

Содержание  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  в водах Балтийского моря в 1970 г.\*Л. М. ИВАНОВА, Л. И. ГЕДЕОНОВ, В. Н. МАРКЕЛОВ, Ю. Г. ПЕТРОВ;  
А. Г. ТРУСОВ, Э. А. ШЛЯМИН

УДК 621.515

Практика слива различных отходов производств (включая и атомную промышленность) в реки и прибрежные воды морей и океанов существует давно. В настоящее время на земном шаре известны районы, где воды рек, а в отдельных случаях морей и океанов, имеют повышенное содержание радиоактивных веществ. По мере развития ядерной энергетики число таких районов может увеличиться, поэтому возрастет и угроза дальнейшего радиоактивного загрязнения. Особенно это касается промышленно развитых стран, а следовательно, окружающих их вод морей и океанов.

Все страны, берега которых омывает Балтийское море, относятся к промышленно развитым странам, которые в основном уже используют ядерное горючее. В Швеции, например, на побережье Балтийского моря находится атомный центр Стадсвиг. В течение нескольких лет радиоактивные отходы (низкого уровня) этого центра сливаются в залив Тверн. Эти сливы находятся под постоянным наблюдением, которое проводится с целью не допустить высокие локальные концентрации. В результате проведенных исследований [1] установлено, что водообмен в системе залив Тверн — Балтийское море обеспечивает необходимое разбавление радиоактивных отходов, это считается основанием для продолжения слива.

Таким образом, наряду с действующим источником радиоактивного загрязнения — глобальными атмосферными осадками — в Балтийском море появились источники радиоактивного загрязнения за счет промышленных отходов.

Учитывая особенности гидрологических условий Балтийского моря, к использованию его вод в целях удаления радиоактивных отходов следует подходить с большой осторожностью. Необходимо постоянное наблюдение за изменением уровня радиоактивного загрязнения, особенно за содержанием нуклидов с большим периодом полураспада.

В настоящей работе приведены результаты радиохимического определения концентраций  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  в ряде районов Балтийского моря. Пробы воды были отобраны при втором рейсе научно-исследовательского судна «Академик Вернадский», вышедшего из Ленинграда.

\* По материалам второго рейса научно-исследовательского судна «Академик Вернадский».

Ввиду отсутствия на балтийском участке рейса дрейфовых и буйковых станций глубинные пробы не отбирались.

Намеченные районы отбора проб позволяют проследить уровень радиоактивного загрязнения поверхностных слоев Балтийского моря на достаточно большом протяжении (Финский залив, восточная и южная части Балтийского моря). По маршруту рейса непосредственно в Балтийском море было отобрано шесть проб воды (по 200 л каждая), в Финском заливе — две пробы. На рис. 1 представлены пункты отбора проб в период с 10 по 16 февраля 1970 г. Пробы воды концентрировались по известной методике [2]. В связи с низкой соленостью воды Балтийского моря при концентрировании хлористый аммоний в пробу не добавлялся. В пробах воды Балтийского моря определялось содержание  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  (количество  $\text{Cs}^{144}$  во всех пробах оказалось ниже предела чувствительности метода). Результаты определения  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  приведены в табл. 1. Пробы 1 и 2 были отобраны в центральной части Финского залива (район б. Гогланд). Средний уровень содержания в этих пробах  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  составлял 2 и 1,9  $\text{расп/мин} \cdot \text{л}$  соответственно. По мере приближения к Датским проливам концентрация  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  несколько снижалась, однако содержание этих изотопов оставалось выше 1 и 1,5  $\text{расп/мин} \cdot \text{л}$  соответственно.

Отношение концентраций  $\text{Cs}^{137}$  и  $\text{Sr}^{90}$  в Финском заливе было равно приблизительно единице, в водах Балтийского моря это соотношение несколько выше. По-видимому, в водах Финского залива, где наиболее низкая соленость и малые глубины, в большей степени сказывается сорбция цезия илами и донными отложениями. Поведение  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  в водах Финского залива, вероятно, сходно с поведением этих изотопов в речных и озерных водах.

