежит, в частности, Черное море, так как этот тип морей наиболее чувствителен к техногенным загрязнениям.

В настоящее время содержание ^{90}Sr в водах Черного моря изучено достаточно хорошо [1—5]. Оценка же запасов ^{137}Cs проведена на ограниченном экспериментальном материале [2, 3]. Нет опубликованных сведений о содержании ^{137}Cs в донных отложениях Черного моря и о запасах и составляющих баланса трития.

Для получения более подробных данных о радиоактивной загрязненности Черного моря в сентябре — октябре 1977 г. во время рейса НИС «Мгла» был проведен отбор проб морской воды и донных отложений. Пробы воды отбирали батом тром из нержавеющей стали, а пробы донных отложений — дночерпателем «Океан-0,25». Для определения ^3H объем пробы составлял 2 л, для ^{137}Cs — 100 л. Радиометрию ^3H в пробах воды проводили с помощью жидкости сцинтилляционных спектрометров «Mark-II» и SL-30 после предварительного обогащения методом электролиза [6]. При этом погрешность измерения минимальной активности не превышала 35%. При определении ^{137}Cs пробы воды пропускались через колонку с избирательным сорбентом [7] на борту судна. Степень извлечения цезия составляла 80%. Измерение проб



Р и с. 1. Концентрация трития в различных местах отбора проб во время рейса НИС «Мгла» в сентябре — октябре 1977 г. (числитель — номер точки, знаменатель — концентрация трития, т. е.)

проведено с использованием низкофонного гамма-спектрометра (детектор с колодцем). Минимально детектируемое содержание ^{137}Cs для пробы объемом 100 л составило 0,05 пКи/л (1 Ки = $= 3,700 \cdot 10^{10}$ Бк) при продолжительности измерения 10 ч и относительной погрешности 50%. Содержание ^{137}Cs в донных отложениях определяли по результатам измерений высушенных проб грунта с помощью полупроводникового детектора ДГДК-80.

Среднее значение концентрации ^3H поверхностных вод (рис. 1) в восточной части (граница между частями по меридиану 36° в. д.) равно (60 ± 6) т. е.; в западной и северо-западной части — (48 ± 10) т. е. В западной части моря выделяется прибрежный район (от пролива Босфор до устья Дуная) со средним значением концентрации ^3H (35 ± 3) т. е.

Одной из возможных причин такого распределения ^3H по акватории моря является различие его поступления с атмосферными осадками. Среднегодовая сумма осадков возрастает от 400—600 мм/год на западе до 1700—5000 мм/год на востоке в районе Сухуми — Батуми [8]. При этом концентрация ^3H в атмосферных осадках над всей акваторией моря одинакова, а количество осадков в различных районах моря и в примыкающих к ним прибрежных районах близко. Осредненное по всей акватории моря значение концентрации трития в поверхностных водах в 1977 г. составило (51 ± 5) т. е., а в слое воды 0—100 м — 36 т. е., что примерно на 40% ниже, чем в 1973 г. [9].

Распределение ^{137}Cs в поверхностных водах более равномерно, чем распределение ^3H . Среднее значение концентрации для всей акватории моря составляет $(0,53 \pm 0,03)$ пКи/л, за исключением северо-западной части моря, где средняя концентрация ^{137}Cs меньше, чем на остальной

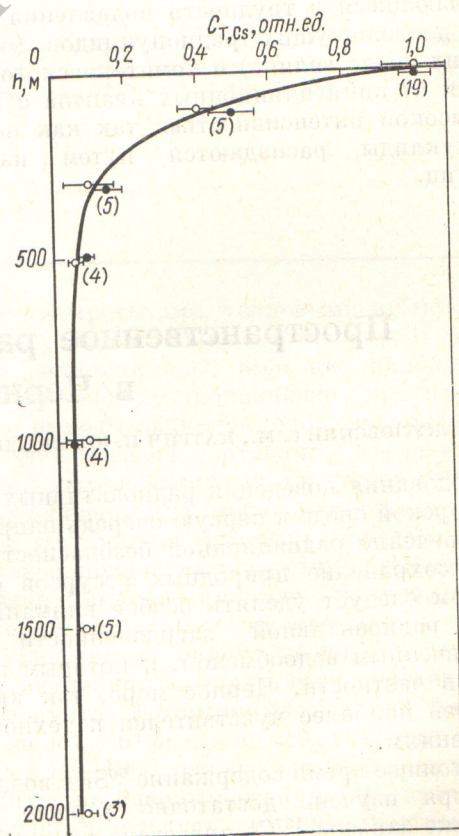
акватории, приблизительно в 1,3 раза. По-видимому, это объясняется поступлением в этот район моря речных вод с низкой концентрацией ^{137}Cs [10].

