

УДК [577.34(546.36:597)]

В.В. БЕЛЯЕВ

Институт гидробиологии НАН Украины,
пр-т Героев Сталинграда, 12, Киев 04210

ФОРМИРОВАНИЕ УРОВНЕЙ СОДЕРЖАНИЯ ⁶⁰СО В РЫБАХ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ КОНЦЕНТРАЦИИ РАДИОНУКЛИДА В ВОДЕ

Методами математического моделирования изучено изменение величины коэффициента накопления ⁶⁰Со у пресноводных рыб при временном увеличении концентрации радионуклида в воде. Определена вероятность несовпадения величин мгновенных и равновесного коэффициентов накопления при разовом повышении концентрации ⁶⁰Со в воде.

Ключевые слова: коэффициент накопления, рыба, ⁶⁰Со

Пределы радионуклидного загрязнения водных объектов рассчитываются по дозе облучения, которую может получить человек при употреблении воды или продуктов аквакультуры. При хроническом загрязнении водных экосистем низкоактивными сбросами значительную роль в формировании дозы облучения населения может играть ⁶⁰Со. Это объясняется значительным вкладом радионуклидов кобальта в радиоактивных сбросах и выбросах реакторов типа ВВЭР. ⁶⁰Со является продуктом нейтронной активации стабильного кобальта, одного из основных компонентов сплавов, используемых при изготовлении элементов ядерно-энергетических установок [3]. Кроме того, стабильный кобальт незаменим в метаболизме животных [2]. Как правило, загрязнение рыбной продукции рассчитывают по коэффициентам накопления (Кн) [4].

Цель нашего исследования – изучить поведение величины Кн ⁶⁰Со рыбами при изменении удельного содержания этого радионуклида в воде, что обусловлено необходимостью решения вопросов о правомерности применения величин Кн радионуклидов рыбами при разработке нормативных документов.

Материал и методы исследований

Содержание ⁶⁰Со в рыбах моделировалось на основании широко применяемой в радиоэкологии многокомпонентной экспоненциальной модели [1, 5].

Активность радионуклида в рыбе каждые сутки представляли в виде суммы накопления за текущие сутки и активности на предшествующие сутки с учетом выведения. При этом учитывали парциальные вклады и скорость выведения компонент. На основании экспериментальных исследований [5] принято, что периоды полувыведения (T_i) парциальных компонент выведения составляют: T₁ = 2 сут. и T₂ = 65 сут.; парциальные вклады (A_i) – 0,25 и 0,75 соответственно.

При моделировании было принято: 1) масса рыбы и скорость выведения радионуклида постоянны; 2) скорость поступления радионуклида в организм (V) постоянна в течении суток; 3) поступление радионуклида в организм рыб прямопропорционально концентрации радионуклида в воде.

Изменение массы рыбы во времени частично учитывается выбором V – const. Изменением массы рыбы можно пренебречь при d(ln(A_r)) >> d(ln(m)).

В условиях переменного содержания радионуклида в воде и рыбе, а также растянутого во времени установления равновесного состояния между содержанием радионуклида в воде и рыбе, коэффициент накопления можно определить одним из следующих способов:

K(0) – равновесный коэффициент накопления;

K1(t) = A_r(t)/A_w(t) – мгновенный коэффициент накопления;

$$K2(t) = A_r(t)/\langle A_w(t) \rangle \quad (1)$$

$$\langle K \rangle = \langle A_r(t) \rangle / \langle A_w(t) \rangle \quad (2)$$

где: $A_f(t)$ – удельное содержание радионуклида в рыбе в момент времени t ;
 $A_w(t)$ – удельное содержание радионуклида в воде в момент времени t ;
 $\langle A_f(t) \rangle, \langle A_w(t) \rangle$ – среднегодовая удельная активность радионуклида в рыбе и воде;
 $n=A_w(1)/A_w(0)$ – кратность повышения концентрации радионуклида в воде.

Результаты исследований и их обсуждение

После изменения концентрации ^{60}Co в воде состояние близкое к равновесному установится не менее, чем через 200 суток, т. е. если изменения произошли в мае то при неизменных условиях равновесие в системе «вода – рыба» установится не ранее ноября.

При периоде повышения концентрации в воде в течение 30 сут. и $n=5$ максимальное содержание радионуклида в организме рыб будет примерно в 2,1 раза выше, чем первоначальное. Через полгода после повышения концентрации ^{60}Co в воде содержание радионуклида в рыбе будет выше первоначального на 20%, через год – на 3%.

Поведение величин $K2(t)$ и $A_f(t)$ сходное. Величина $K2(t)$ отличается от величины $A_f(t)$ на множитель $\langle A_w(t) \rangle^{-1}$, а по определению $\langle A_w(t) \rangle$ – усредненная величина, которая в течение периода наблюдения (моделирования) является постоянной.

