

УДК 546.32/36:577.34:597.08

**В.В. Беляев, Е.Н. Волкова**

Институт гидробиологии НАН Украины, г. Киев

## РОЛЬ КОМПОНЕНТ ВЫВЕДЕНИЯ $^{137}\text{Cs}$ В ФОРМИРОВАНИИ РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ РЫБ В ПРИДОННЫХ УСЛОВИЯХ

При рассмотрении накопления и выведения радионуклидов водными организмами необходимо учитывать различные показатели, в том числе период биологического полувыведения ( $T$ ).

С осени 1986 года  $^{137}\text{Cs}$  является основным радионуклидом, формирующим повышенные уровни радионуклидного загрязнения ихтиофауны [2,4,6]. На основании экспериментальных исследований скорости выведения  $^{137}\text{Cs}$  из организма рыб [1,5] проанализирована роль компонент выведения этого нуклида в формировании загрязнения рыб  $^{137}\text{Cs}$  в природных условиях. В наиболее общем случае обмен этого радионуклида между организмом и средой можно описать уравнением:

$$dA_f/dt = V(t) - pA_f \quad (1)$$

где  $A_f$  — радиоактивность организма,

$V(t)$  — поступление (поток) радионуклида в организм за время  $dt$ ,

$p$  — скорость выведения радионуклида за счет радионуклидного распада и биологического выведения элемента из организма, для  $^{137}\text{Cs}$   $p = -\ln(2)/T$ .

Решение уравнения (1) с начальными условиями ( $t_0, A_0$ ) имеет вид:

$$A_f(t) = \exp(-F)(A_0 + \int V(t)\exp(F)dt) \quad (2)$$

(интегрирование от  $t_0$  к  $t$ )

где  $F(t) = \int p dt = p(t-t_0)$  [3]

Подставляя выражение  $F(t)$  в уравнение (2) получаем:

$$A_f(t) = \exp(-p(t-t_0))(A_0 + \int V(t)\exp(p(t-t_0))dt)$$

(интегрирование от  $t_0$  до  $t$ ).

Уравнение (3) относится только к одной из компонент выведения и в связи с тем, что выведение  $^{137}\text{Cs}$  из организма имеет многокомпонентный характер [1, 5], содержание радионуклида в организме описывается суммой уравнений (3) для каждой парциальной компоненты выведения.

Проанализируем динамику содержания  $^{137}\text{Cs}$  в рыбе при  $A_0 = 0$  в момент времени  $t_0 = 0$  и при постоянном потоке радионуклида в организм рыб. Из проведенных нами экспериментов [1, 5] следует, что  $T_3 \approx 10T_2 \approx 100T_1$ ,  $A_1 \approx A_2 \approx 1/3A_3$ , где  $T_i$  — парциальные периоды биологического полувыведения,  $A_i$  — парциальные вклады компонент выведения. Тогда содержание радионуклида описывается уравнением:

$$A_f(t) = \sum \exp\left(\frac{-t \ln 2}{T_i}\right) \int A_i V \exp\left(\frac{t \ln 2}{T_i}\right) dt = \sum \exp\left(\frac{-t \ln 2}{T_i}\right) A_i V \frac{T_i}{\ln 2} \left( \exp\left(\frac{t \ln 2}{T_i}\right) - 1 \right) =$$

$$\sum A_i V \frac{T_i}{\ln 2} \left[ 1 - \exp\left(\frac{-t \ln 2}{T_i}\right) \right], \quad i = 1, 3 \quad (4)$$

(интегрирование от 0 до  $t$ )

На рис. 1 представлено уравнение (4) в графическом виде, из которого видно, что при  $t > T_3$  вклад быстрых компонент выведения в содержание  $^{137}\text{Cs}$  составляет менее 7%, что и было показано при экспериментальном изучении скорости выведения  $^{137}\text{Cs}$  карпами вооёма-охладителя ЧАЭС [1,5]. Равновесное значение содержания радионуклида установится через  $t > 3T_3$ .