Для сравнения были взяты и проанализированы пробы воды в Атлантическом океане. В табл. 2 приведены результаты измерений концентрации  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  в пробах поверхностной воды, отобранных в центральной Атлантике на широте Балтийского моря в тот же период времени. Средняя концентрация  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  была одинаковой, равной 0,23  $\text{расп/мин} \cdot \text{л}$ . Сравнение этих величин с концентрациями  $\text{Sr}^{90}$  и  $\text{Cs}^{137}$  в Балтийском море показало, что в 1970 г. степень загрязнения вод Балтийского



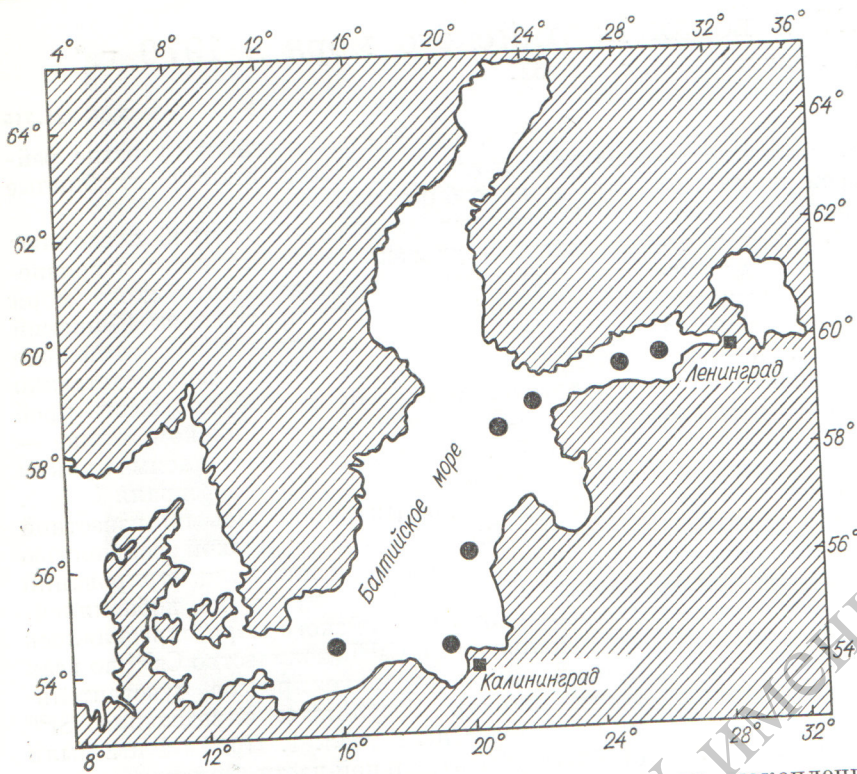


Рис. 1. Пункты отбора проб воды в Балтийском море.

моря этими изотопами более чем в шесть раз превышает загрязнение вод Атлантического океана.

На рис. 2 показано распределение  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$  в поверхностных водах Балтийского моря и Атлантического океана в диапазоне  $53-60^\circ$  с. ш. Различная загрязненность Балтийского моря и Атлантического океана не является

неожиданной. Это объясняется тем, что Балтийское море — в значительной степени замкнутый бассейн, связь которого с океаном весьма затруднена, а средняя глубина его менее 100 м.

Водосодержание Балтийского моря в основном зависит от речных вод и атмосферных осадков. Солевой баланс определяется притоком вод Северного моря. В этих условиях глобальные радиоактивные загрязнения, связанные с атмосферными выпадениями и речными водами, разбавляются в значительно меньшей степени, чем в океане.

Чтобы проследить, какое содержание  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$  можно было бы ожидать в водах Балтийского моря, исходя только из величины радиоактивного выпадения, нами были использованы данные по накоплению  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$  на земной поверхности в районе Ленинграда [3]. Правомочность использования данных, относящихся к суше, для водной поверхности долгое время оставалась недоказанной. Однако длительные наблюдения в Атлантическом океане и на суше (на одинаковой широте) не выявили заметной разницы в величине атмосферного выпадения активности [4].

