

ных погодных условий; для продолжительности выброса ~ 6 ч ширина сектора, в котором изменяются направления ветра, осредненные за 2—3 мин, принята равной 30° . Как отмечено в работе [18], определенные таким образом значения $C_{\text{инт}}$ в 12 раз больше значений средневзвешенных $C_{\text{год}}$, рассчитанных упомянутым методом. Следовательно, если при переходе от концентрации, осредненной за 6 ч, к мгновенной учесть зависимость (4), отношение $C_{\text{мгн}}/C_{\text{год}}$ составляет 32.

Таким образом, на основании всех имеющихся данных об экспериментальных значениях отношение $C_{\text{мгн}}$ при условиях стратификации приземного слоя атмосферы, близких к равновесным, к $C_{\text{год}}$ для случая круговой розы ветров (в диапазоне расстояний от 1 до 10 км и для $H = 100$ м) составляет 24—40. Расчетное значение этого отношения по данным различных авторов равно 14—50. Такое различие может быть объяснено частичным несопадением значений метеорологических параметров, приписываемых разными авторами понятию «стратификация, близкая к равновесной», а также несколько различным характером формирования годовой средневзвешенной стратификации в районах наблюдения. Следует также учесть, что на значение среднегодового коэффициента разбавления могут влиять в некоторой мере и такие метеорологические явления, как осадки и туманы, а также приподнятые инверсии. При расчетах среднегодового коэффициента разбавления эти явления не учитывали, а практический опыт указывает на сравнительно малое их влияние. Различны также методы определения средней приземной концентрации.

При решении практических задач, связанных с установлением предельно допустимого выброса

радионуклидов в атмосферу, целесообразно использовать коэффициент перехода от расчетной разовой концентрации к прогнозируемой среднегодовой концентрации для круговой розы ветров (в диапазоне расстояния от 1 до 10 км), равный $1/13$; при других периодах осреднения следует использовать зависимость (5), учитывающую вытянутость розы ветров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сэттон О. Г. Микрометеорология. Л., Гидрометеоздат, 1958.
2. Лайхтман Д. Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л., Гидрометеоздат, 1961.
3. Pasquill F. Atmospheric Diffusion. London, Perg. Press, 1962.
4. Берлянд М. Е. и др. — В кн.: Труды Главной геофизической обсерватории. Л., Гидрометеоздат, 1964, вып. 158, с. 3.
5. Лайхтман Д. Л., Каплан С. Н. — Вопросы турбулентной диффузии в приземном слое атмосферы, 1963, вып. 15, с. 18.
6. Bryant P. Rept. ANSB (RP), R42, UKAEA, 1964.
7. Гусев Н. Г. и др. Защита от ионизирующих излучений. М., Атомиздат, 1969.
8. Лайхтман Д. Л. — [5], с. 34.
9. Beattie J. Rept. ANSB(S), R9, UKAEA, 1961.
10. Детри Ж. Атмосфера должна быть чистой. М., Прогресс, 1973.
11. Чемберлен А. К. — В кн.: Отходы атомной промышленности. М., Атомиздат, 1963, с. 341.
12. Артемова Н. Е. — В кн.: Закономерности рассеяния аэрозольных частиц в атмосфере. Труды Ин-та прикладной геофизики. М., Гидрометеоздат, 1967, вып. 4, с. 65.
13. Stewart N. — Intern. J. of Air Poll., 1958, v. 1, p. 14.
14. Wipperman F. — Intern. J. of Air and Water Poll., 1961, v. 4, N 1/2, p. 86.
15. Nonhebel G. — J. Inst. Fuel., 1960, v. 33, N 237, p. 233.
16. Осипов Ю. С. — В кн.: Труды Ин-та экспериментальной метеорологии. М., Гидрометеоздат, 1972, вып. 27, с. 17.
17. Грачева В. П., Ложкина В. П. — [4], с. 41.
18. Beattie J., Bryant P. Rept. ANSB(S) R135, UKAEA, 1970.

