

В. В. ТОЛКАЧ, В. В. ГРОМОВ, академик В. И. СПИЦЫН

### ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ КРИЛЕМ

В настоящее время большое внимание уделяется освоению сырьевых ресурсов южной зоны Мирового океана. В этом направлении проводятся широкие исследования промысловых животных в тихоокеанском секторе Антарктики, основное место среди которых занимает антарктический криль (*Euphausia superba* Dana). Это связано с тем, что он является перспективным источником животного белка и содержит в себе ценные аминокислоты. Запасы криля в Антарктике оцениваются в сотни миллионов тонн (1).

Распределен криль в водах Антарктики довольно неравномерно, образуя скопления в виде полей и пятен в южной части района в зоне антарктической дивергенции. Обитает преимущественно в поверхностном 100-метровом слое при температуре воды, близкой к  $0^\circ$ , находясь в том или ином районе в зависимости от течений и распределения основной его пищи — фитопланктона. От других ракообразных планктонных организмов криль отличается тем, что всю свою жизнь проводит в толще воды. Продолжительность жизни криля 2—3 года. За год криль вырастает до 3 см, а к 2 годам длина его тела составляет 5—6 см. Питается криль массовыми видами фитопланктона, а при отсутствии их переходит на детрит и зоопланктон, используя два способа питания — фильтрацию и захват (2). Являясь фильтратом, криль пропускает через свой фильтрующий аппарат «корзинку» значительное количество морской воды, что может способствовать накоплению в нем радиоэлементов искусственного происхождения, попадающих в воду в виде радиоактивных осадков (3, 4). Хотя район промысла криля находится на наибольшем удалении от загрязненных акваторий, результаты работы (5) показывают, что он содержал  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ — $^{95}\text{Nb}$  и  $^{106}\text{Ru}$  в количествах до 20 пС на 1 кг сырого веса. Поэтому целесообразно провести исследование процессов усвоения крилем продуктов деления из морской воды. Именно эта задача решалась в данной работе для условий, близких к естественным, на примере поглощения и выведения цезия-137 крилем, отобранным в районах к северу от моря Росса в январе — марте 1973 года.

Методика экспериментов состояла в следующем. Из криля, пойманного в поверхностном слое, отбирались неповрежденные особи разных размеров и переносились в колбы, содержащие 3 л морской воды с радиоактивным цезием ( $^{137}\text{Cs}$ ). Вода, использованная в экспериментах, отбиралась в местах отлова криля и всегда предварительно фильтровалась через фильтр с порами 0,3—0,5 мкм, т. е. из воды удалялся фитопланктон, а поглощение  $^{137}\text{Cs}$  могло осуществляться только за счет фильтрующей способности криля. Радиоактивный цезий прибавлялся к воде в форме  $\text{CsCl}$  без носителя, начальная концентрация  $^{137}\text{Cs}$  составляла 1 мкС/л. Использование  $^{137}\text{Cs}$  в виде соединения  $\text{CsCl}$  способствовало практически мгновенному наступлению равновесия физико-химических форм  $^{137}\text{Cs}$  и стабильных изотопов цезия, уже имеющих в морской воде (4). Поглощение  $^{137}\text{Cs}$  крилем определялось по изменению радиоактивности воды, все радиометрические измерения были относительными. Опыты проводились при естественном освещении и в зачерпанных колбах (т. е. в условиях пониженной жизнедеятельности криля) на открытом воздухе. Температура воды в колбах под-

держивалась равной забортной (около 0°) благодаря циркуляции забортной воды через бассейн, в который были помещены колбы. Количество криля в колбах изменялось от 8,6 до 30,9 г/л. Отбираемые из колб для анализа пробы воды предварительно центрифугировались.

После прекращения усвоения, когда наступало стационарное состояние, криль споласкивался морской фильтрованной водой на сетке (газ № 38) и живой переносился в колбы с 1 л морской фильтрованной нерадиоактивной воды. По появлению и изменению радиоактивности в жидкой

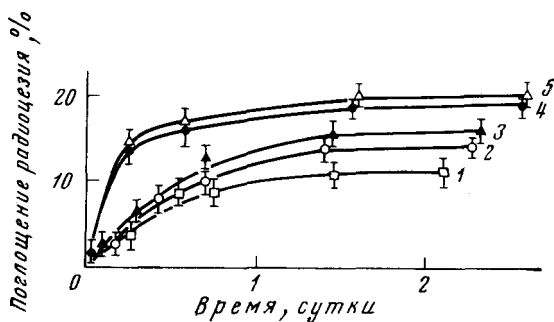


Рис. 1. Поглощение  $^{137}\text{Cs}$  крилем. 1 — размер 45–60 мм, IV–VI стадии, 25,8 г/л, на свету; 2 — 40–50 мм, IV–VI стадии, 22,3 г/л, в темноте; 3 — 42–58 мм, IV–VI стадии, 27,4 г/л, в темноте; 4 — 24–33 мм, II стадия, 11,9 г/л, на свету; 5 — 23–32 мм, II стадия, 12,1 г/л, в темноте