По данным работы [3], накопление  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$

Содержание  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$  в водах Балтийского моря в феврале 1970 г. \*

Таблица 1

Номер пробы	Дата отбора пробы	Место отбора пробы	Координаты места отбора пробы		Содержание, расп./мин · 100 л		Отношение $Cs^{137}/Sr^{90}$
			северная широта	восточная долгота	$Sr^{90}$	$Cs^{137}$	
1	10	Финский залив	$60^\circ$	$27^\circ 45'$	$210 \pm 32$	$195 \pm 33$	0,9
2	10	То же	$60^\circ 00'$	$26^\circ 16'$	$200 \pm 28$	$193 \pm 25$	1,0
3	11	Балтийское море	$59^\circ 35'$	$23^\circ 06'$	$175 \pm 25$	$181 \pm 22$	1,0
4	11	То же	$59^\circ 03'$	$21^\circ 40'$	$153 \pm 22$	$193 \pm 22$	1,3
5	11	» »	$56^\circ 54'$	$20^\circ 28'$	$169 \pm 24$	$192 \pm 19$	1,1
6	12	» »	$54^\circ 57'$	$19^\circ 35'$	$178 \pm 25$	$181 \pm 17$	1,0
7	16	» »	$54^\circ 58'$	$15^\circ 51'$	$115 \pm 17$	$165 \pm 22$	1,4
8	16	» »	$54^\circ 58'$	$15^\circ 51'$	$123 \pm 18$	—	—

\* Горизонт отбора пробы равен нулю.



Содержание  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$  в водах Атлантического океана в 1970 г. \*

Таблица 2

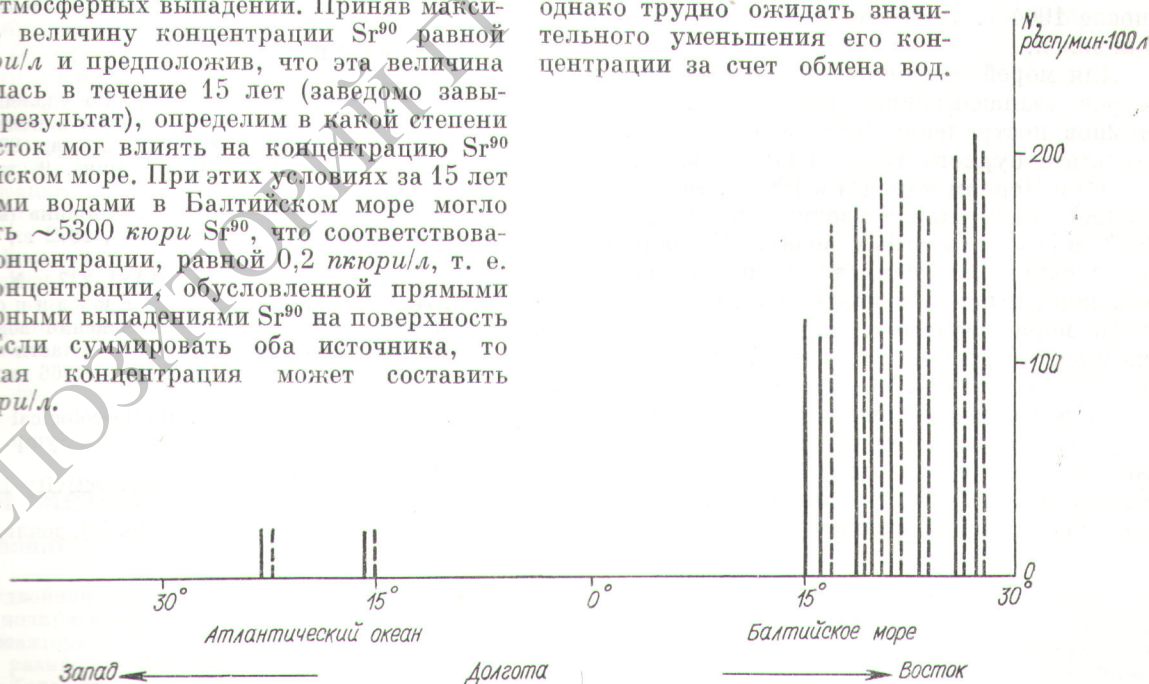
Номер пробы	Номер станции	Дата отбора пробы	Координаты места отбора пробы		Глубина места отбора пробы, м	Содержание, расп/мин · 100 л		Отношение $Cs^{137}/Sr^{90}$
			северная широта	западная долгота		$Sr^{90}$	$Cs^{137}$	
37	43	2 марта	55°43'	16°36'	423	22±4	22±8	1,0
39	44	4 марта	53°48'	23°40'	3795	24±4	23±8	1,0