Поступила в Редакцию 28.11.80

УДК 551.464.679

Концентрация ^{137}Cs и ^{90}Sr летом — осенью 1979 г. в Балтийском море и проливе Скагеррак

СТЫРО Д. Б., КАДЖЕНЕ Г. И., ЛУКИНСКЕНЕ М. В., НЕМАНИС А. П.

Регулярные наблюдения за состоянием радиоактивной загрязненности вод Балтийского моря [1—6] позволяют контролировать колебания концентрации ряда радионуклидов, а также использовать значения концентрации как индикатор распространения водных масс. В последнее время отмечается снижение абсолютных значений концентрации радионуклидов. Эти значения зависят от таких факторов, как сезонный ход, сток вод суши, циклоническая деятельность и т. д. Не исключена возможность попадания радионуклидов в Балтийское море со сбросами ядерных установок, расположенных близ его побережья, а также

из Северного моря, в котором сравнительно высокая концентрация ^{137}Cs [7—9]. Поэтому данные о содержании этого радионуклида в водах Северного моря, а также в проливе Скагеррак, соединяющем его с Балтийским морем, могут служить индикатором распространения радиоактивных примесей.

Концентрацию ^{137}Cs и ^{90}Sr измеряли по методике, описанной в работе [5]; максимальная погрешность определения удельной активности ^{137}Cs не превышала 25%, ^{90}Sr — 15%. С 17 августа по 13 октября 1979 г. во время рейсов судна «Океанограф» измеряли концентрацию этих радионуклидов трижды

Таблица 1

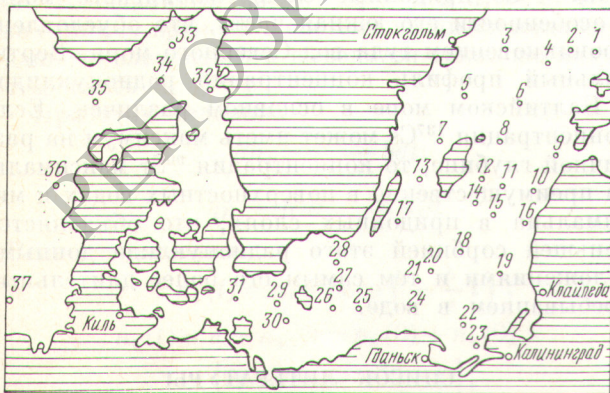
Осредненные значения концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr во время четырех рейсов, Бк/м³

Глубина, м	I		II	III	IV
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{137}Cs	^{137}Cs
0	20	26	18	95	17
20—50	19	22	17	91	—
> 50	22	17	—	—	—

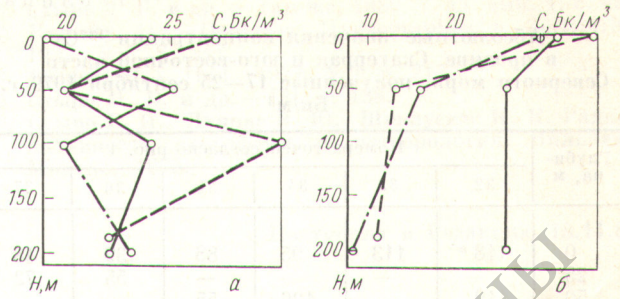
в Балтийском море и один раз в проливе Скагеррак и юго-восточной части Северного моря: рейс I — 17—25 августа, II — 4—12 сентября, III — 17—25 сентября (пролив Скагеррак — Северное море), IV — 4—13 октября (рис. 1 и табл. 1).

Из табл. 1 следует, что средняя концентрация ^{137}Cs в поверхностных водах постепенно уменьшается от августа к октябрю. Ее осредненные значения оказались более высокими в придонном слое Балтийского моря. Средняя концентрация ^{90}Sr постепенно уменьшается по абсолютной величине от поверхности до дна. Однако отношение осредненной концентрации радионуклидов $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ в Балтийском море возрастает с увеличением глубины; в частности, по данным рейса I от 0,77 до 1,3. Это свидетельствует о накоплении ^{137}Cs в придонных слоях. Особо высокие значения средней концентрации получены в проливе Скагеррак и юго-восточной части Северного моря как в поверхностном слое, так и на глубине 25—50 м. Следовательно, при поступлении вод из Скагеррака концентрация ^{137}Cs в Балтийском море должна возрасти.