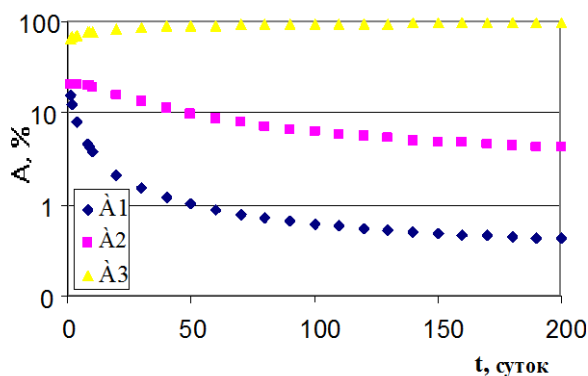


Рис. 1. Вклад компонент выведения в радиоактивность организма при хроническом поступлении радионуклида.

После аварии на ЧАЭС в водоеме-охладителе станции максимальные уровни радионуклидного загрязнения мирных видов рыб регистрировались летом 1986 года и составляли несколько сотен кБк/кг [4], а в 1991-1995 гг. среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в этих видах не превышало 10 кБк/кг, тогда как у хищных видов достигало 40 кБк/кг [6]. Среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  1993 по 1994 год уменьшилось: у сома канального на 7,4%, чехони — 27%, леща — 21%, карася — 6%, густеры — 27%, что соответствует экологическому периоду полувыведения 2-10 лет.

Высокое содержание радионуклидов цезия в воде водоемов зоны отчуждения (до нескольких десятков Бк/л), на взвесах, в водной растительности и донных отложениях (до нескольких сотен кБк/кг), длительные экологические периоды полувыведения  $^{137}\text{Cs}$  из организма рыб, превышение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  желудочно-кишечного тракта над содержанием радионуклида в мышцах указывает на то, что в организм рыб поступает значительное количество  $^{137}\text{Cs}$  и для некоторых особей вклад коротких компонент выведения  $^{137}\text{Cs}$  может достигать 30%.

В Киевском водохранилище, как и водоеме-охладителе ЧАЭС, уже в начале июня 1986 года у мирных видов рыб наблюдались высокие уровни радионуклидного загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ . В 1987-1989 гг. в мирных рыбах водоема-охладителя ЧАЭС происходило снижение уровней накопления  $^{137}\text{Cs}$ , а в Киевском водохранилище содержание этого радионуклида у аналогичных видов в период 1986-1989 гг. достоверно не изменялось [2,6], что свидетельствует об установлении динамического равновесия, при котором вклад быстрых компонент выведения составлял менее 5-7%. В 1990 году содержание  $^{137}\text{Cs}$  в рыбах Киевского водохранилища уменьшилось по сравнению с периодом 1986-1989 гг. в два-три раза, в то время как концентрация  $^{137}\text{Cs}$  в воде с осени 1986 года оставалась практически постоянной.

Таким образом, после залпового поступления радионуклидов в водные экосистемы на протяжении времени, сравнимого с периодом биологического полувыведения длительной компоненты, концентрация  $^{137}\text{Cs}$  у мирных видов рыб достигает максимальных значений, которые могут сохраняться несколько лет, что и наблюдалось у рыб Киевского водохранилища. Радионуклидное загрязнение рыб  $^{137}\text{Cs}$  формируется за счет вклада медленной компоненты выведения. Самоочищение рыб в естественных условиях может происходить только с периодом, превышающим период биологического полувыведения, полученный в лабораторных условиях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев В.В., Насвит О.И., Фомовский М.А. и др. К методике изучения динамики выведения гамма-излучающих радионуклидов у рыб // Матер. междунар. науч. конф. «Проблемы рационального использования биоресурсов водохранилищ». — Киев, 1995. — С. 142-143.
2. Волкова Е.Н. Накопление радионуклидов промысловыми видами рыб Днепровских водохранилищ: Автореф. дис... канд. бил. наук. — К., 1990. — 16 с.
3. Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям: Пер. с нем. — М.: Наука, 1971. — 576 с.
4. Крышев И.И. Радиэкологические последствия Чернобыльской аварии. — М.: ИАЭ им. Курчатова, 1991. — 103 с.
5. Моделирование и изучение механизмов переноса радиоактивных веществ из наземных экосистем в водные объекты зоны влияния Чернобыльской аварии / Под ред. У.Сансоне и О.Войцеховича. — Чернобыль: Чернобыльинтеринформ, 1996. — С. 106-124.
6. Радиэкология водных объектов зоны влияния аварии на Чернобыльской АЭС. Т.2 / Под ред. О.Войцеховича. — К., 1998. — С. 110-118.