Результаты измерения концентрации ^3H и ^{137}Cs на различных горизонтах показали, что глубина распределения этих радионуклидов в восточной и центральной частях моря одинакова. Это обстоятельство позволило рассчитать и получить осредненные для этих частей моря профили концентрации (рис. 2), которые нормированы к поверхностной концентрации и удовлетворительно аппроксимируются экспоненциальной зависимостью:

$$C_h = 0,96 \exp(-0,693 h/h_{1/2}) + 0,04,$$

где C_h — концентрация ^3H или ^{137}Cs на глубине h , отн. ед.; h — глубина отбора пробы, м; $h_{1/2}$ — глубина (82 м), на которой концентрация радионуклида уменьшается в 2 раза.

Следует, однако, отметить, что глубинное распределение ^3H в районе, примыкающем к Босфорскому заливу, отличается от глубинного распределения в центральной и восточных частях моря. Это хорошо выявляется в глубинном распределении ^3H на разрезе Босфор — Севастополь



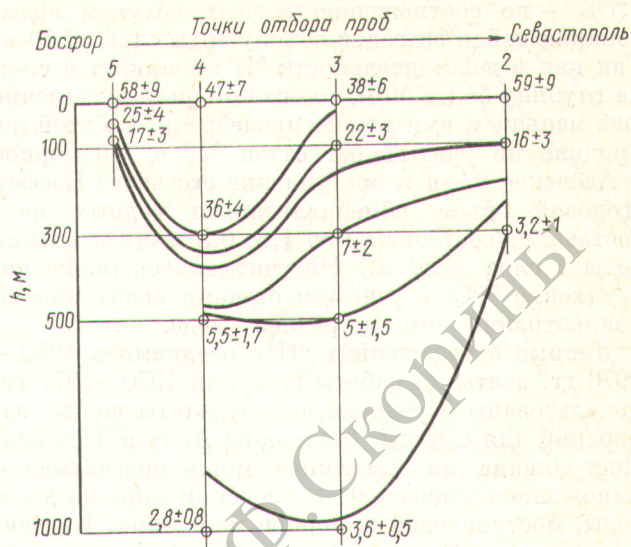
Р и с. 2. Осредненный вертикальный профиль концентрации ^3H (○) и ^{137}Cs (●). В скобках указано число осредненных значений (для удобства чтения рисунка экспериментальные точки несколько сдвинуты по вертикали)

(рис. 3). Различия в точках 5, 4, 3, 2 могут быть объяснены проникновением более плотных поверхностных вод Мраморного моря в глубинные слои Черного моря. Полученные данные о распределении ^3H и ^{137}Cs в поверхностных и глубинных водах позволили рассчитать запас этих радионуклидов в море (см. таблицу).

Послойный запас ^3H и ^{137}Cs определяли умножением концентрации (средней для слоя) на объем воды в слое. Средняя концентрация ^{137}Cs в слое воды на глубине 1—2 км получена объединением четырех проб, отобранных в этом слое воды на различных разрезах, и последующим измерением объединенной пробы. Вычисленные таким образом запасы в водной массе Черного моря составили (12 ± 3) МКи ^3H и (37 ± 8) кКи ^{137}Cs . Около 65% запаса ^3H и свыше 80% запаса ^{137}Cs приходится на слой ≤ 500 м. Отношение запасов ^3H и ^{137}Cs равно ~ 330 .

Для получения общего запаса ^{137}Cs необходимо также определить запас его в донных отложениях, хорошо сорбирующих цезий [12]. Содержание ^{137}Cs в грунтах, отобранных на глубине до 150 м, менялось от 80 до 30 мКи/км² при среднем значении 47 мКи/км². Содержание ^{137}Cs в глубоководных грунтах значительно меньше, чем в мелководных. Например, для пробы, отобранной с глубины 660 м, получено значение 0,4 мКи/км². Принимая содержание ^{137}Cs равным 47 мКи/км² для глубины до 150 м и 0,4 мКи/км² для остальной площади моря, можно определить запас ^{137}Cs в донных отложениях, который составил $5,2 \times 10^3$ Ки, или $\sim 14\%$ запаса в морской воде. С учетом этого значения суммарный запас ^{137}Cs в море равен (42 ± 8) кКи, или 98 мКи/км², что совпадает с запасом ^{137}Cs в почвах для данного широтного пояса, который составляет 100 мКи/км² [13].