\* Горизонт отбора пробы равен нулю.

на земной поверхности в районе Ленинграда в конце 1969 г. с учетом радиоактивного распада составило соответственно 42 и 82  $мкюри/км^2$ . Если принять среднюю глубину Балтийского моря равной 55 м, то концентрация  $Sr^{90}$  и  $Cs^{137}$ , поступивших только за счет атмосферных выпадений непосредственно на поверхность моря, составила бы 0,8 и 1,5  $пкюри/л$  соответственно.

Реки, впадающие в Балтийское море, ежегодно приносят ~450  $км^3$  воды, при этом ~1/5 общего стока дает Нева. По данным работы [5], в 1962 г. содержание  $Sr^{90}$  в водах Невы составило 0,4  $пкюри/л$ , в 1964 г. — 0,7  $пкюри/л$ . Эти годы отличаются наиболее высокой радиоактивностью атмосферных выпадений. Приняв максимальную величину концентрации  $Sr^{90}$  равной 0,7  $пкюри/л$  и предположив, что эта величина сохранялась в течение 15 лет (заведомо завышенный результат), определим в какой степени речной сток мог влиять на концентрацию  $Sr^{90}$  в Балтийском море. При этих условиях за 15 лет с речными водами в Балтийском море могло поступить ~5300  $кюри Sr^{90}$ , что соответствовало бы концентрации, равной 0,2  $пкюри/л$ , т. е. ~1/4 концентрации, обусловленной прямыми атмосферными выпадениями  $Sr^{90}$  на поверхность моря. Если суммировать оба источника, то ожидаемая концентрация может составить ~1  $пкюри/л$ .

Концентрация  $Sr^{90}$  в водах Балтийского моря, определенная в 1970 г. экспериментально (0,7  $пкюри/л$ ), весьма близка к полученной на основании расчетов поступления  $Sr^{90}$  без учета обмена вод, сорбции, а также биологических и других процессов, происходящих в море. Принимая во внимание ориентировочный характер оценки, выполненной на крайне ограниченном экспериментальном материале, не следует делать вывод об устойчивой концентрации  $Sr^{90}$  в Балтийском море, сложившейся как результат накопления  $Sr^{90}$  за счет глобальных радиоактивных выпадений. При снижении темпа радиоактивных выпадений концентрация этого изотопа будет снижаться, однако трудно ожидать значительного уменьшения его концентрации за счет обмена вод.

Рис. 2. Содержание  $Sr^{90}$  (—) и  $Cs^{137}$  (---) в водах Балтийского моря и Атлантического океана.



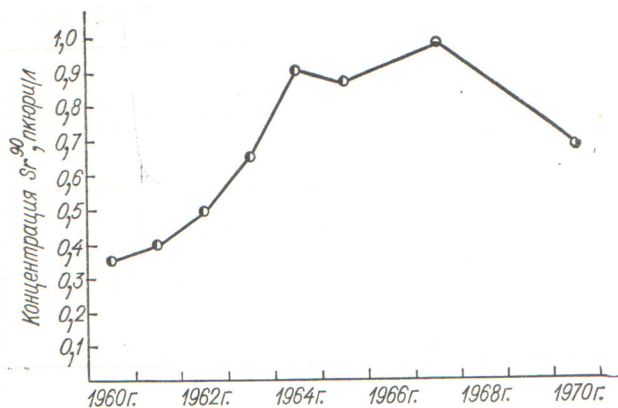


Рис. 3. Изменение содержания Sr<sup>90</sup> в водах Балтийского моря с 1960 по 1970 г., включая данные работ [6, 7].

