

УДК 546.32/36:577.34:574.522

## РОЛЬ ШВИДКИХ КОМПОНЕНТ ВИВЕДЕННЯ У ДИНАМІЦІ ФОРМУВАННЯ ВМІСТУ РАДІОНУКЛІДА В ГІДРОБІОНТАХ

**В. Беляєв, О. Волкова**

*Інститут гідробіології НАН України  
пр. Героїв Сталінграда, 12, 04210 Київ, Україна  
e-mail: [belyaevvv@rambler.ru](mailto:belyaevvv@rambler.ru)*

За допомогою моделювання досліджено динаміку вмісту радіонукліда у гідробіонтів за умов постійного надходження до організму. Вивчено внесок компонент виведення радіонукліда до загальної радіоактивності гідробіонта. Визначено умови, за яких у рівноважному стані частка швидких компонент може досягати 50%. Розглянуто різницю між одно- та двокомпонентними експоненціальними моделями динаміки вмісту радіонуклідів в організмі гідробіонтів. Вивчено залежність швидкості виведення радіонукліда з організму від часу накопичення.

*Ключові слова:* гідробіонти, радіонукліди, швидкість виведення, компоненти виведення.

Практичні досягнення у галузі ядерної фізики зумовили необхідність досліджень впливу іонізуючого випромінювання на живі організми. Рівні вмісту природних [4] та штучних [16] радіонуклідів у гідробіонтах можуть на кілька порядків величин перевищувати концентрацію тих самих елементів у воді. Важливими етапами у розвитку радіоекології гідробіонтів було визначення рівноважних (граничних) рівнів накопичення та визначення швидкості виведення радіонуклідів з організму [6, 10, 11]. Було з'ясовано, що з організму гідробіонтів радіонукліди виводяться з кількома компонентами [6, 10, 11].

Враховуючи різноманіття природних умов, видатні вчені-гідробіологи [14, 15] зазначали, що єдиним шляхом загального опису водних екосистем є фізичне або математичне моделювання.

Після Чорнобильської катастрофи в межах міжнародних проектів TRANSAQUA, LAKECO, BIOMOVIS II, BIOMASS, EMRAS були розроблені моделі для опису радіоекологічного стану водних об'єктів [8, 13]. У цих моделях вміст радіонуклідів у гідробіонтах, окрім риб, розраховують статистично на основі коефіцієнтів накопичення. Вміст радіонуклідів у рибах розраховують за однокомпонентною експоненціальною моделлю.

Застосування однокомпонентних моделей чи коефіцієнтів накопичення у випадку залпового надходження радіонуклідів до навколишнього середовища може призвести до

некоректного опису динаміки радіоактивного забруднення гідробіонтів, особливо у проміжках часу, які не перевищують 1–2 періоди біологічного напіввиведення з організму повільної компоненти.

Тому метою нашої роботи було визначення внеску швидких компонент виведення радіонукліда у формування рівнів радіонуклідного забруднення гідробіонтів залежно від часу знаходження організму в радіоактивному середовищі.

Для моделювання динаміки вмісту радіонуклідів у гідробіонтах використовували розробки [6, 9] у нашій модифікації [1]. Вміст радіонуклідів в організмах гідробіонтів розраховували покроково за рівнянням:

$$A_f(t+\Delta) = \Sigma [A_i V \Delta t + A_{fi}(t) \exp(-\Delta t \ln 2/T_i)], \quad i = 1, n, \quad (1)$$

де  $A_f(t)$  – активність радіонукліда в організмі у час  $t$ ;  $A_{fi}(t)$  – парціальна активність радіонукліда в організмі у час  $t$ ;  $A_i$  – парціальний внесок  $i$  – компоненти виведення при разовому надходженні радіонукліда;  $V$  – швидкість надходження радіонукліда до організму гідро біонта;  $T_i$  – парціальний період напіввиведення  $i$  – компоненти виведення;  $p_i = \ln 2 T_i^{-1}$  – парціальна швидкість виведення радіонукліда з організму;  $n$  – кількість компонент.

Величина  $t/T_i$  – безрозмірна, розмірності величин  $A_f(t)$ ,  $A_{fi}(t)$  та  $A_i V t$  однакові.