Рассмотрим более подробно наиболее характерные места исследуемых бассейнов. Во время рейса I наблюдалась сравнительно большая разли-



Р и с. 1. Места отбора проб воды в Балтийском море, проливе Скагеррак и юго-восточной части Северного моря



Р и с. 2. Вертикальное распределение концентрации ^{137}Cs (а) и ^{90}Sr (б) в Балтийском море летом 1979 г.: — — — точка 11 (17 августа), - - - - - точка 8 (17 августа); - · - · - точка 5 (19 августа)

ца между максимальным и минимальным абсолютными значениями концентрации радионуклидов на различной глубине в водах Балтийского моря (табл. 2). Видно, что наибольшая экстремальная разница приходится на концентрацию ^{137}Cs в придонных слоях.

Вертикальное распределение концентрации радионуклидов оказалось различным как по абсолютной величине, так и по ходу кривых в разных точках. Детально рассмотрим вертикальный профиль концентрации ^{137}Cs в наиболее глубоких точках Балтийского моря (рис. 2, а). Для точек 11 и 8 концентрация максимальна на глубине 100 м, для точки 5 — на глубине 50 м. Примерно одинаковыми оказались концентрации этого радионуклида в придонных слоях. Концентрация ^{90}Sr в зависимости от глубины существенно изменяется: максимальные значения приходятся на поверхностные воды и уменьшаются с ростом глубины (см. рис. 2, б), что свидетельствует о его более длительном пребывании в воде, чем ^{137}Cs .

Концентрация ^{90}Sr измерялась лишь во время рейса I. Экстремальные отношения концентрации $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ составили в поверхностных водах 0,56

Таблица 2

Максимальные и минимальные значения концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr , Бк/м³, полученные во время рейсов по Балтийскому морю

Глубина, м	I		II	IV
	^{137}Cs	^{90}Sr	^{137}Cs	^{137}Cs
0	30 (2, 27) *	36 (8)	24 (12, 27, 28)	22 (6, 19, 22)
20—50	9 (24)	13 (21, 22)	10 (6)	8 (10, 20)
> 50	25 (5)	35 (21)	26 (49)	—
	10 (7)	13 (8)	8 (20)	—
	32 (21)	26 (11)	—	—
	7 (7)	8 (5)	—	—

* В скобках указаны точки согласно рис. 1, в которых получены эти результаты.

Таблица 3

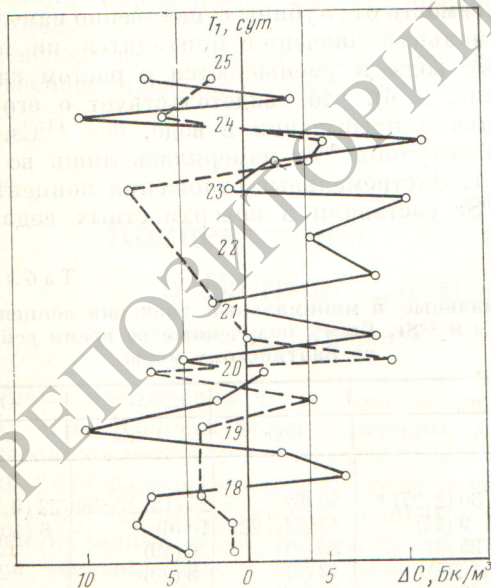
Абсолютные значения концентрации ^{137}Cs в проливе Скагеррак и юго-восточной части Северного моря, полученные 17—25 сентября 1979 г., Бк/м³

Глубина, м	Номера точек согласно рис. 1					
	32	33	34	35	36	37
0	118 *	113	95	88	39	48
25	—	—	—	—	55	72
50	119	—	126	55	—	—

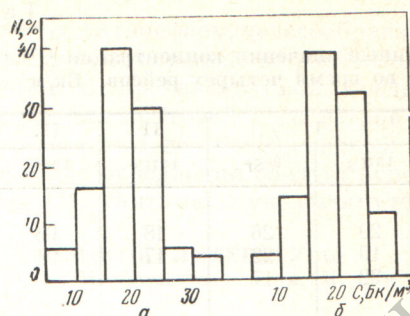
* Среднее значение из трех измерений.