фазе оценивалось выведение  $^{137}\text{Cs}$  из криля. После прекращения выведения  $^{137}\text{Cs}$ , т. е. после наступления стационарного состояния, пробы криля озонировались и захват крилем  $^{137}\text{Cs}$  контролировался также и по озоненным пробам. Взвешивание криля (озоленного и живого) производилось на торсионных весах с точностью  $\pm 0,1$  мг. Величины радиоактивности как жидкой фазы, так и зола были относительными (6).

Как показали предварительные опыты, в данных условиях  $^{137}\text{Cs}$  практически не сорбировался стеклом колб, а также поверхностью криля, и стабилизация физико-химических форм цезия шла почти мгновенно (выдерживание воды с  $^{137}\text{Cs}$  1–3 недели до введения криля не влияло на ре-

Таблица 1

Коэффициенты накопления ( $K_n$ ) цезия-137 крилем

Координаты отлова криля	Описание криля (размер (мм), стадия зрелости)	На свету		В темноте	
		на вес озоленного криля	на сырой вес	на вес озоленного криля	на сырой вес
67° ю. ш. 165° в. д.	40–50 м, IV–VI	—	—	103 ± 10,5	2,94 ± 0,3
66° ю. ш. 161° в. д.	24–33, II	319 ± 7	9,12 ± 0,21	—	—
	23–32, II	—	—	329 ± 7	9,4 ± 0,21
67° ю. ш. 165° в. д.	42–58, IV–VI	—	—	97 ± 10,5	2,77 ± 0,3
	40–50, IV–VI	117 ± 10,5	3,34 ± 0,3	—	—
	45–60, IV–VI	93 ± 10,5	2,66 ± 0,3	—	—

зультаты экспериментов). Эксперименты были проведены с мелким крилем (размером до 30 мм, II стадии зрелости) и крупным (размером от 40 до 60 мм, IV–VI стадии зрелости).

На рис. 1 даны типичные кривые поглощения  $^{137}\text{Cs}$  крилем. Как видно из рисунка, независимо от возраста криля усвоение практически заканчивается в течение суток и уже после 1,5 суток устанавливается стационарное состояние. Опыты по усвоению длились в течение 6–8 суток. Величина поглощения рассчитывалась по выражению:

$$\text{Степень поглощения} = (1 - (A_0 - A_t) / A_0) \cdot 100, \quad (1)$$

где  $A_0$  и  $A_t$  — радиоактивность жидкой фазы в начале опыта и к моменту времени  $t$  соответственно. Как правило, в каждом опыте извлекалось из жидкой фазы около 15–20% активности от исходной. Независимо от цвета колб, светлой или темной, криль одинаково для каждой возрастной группы поглощал  $^{137}\text{Cs}$ . Кривые захвата  $^{137}\text{Cs}$  крупным крилем имеют более пологую форму, и сам процесс в целом идет медленнее, чем мелким. Коэффициенты накопления  $K_n$  ( $^{137}\text{Cs}$  мелким и крупным крилем также не одинаковы (см. табл. 1).

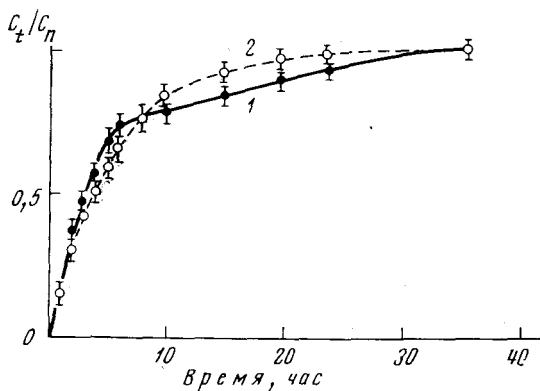


Рис. 2. Кинетика поглощения  $^{137}\text{Cs}$  крилем (мелкий криль, 24–33 м, II стадия 11,7 г/л, на свету). 1 — экспериментальные данные; 2 — расчеты, выполненные с помощью выражения (2) при значении  $K_e=1,65 \cdot 10^{-2}$  (г·час) $^{-1}$

Для описания кинетики поглощения  $^{137}\text{Cs}$  крилем была применена зависимость, предложенная в работе (8) для усвоения микроэлементов фитопланктоном,

$$C_t = C_n [1 - \exp(-K_e P t)], \quad (2)$$

где  $C_t$  и  $C_n$  — количество микроэлемента в фитопланктоне в момент времени  $t$  и в условиях стационарного состояния соответственно;  $K_e$  — постоянная;  $P$  — начальный вес планктона. Оказалось, что данная зависимость выполняется и в случае крупного зоопланктона (рис. 2).