Гораздо сложнее поведение величины $K1(t)$ (рис. 1). При выше приведенных условиях увеличения концентрации радионуклида в воде величина $K1(t)$ уменьшается до 0,22 величины $K(0)$. За период повышения концентрации радионуклида в воде (30 сут.) величина $K1(t)$ увеличивается в 2 раза. Со снижением концентрации радионуклида в воде до первоначального уровня величина $K1(t)$ увеличивается от 0,44 до 2,11 (4,9 раза) и затем на протяжении года приближается к равновесному значению.

Диапазон колебаний $K1(t)$ превышает диапазон колебаний концентрации ^{60}Co в воде (табл. 1). Так, при $n=2$ размах колебаний величины $K1(t)$ составляет 2,5 раза, при $n=10-29$ раз. Такие изменения объясняются тем, что величина $K1(t)$ прямопропорциональна мгновенной удельной активности ^{60}Co в организме и обратнопропорциональна мгновенной концентрации радионуклида в воде, к тому же содержание радионуклида в организме рыб зависит от длительности пребывания и концентрации радионуклида в воде.

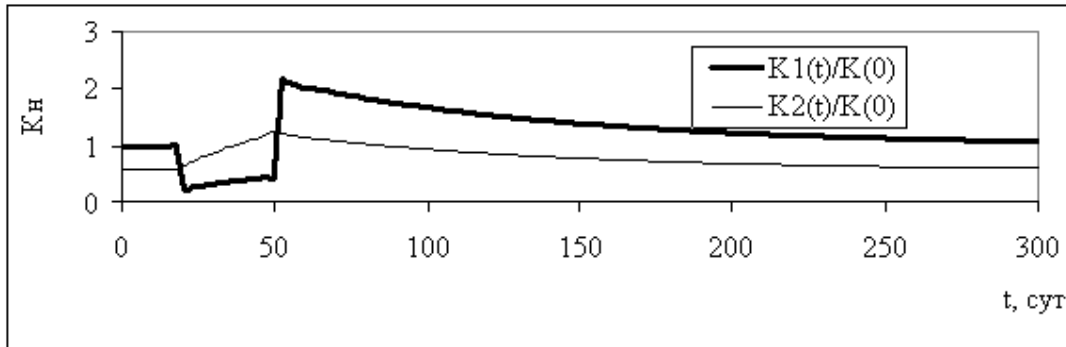


Рис. 1. Динамика коэффициентов накопления ^{60}Co у рыб при изменении концентрации радионуклида в воде (период повышения концентрации 30 сут., $n=5$)

Таблица 1

Величины нормированного коэффициента накопления ^{60}Co (период повышения концентрации в воде 30 суток).

n	2	3	5	10
K1	0,47–1,18	0,30–1,35	0,17–1,61	0,07–2,04
K2	0,85–1,10	0,73–1,17	0,56–1,24	0,33–1,20

Величина $K2(t)$ меньше зависит от изменения концентрации радионуклида в воде. При $n=10$ и периоде повышения концентрации в воде 30 суток нижняя граница величины $K2(t)$ отличается от равновесного значения не более, чем на 70 %, а верхняя – на 20 % (табл.1).

При переменном уровне концентрации ^{60}Co в воде величина усредненного коэффициента накопления, в зависимости от n и длительности периода повышения концентрации радионуклида в воде, отличается от величины равновесного значения коэффициента накопления. С увеличением периода повышения концентрации от 10 до 30 суток при $n=2$ нормированная величина коэффициента накопления уменьшается от 0,974 до 0,945 (рис. 2), при $n=10$ для периодов 10, 20 и 30 суток величина $\langle K \rangle$ будет составлять 0,82, 0,74 и 0,69 величины $K(0)$, соответственно.

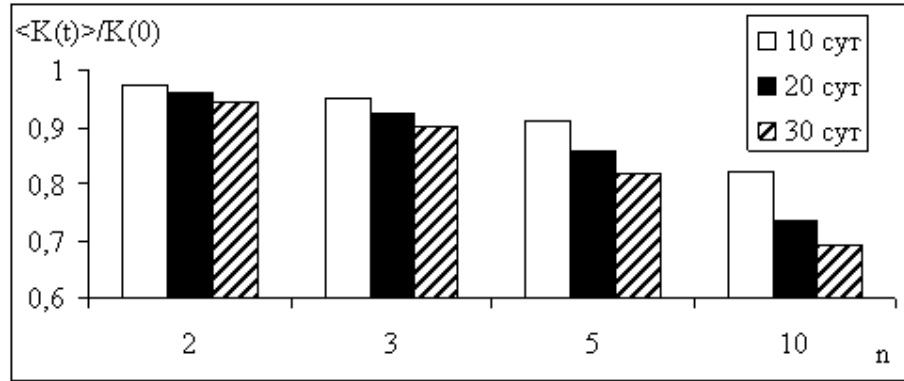


Рис. 2. Зависимость величины усредненного нормированного коэффициента накопления от времени и степени (n) увеличения концентрации ^{60}Co в воде