и 2,1, на глубине 20—50 м — 0,43 и 1,6, глубже 50 м — 0,85 и 2,9. Существенна вариация концентрации ^{137}Cs как в поверхностных водах, так и на глубине 50 м. Во многих случаях значения концентрации значительно превосходят максимально возможные погрешности эксперимента (рис. 3). Отклонения от средних значений концентрации ^{137}Cs во время рейсов II и IV оказались несколько меньшими. Наиболее вероятный интервал концентрации ^{137}Cs как в поверхностных водах, так и на глубине 25—50 м во время трех рейсов по Балтийскому морю составляет 15—20 Бк/м³ (рис. 4).

В проливе Скагеррак концентрация ^{137}Cs значительно превосходит его абсолютные значения



Р и с. 3. Отклонения концентрации ^{137}Cs от средних значений в зависимости от времени в августе 1979 г.: — — для поверхностных вод; - - - для глубины 20—50 м. Вертикальными прямыми обозначены максимально возможные погрешности эксперимента при среднем значении 20 Бк/м³



Р и с. 4. Относительная повторяемость результатов измерений концентрации ^{137}Cs в поверхностных водах (а) и на глубине 20—50 м (б)

в водах Балтийского моря (см. табл. 1). Более высокая концентрация в акватории пролива (табл. 3). Максимальная концентрация составляет 126 Бк/м³, это значение получено на глубине 50 м в точке 34 (см. рис. 1). Концентрация ^{137}Cs в водах Северного моря была меньше концентрации для пролива, концентрация на глубине превосходила концентрацию поверхностных вод. Так как измерения проводили в сравнительной близости от берега, уменьшение абсолютных значений в поверхностных водах, по-видимому, объясняется их опреснением водами суши и обильными осадками, о чем свидетельствуют пониженные значения солёности в этих местах (32,84% в точке 36 и 33,49% в точке 37). Однако абсолютные значения концентрации ^{137}Cs оказались более высокими, чем в 1975—1976 гг. [8, 9].

Из полученных результатов следует, что средняя концентрация ^{137}Cs уменьшается при переходе от лета к осени; это по-видимому, связано с существованием годового хода содержания радионуклидов [10]. Отмечается более высокая концентрация в проливе Скагеррак и юго-восточной части Северного моря, куда, видимо, попадают радиоактивные сбросы ядерных установок [7]. Наиболее загрязнены ^{137}Cs придонные слои Балтийского моря, в особенности его южная часть, что обусловлено проникновением туда вод Северного моря. Вертикальный профиль концентрации радионуклидов в Балтийском море в основном различен. Если концентрация ^{137}Cs может иметь максимум на различной глубине, то концентрация ^{90}Sr преимущественно в поверхностных водах и минимальна в придонных слоях, что объясняется меньшей сорбцией этого радионуклида донными отложениями и тем самым его более длительным пребыванием в воде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даргене Н. П., Лукинскене М. В., Стыро Д. Б. — В кн.: Физические аспекты загрязнения атмосферы. Вильнюс, Мокслас, 1976, с. 241.

2. Айваржи М. В. и др. — В кн.: Радиоактивность атмосферы и гидросферы. Радиоактивные трассеры. Вильнюс, Мокслас, 1977, с. 201.
3. Стыро Д. Б. и др. — В кн.: Химические и радиоактивные загрязнения атмосферы и гидросферы. Вильнюс, Мокслас, 1978, с. 131.
4. Стыро Д. Б. и др. — В кн.: Радиоактивные трассеры в исследовании атмосферы и гидросферы. Вильнюс, Мокслас, 1979, с. 159.
5. Стыро Д. Б. и др. — Атомная энергия, 1978, т. 45, вып. 3, с. 201.
6. Стыро Д. Б. и др. — Там же, 1980, т. 49, вып. 1, с. 43.
7. Kautsky H. — Deutsche Hydrographische Zeitschrift, 1973, N 6, S. 241.
8. Kautsky H. — Ibid., 1977, N 7, p. 217.
9. Стыро Л. Б. и др. — [3], с. 138.
10. Стыро Б. И., Луянас В. Ю., Шопаускас К. К. Радиоактивность атмосферы и метеорология. Вильнюс, Минтис, 1975.