Представляется интересным оценить запасы ^3H и ^{137}Cs в Черном море по отдельным составляющим баланса. Для ^{137}Cs такая оценка впервые была



Р и с. 3. Изолинии концентрации трития (т. е.) на разрезе Босфор — Севастополь в сентябре — октябре 1977 г.

сделана авторами работы [4]. Расчет запаса ^3H и ^{137}Cs в настоящей работе был проведен при следующих предположениях:

отсутствуют локальные источники поступления ^3H и ^{137}Cs в море;

поступление ^3H за счет молекулярного обмена с водной поверхностью моря равно двойному поступлению его с атмосферными осадками по аналогии с работами [14, 15];

концентрация ^3H в речных водах принята равной концентрации его в осадках данного региона [9].

Потери ^3H при испарении с акватории моря не учитывались по следующей причине. Если принять равными концентрации ^3H в испаряющейся влаге и поверхностной воде моря и допустить, что весь поступающий ^3H сосредоточен в слое ≤ 50 м, то годовые потери его на испарение не превысят

Запас ^3H и ^{137}Cs в Черном море в сентябре — октябре 1977 г.

№ Слоя, воды, м	Объем воды в слое, 10^3 км ³ [11]	Средняя концентрация *		Запас, Ки		Доля суммарного запаса, %	
		^3H , т. е.	^{137}Cs , пКи/л	^3H , 10^6	^{137}Cs , 10^3	^3H	^{137}Cs
0—100	37	$35,5 \pm 3,7$	$0,45 \pm 0,04$	$4,3 \pm 0,5$	$16,6 \pm 1,5$	35	45
100—300	62	$12,8 \pm 3,2$	$0,18 \pm 0,04$	$2,6 \pm 0,7$	$11,2 \pm 2,5$	24	30
300—500	60	$5,0 \pm 2,5$	$0,05 \pm 0,02$	$1,0 \pm 0,5$	$3,0 \pm 1,2$	8	8
500—1000	141	$4,2 \pm 2,0$	$0,02 \pm 0,006$	$1,9 \pm 0,7$	$2,8 \pm 0,8$	15	7,5
1000—1500	127	$3,5 \pm 1,6$	$0,015 \pm 0,007$	$1,4 \pm 0,7$	$1,9 \pm 0,9$	12	5
1500—2000	114	$2,7 \pm 0,7$	$0,015 \pm 0,007$	$1,0 \pm 0,3$	$1,7 \pm 0,8$	9	4,5
Сумма	541	—	—	12 ± 3	37 ± 8	100	100

* Средняя концентрация в слое принималась равной полусумме значений средней концентрации на границах слоя.

1,7% — по соотношению водных объемов воды, испаряющейся за год, к объему воды слоя ≤ 50 м. Так как в действительности ^3H проникает в слой на глубину более 50 м, то его потери на испарение еще меньше и ими можно пренебречь. По этой же причине не учитывался отток ^3H в Мраморное и Азовское моря и поступление его через Босфор (годовой объем обменивающихся водных масс составляет соответственно 1,8; 0,3 и 0,9% объема воды в слое ≤ 50 м). Не учитывалось также поступление ^{137}Cs с речными стоками ввиду низкой концентрации его в речной воде.

Данные о выпадениях ^3H с осадками в 1953—1970 гг. взяты из работы [16], для 1970—1977 гг. использованы осредненные результаты наших измерений для Одессы, Ростова-на-Дону и Тбилиси. Поступление из Азовского моря подсчитывали умножением запасов ^3H в Азовском море на долю воды, поступающей в Черное море через Керченский пролив. Оценку запаса ^3H в Азовском море проводили аналогично с Черным морем. Данные о выпадении ^{137}Cs на почву с глобальными атмосферными выпадениями взяты из работы [13], при расчете обмена с Мраморным и Азовским морями использованы сведения о концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr из работ [3, 17—19]. Подсчитанный таким образом запас ^3H в Черном море на 1977 г. составил ~ 13 МКи ($\sim 50\%$ поступило за счет молекулярного обмена, $\sim 25\%$ с осадками и 25% с материковым стоком).