В этой связи представляют интерес изменения концентрации Sr<sup>90</sup> в водах Балтийского моря за последние 10 лет. На рис. 3 показано изменение концентрации Sr<sup>90</sup> за период с 1960 по 1970 г. Из рис. 3 следует, что максимальный уровень загрязнения вод Балтийского моря Sr<sup>90</sup> наблюдался в 1964—1967 гг., что являлось результатом высокого темпа глобальных радиоактивных выпадений в 1962—1963 гг. Характерно, что даже в 1967 г. концентрация Sr<sup>90</sup> в морской воде продолжала оставаться высокой, хотя после 1964 г. темп его выпадения значительно снизился.

Для морей подобного типа характерно некоторое «запаздывание» реакции на снижение темпов поступления Sr<sup>90</sup> из атмосферы. В результате бурного темпа радиоактивных выпадений в Черном море [8] в 1963 г. также наблюдалось значительное увеличение концентрации Sr<sup>90</sup> в поверхностных водах. В дальнейшем в условиях снижения темпа поступления Sr<sup>90</sup> его концентрация в поверхностных водах Черного моря некоторое время еще сохранялась на высоком уровне и только значительно позже начала снижаться. Водная масса Балтийского моря в 16 раз меньше водной массы равного ему по площади Черного моря, а следовательно, значительно меньше и возможность разбавления вод. Более длительное сохранение высокого уровня радиоактивного загрязнения

вод Балтийского моря, по-видимому, можно считать закономерным.

Таким образом, из результатов определения концентрации Sr<sup>90</sup> в водах Балтийского моря в 1960—1970 гг. (см. рис. 3) следует, что содержание этого изотопа варьировало в соответствии с изменением поступления Sr<sup>90</sup> из атмосферы. Следовательно, в прошедшем десятилетии определяющим фактором загрязнения Балтийского моря можно считать темп глобального радиоактивного выпадения.

Данные, полученные в 1970 г., вскрыли тенденцию к снижению содержания Sr<sup>90</sup> и Cs<sup>137</sup> в водах Балтийского моря. Однако концентрация упомянутых нуклидов еще достаточно высокая и значительно превышает уровень их содержания в водах Атлантического океана, и в том и в другом случае этот уровень определяется глобальным радиоактивным загрязнением.

В условиях развития ядерной энергетики следует особенно тщательно следить за состоянием радиоактивной загрязненности Балтийского моря. Учитывая, что проведенные наблюдения проводились лишь в отдельных пунктах акватории, необходимо значительно расширить объем исследований радиоактивного загрязнения Балтийского моря, в том числе исследований радиоактивности глубинных вод и донных отложений.

Поступила в Редакцию 22/V 1972 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. C. S y l l a n d e r. Симпозиум по удалению радиоактивных отходов в моря, океаны и поверхностные воды. Вена, МАГАТЭ, 1966, доклад 09/SM-72/12.
2. Л. М. Иванова. «Радиохимия», 9, вып. 5, 622 (1967).
3. Радиевый институт им. В. Г. Хлопина (к 50-летию со дня основания). Л., «Наука», 1972 г., стр. 228—236.
4. Н. Volchok. USAEC HASL-237, N.Y., 1970.
5. Л. И. Геденов, Е. П. Анкудинов. Исследование радиоактивного загрязнения воды некоторых водоемов Ленинградской области и северо-западного бассейна СССР в 1961—1966 гг. М., Атомиздат, 1967.
6. A. S a l o, A. V o i p i o. Radioecological Concentration Processes. Proc. International Symp., Stockholm (April 1967).
7. Studies on Environmental Radioactivity in Finland, 1967. Report SFL-A12, 1968.
8. В. М. Вдовенко и др. См. [1], доклад SM72/24.