Анализ данных о поведении величин $K1(t)$ и $K2(t)$ (рис. 1) показывает, что на протяжении значительных промежутков времени эти величины отличаются от равновесного значения коэффициента накопления. В случае повышения на период 30 сут. концентрации ^{60}Co в воде в 3, 5 или 10 раз, вероятность того, что величина $K1(t)$ будет отличаться от $K(0)$ более чем на 60 % составляет 0,05, 0,09 и 0,017 соответственно (табл. 2), т.е. в течение 19, 33 или 61 суток в году величины $K(0)$ и $K1(t)$ не будут совпадать. Вероятность несовпадения величин $K2(t)$ и $K(0)$ более чем на 60% наблюдается только при десятикратном увеличении ^{60}Co в воде.

Таблица 2

Вероятность не совпадения $K1(t)$ и $K2(t)$ с равновесным значением (период повышения концентрации в воде 30 суток).

n	2	3	5	10
$P1 = P[K(0)-K1(t) /K(0)>30\%]$	0,08	0,11	0,2	0,55
$P2 = P[K(0)-K1(t) /K(0)>60\%]$	0,00	0,05	0,09	0,17
$P3 = P[K(0)-K2(t) /K(0)>30\%]$	0,00	0,00	0,52	0,73
$P4 = P[K(0)-K2(t) /K(0)>60\%]$	0,00	0,00	0,00	0,27

Необходимо отметить, что при значительном увеличении концентрации ^{60}Co в воде величина $K2(t)$ будет дольше отличаться от величины равновесного значения коэффициента накопления, чем $K1(t)$.

Выводы

При увеличении на протяжении 30 суток скорости поступления ^{60}Co в организм рыб в 10 раз максимальное содержание радионуклида в рыбах будет отличаться от первоначального в 3,7 раза; через год – не более, чем на 5%.

При разовом повышении концентрации ^{60}Co в воде на период 30 сут. диапазон колебаний величины мгновенного коэффициента накопления значительно превысит степень увеличения концентрации ^{60}Co в воде.

При увеличении концентрации ^{60}Co в воде более чем в 5 раз величина $K2(t)$ будет более длительное время отличаться от величины равновесного значения коэффициента накопления, чем величина $K1(t)$.

1. *Егоров В. Н.* Динамические закономерности радиохемозкологических процессов в морской бреде/ В. Н. Егоров : автореф. дис. на соиск. ученой степени доктора биол. наук. Специальность “Радиобиология”. – Киев, 1987. – 33 с.
2. *Романенко В. Д.* Основы гидроэкологии / В. Д. Романенко. – Киев : Генеза, 2005.– 664 с.
3. *Тютюник Ю. Г.* Екологічна радіо геохімія. Навчальний посібник / Ю. Г. Тютюник, Е. С. Яновська. – Київ : Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2004. – 188 с.
4. *Шеханова И. А.* Радиоэкологические аспекты защиты поверхностных вод при мирном использовании ядерной энергии / И. А. Шеханова // Проблемы и задачи радиозкологии животных. – М. : Наука, 1980. – С. 14–35.
5. *La radioecologie des grands fleuves: des donnees de sites et de l’experimentation a la modelisation (application a la Meuse et au Rhone) / R. Kirchmann, C. M. Vandecasteele, L. Foulquier [et al.]. – BVLG635, 1992. – 70 p.*

В.В. Беляєв

Інститут гідробіології НАН України, Київ

ФОРМУВАННЯ РІВНІВ ВМІСТУ ^{60}Co У РИБАХ ПРИ ЗМІНІ КОНЦЕНТРАЦІЇ РАДІОНУКЛІДА У ВОДІ

Методами математичного моделювання вивчено зміну величини коефіцієнта накопичення ^{60}Co у прісноводних риб при тимчасовому збільшенні концентрації радіонукліда у воді. Визначена вірогідність розбіжності величин миттєвих та рівноважних коефіцієнтів накопичення при одноразовому підвищенні концентрації ^{60}Co у воді.

Ключові слова: коефіцієнт накопичення, риба, ^{60}Co

V.V. Belyaev

Institute of Hydrobiology of NAS of Ukraine, Kyiv

FORMATION THE LEVELS OF CONTENTS ^{60}Co IN FISH WHEN CHANGE THE CONCENTRATIONS RADIONUCLIDE IN WATER

Behaviour value of factor of accumulation ^{60}Co by freshwater fishes in case temporal increase of concentration of radionuclide in water was explored by the methods of mathematical modeling. It has been stated that probability of difference between instantaneous and equilibrium values of factor of accumulation in case single increase concentration of ^{60}Co in water.

Keywords: factor of accumulation, fish, ^{60}Co

Рекомендує до друку

В.З. Курант

Надійшла 28.02.2011