Оценка равновесного запаса ^3H естественного происхождения, проведенная на основании данных работ [20, 21] о концентрации трития в атмосферных осадках, равной 8—10 т. е., составила 0,5 МКи — около 4% запаса, определенного по результатам измерений. Отсюда следует, что практически весь ^3H в Черном море искусственного происхождения. Таким образом, данные о запасах ^3H и ^{137}Cs , полученные на основании экспериментов и вычисленные при указанных выше допущениях о поступлении радионуклидов в море, хорошо совпадают. Различие составляет

$\leq 10\%$ для обоих радионуклидов. Это свидетельствует о том, что загрязнение вод Черного моря ^3H и ^{137}Cs обусловлено глобальным источником.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шведов В. П. и др. В кн.: Радиоактивная загрязненность морей и океанов. М., «Наука», 1964, с. 76.
2. Беляев Л. И., Гедеев Л. И., Яковлева Г. В. «Океанология», 1966, т. 6, вып. 4, с. 641.
3. Гедеев Л. И. и др. In: Disposal of Radioactive Waster into Seas, Oceans and Surface Waters. Vienna, IAEA, 1966, p. 373.
4. Баранник В. П. и др. «Океанология», 1974, т. 14, вып. 2, с. 274.
5. Вакуловский С. М. и др. В кн.: Труды ИЭМ. Вып. 6(64). М., Гидрометеиздат, 1977, с. 73.
6. Ostlund H., Werner E. In: Tritium in the Physical and Biological Science. Vienna, IAEA, 1965, v. 1, p. 95.
7. Бревнова Н. В. и др. «Бюл. изобрет.», 1972, № 34, с. 72.
8. Мировой водный баланс и водные ресурсы земли. Л., Гидрометеиздат, 1974, с. 153.
9. Вакуловский С. М. и др. «Атомная энергия», 1978, т. 44, вып. 5, с. 432.
10. Стродомский В. Б. В кн.: Проблемы радиоэкологии водных организмов. Свердловск, изд. УНЦ АН СССР, 1971, с. 53.
11. Скопинцев Б. А. Формирование современного химического состава вод Черного моря. Л., Гидрометеиздат, 1975.
12. Баранова Д. Д., Поликарпов Г. Г. «Океанология», 1965, т. 5, вып. 4, с. 646.
13. Моисеев А. А., Рамзаев П. В. Цезий-137 в биосфере. М., Атомиздат, 1975.
14. Michel R., Suess H. «J. Geophys. Res.», 1975, v. 80, N 30, p. 4139.
15. Dorsey H., Peterson W. «Earth. Planet. Lett.», 1976, N 2, v. 32, p. 342.
16. Environmental Isotope Data. Vienna, IAEA, 1969—1973, N 1—4.
17. Патин С. А., Петров А. А. «Метеорология и гидрология», 1976, № 7, с. 105.
18. Алексаньян О. М. В кн.: Радиоэкология водных организмов. Т. 2. Рига, «Зинатне», 1973, с. 225.
19. Поликарпов Г. Г. и др. Стронций-90 в водоемах солоноватоводного и пресноводного типа. М., Атомиздат, 1966.
20. Schell W., Sayzay Q., Payne B. In: The Physical Behaviour of Radioactive Contaminants in the Atmosphere. Vienna, IAEA, 1973, p. 1.
21. Šaro Š., Duka-Zoluomi A. «Jaderna energie», 1976, r. 22, N 9, s. 338.

Поступила в Редакцию 28.09.79

УДК 539.1.06.7:539.12.175

Использование метода ИФКн для определения эквивалентной дозы излучения за защитой ускорителей протонов

ГЕЛЬФАНД Е. К., КОМОЧКОВ М. М., МАНЬКО Б. В., САЛАЦКАЯ М. И., СЫЧЕВ Б. С.

Известны работы [1, 2], в которых предприняты попытки повысить достоверность определения дозы нейтронов за защитой ускорителей высоких энергий с помощью метода ИФКн. В работе [1] предложено с этой целью учитывать либо плотность звезд, либо долю треков, начинающихся или заканчивающихся в эмульсии. В работе [2] помимо эмульсии типа К использована

эмульсия Н-3 с пониженным верхним энергетическим порогом регистрации.

По результатам исследований спектров в помещениях ускорителей и за их защитой [3—5] можно выделить две основные группы: спектры нейтронов, претерпевших многократное отражение от внутренней поверхности стен помещения (спектры замедляющихся нейтронов), и спектры, фор-