Как показывают расчеты, корреляционное отношение между экспериментальной кривой и теоретической равно 0,96 ( $\eta=0,96$ ). Квадратическая ошибка корреляционного отношения  $m_\eta=0,09$ , средняя квадратическая ошибка около 7%, критерий Фишера  $F=121,8$ , критерий достоверности  $t_1=10$ . Следовательно, формула (2) удовлетворительно описывает фильтрационный захват радиоцезия также и крилем.

Константа  $K_e$  в данном случае имеет смысл удельной скорости усвоения радиоизотопа гидробионтом определенного типа и находится по экспериментальной кривой.

Формула (2) дает возможность оценить изменение содержания радионуклида в криле со временем и, зная  $K_e$ , находить время, необходимое для достижения стационарного состояния, когда криль насыщается  $^{137}\text{Cs}$  и перестает его усваивать.

Коэффициенты накопления  $^{137}\text{Cs}$  крилем, представленные в табл. 1, рассчитывались по горизонтальным участкам кривых поглощения рис. 1 (на сырой вес).

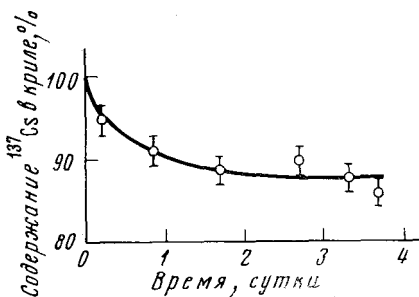


Рис. 3. Поступление цезия-137 из криля в морскую воду; размер 40–54 мм, IV–VI стадии, 22,8 г/л, в темноте

Средний коэффициент накопления ( $\bar{K}_n$ ) для мелкого криля 324 (на вес озоленного криля) и 9,26 (на сырой вес), для крупного криля 102,5 (на вес озоленного криля) и 2,93 (на сырой вес). Коэффициенты вариации накопления  $^{137}\text{Cs}$  в мелком криле 2,2%, в крупном 10%. Из табл. 1 видно, что у крупного криля (взрослые особи) коэффициенты накопления в 3 раза ниже значений  $K_n$  для мелкого криля (молодь — возраст 1 год). Это указывает на то, что захват  $^{137}\text{Cs}$  пропорционален не общей массе криля, а объему или массе органов питания. Кроме того, молодь криля поглощает  $^{137}\text{Cs}$  более активно, что видно по форме кривых поглощения. Нужно также отметить, что коэффициент поглощения  $^{137}\text{Cs}$  не зависит от района обитания криля.

Выведение  $^{137}\text{Cs}$  из живого криля в чистую воду показано на рис. 3. Как видно, выделение  $^{137}\text{Cs}$  из криля приостанавливается через 3 суток. Полного самоочищения криля от  $^{137}\text{Cs}$  не наступает. Всего выделяется только 10—15% первоначально поглощенного  $^{137}\text{Cs}$ . Вероятно, оставшийся  $^{137}\text{Cs}$  закрепляется на стенках желудка криля.

Необходимо заметить, что коэффициенты накопления, полученные в данной работе, невелики и являются, по-видимому, нижним пределом для криля, так как они определены в условиях фильтрации крилем чистой воды. Если криль будет питаться фитопланктоном, содержащим  $^{137}\text{Cs}$ , то значения  $K_n$  могут быть выше за счет аккумуляции радиоцезия в теле криля.

Институт физической химии  
Академии наук СССР  
Москва

Поступило  
23 IX 1974

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> Абураи Ясуи, Суйсанская, № 12, 10 (1972). <sup>2</sup> В. Я. Павлов, ДАН, т. 196, № 6 (1971). <sup>3</sup> С. Osterberg, Science, v. 138, № 3539, 529 (1962). <sup>4</sup> В. П. Шведов, С. А. Патин, Радиоактивность океанов и морей, М., 1968. <sup>5</sup> В. Н. Ткаченко, С. А. Патин, Океанология, т. 11, № 4, 705 (1971). <sup>6</sup> Руководство к практическим занятиям по радиохимии, под ред. А. Н. Несмеянова, 1968. <sup>7</sup> Г. Г. Поликарпов, Радиэкология морских организмов, М., 1964. <sup>8</sup> В. В. Громов, В. И. Спицын, ДАН, т. 215, № 2, 222 (1974).