Поступила в Редакцию 18.11.80

УДК 612.015.3

Метод расчета периода полувыведения ^{137}Cs и ^{90}Sr на основе метаболизма К и Са

САВО А. Ш. (Институт по контролю пищевых продуктов, Дьёр, ВНР)

Среди радионуклидов, загрязняющих биосферу и имеющих сравнительно большой период полураспада, самыми распространенными являются ^{137}Cs и ^{90}Sr . В настоящей работе предложен метод расчета периода полувыведения этих радионуклидов для человека, основанный на подобии метаболических свойств калия с цезием и кальция со стронцием. Щелочноземельный металл стронций по химическим свойствам очень близок к кальцию, оба в основном накапливаются в костях. Цезий, как и калий, относится к группе щелочных металлов, и эти металлы в основном содержатся в мышечных тканях. Таким образом, кальций является стабильным носителем ^{90}Sr , а калий — носителем ^{137}Cs .

Расчет периода полувыведения. Предположим, что a — общее количество рассматриваемого элемента (К, Са, Cs, Sr) в организме — постоянно. Если $n_1(t)$ — первоначальное количество данного элемента в системе, а $n_2(t)$ — его количество, попавшее из пищи в систему к определенному моменту времени t (сут), то сумма $n_1 + n_2$ постоянна. В начальный момент $n_2 = 0$ и $n_1 = a$. Пусть за единицу времени в систему вводится количество данного элемента b и выводится такое же количество смеси $n_1 + n_2$.

При этих условиях

$$dn_1 = -\frac{n_1}{a} b dt;$$

$$dn_2 = b dt - \frac{n_2}{a} b dt.$$

Решая уравнения

$$n_1(t) = n_1(0) \exp\left(-\frac{b}{a} t\right);$$

$$n_2(t) = a - n_1(t) = n_2(0) + n_1(0) \times \left[1 - \exp\left(-\frac{b}{a} t\right)\right],$$

рассчитываем период полувыведения $t_{1/2} = (a/b) \ln 2$, который зависит не от абсолютных значений a и b , а только от их отношения.

Определение периода полувыведения ^{137}Cs . По опубликованным данным содержание калия в человеческом организме равно 1,5—2,3 г/кг массы для мужчин и 1,3—1,8 г/кг массы для женщин [1, 2], ежедневная потребность в этом элементе для взрослых людей в среднем составляет 1,0—1,5 г [3, 4]. Обычно количество калия, попадающего в человеческий организм с пищей (например 1,2—4,1 г [5], ~5 г [3], 2,0 г [6]), превышает потребность организма приблизительно в 2 раза. Это избыточное количество калия организмом не усваивается и не влияет на период полувыведения.

Если для условного человека принять $a = 140$ г, $b = 1,2$ г калия, то период полувыведения этого радионуклида составит 80,9 сут.

Уменьшение первоначального количества калия в организме выражается соотношением $y = 140 \exp(-0,00857t)$.

Количество калия в организме и ежедневная потребность в нем в зависимости от пола, массы и возраста человека могут колебаться в довольно большом интервале (табл. 1).

Количество цезия в организме в среднем составляет ~1,5 мг [7], а с пищей ежедневно поступает 0,02—0,03 мг [8]. Предположив, что, как и для калия, только половина цезия, попадающего в организм, действительно участвует в метаболизме, находим, что ежедневно накапливается ~0,01—0,015 мг цезия. Если принять среднее значение 0,012 мг, то период полувыведения цезия равен 86,6 сут. Отметим, что по опубликованным данным [9—12] период полувыведения ^{137}Cs для человека в среднем составляет 64—115 сут (табл. 2). Обмен веществ у мелких животных намного быстрее, поэтому период полувыведения у них может быть значительно меньшим: у крыс, например, ~23 сут [13].

Определение периода полувыведения ^{90}Sr . Основная часть стронция и кальция находится в костных тканях. Скорость обмена этих элементов значитель-