У випадку  $V = \text{const}$  аналітичне рішення рівняння (1) має вигляд:

$$A_f(t) = \Sigma A_i V T_i / \ln 2 [1 - \exp(-t \ln 2/T_i)], \quad i = 1, n. \quad (2)$$

У випадку  $V = 0$ :

$$A_f(t) = \Sigma A_{fi}(t) \exp(-t \ln 2/T_i), \quad i = 1, n. \quad (3)$$

За літературними даними  $n \leq 3$  [6, 12]. Було обрано  $n = 2$  та найбільш характерні швидкості компонент  $T_2 = 10 T_1$  [6, 12]; час кроку  $0,01 T_2$ . Вибір  $dt = 1$  доба відповідає опису динаміки вмісту  $^{137}\text{Cs}$  в організмі риби [2, 12].

Аналіз рівняння (2) показує, що у рівноважному стані внесок компонент виведення спрямований до постійної величини:

$$A_{fi}^0(t) = A_i V T_i (\ln 2)^{-1},$$

де  $A_{fi}^0(t)$  – рівноважний внесок  $i$ -ї компоненти виведення.

Тоді співвідношення компонент у рівноважному стані:

$$A_{f1}^0(t) / A_{f2}^0(t) = (A_1 T_1) / (A_2 T_2).$$

Розглянемо внесок швидкої компоненти виведення залежно від часу накопичення радіонукліда у випадку  $V = \text{const}$  (рис. 1–3). При часі накопичення  $\leq T_1$  внесок радіонукліда, який виводиться з швидкою компонентою, приблизно дорівнює  $A_1$ .

При  $A_1 = 0,1$ – $0,3$  та часі накопичення  $10 T_1$   $A_{fi}(t)$  досягає рівноважного стану,  $A_{f2}(t)$  – удвічі менша за рівноважне значення. Частка радіонукліда, що виводиться зі швидкою компонентою виведення не перевищує 8%. При збільшенні часу накопичення до рівноважного стану та за умов  $A_1 = 0,1$ – $0,3$ , частка радіонукліда, яка виводиться зі швидкою компонентою, зменшується вдвічі (рис. 1).

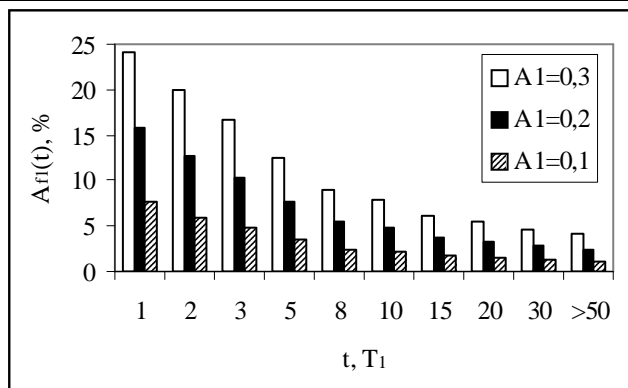


Рис. 1. Динаміка внеску швидкої компоненти виведення до загальної радіоактивності гідробіонта ( $A_1 \ll A_2$ ,  $V = \text{const}$ )

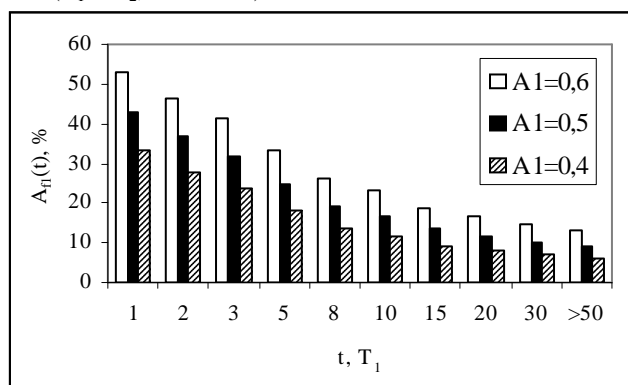


Рис. 2. Динаміка внеску швидкої компоненти виведення до загальної радіоактивності гідробіонта ( $A_1 \approx A_2$ ,  $V = \text{const}$ )

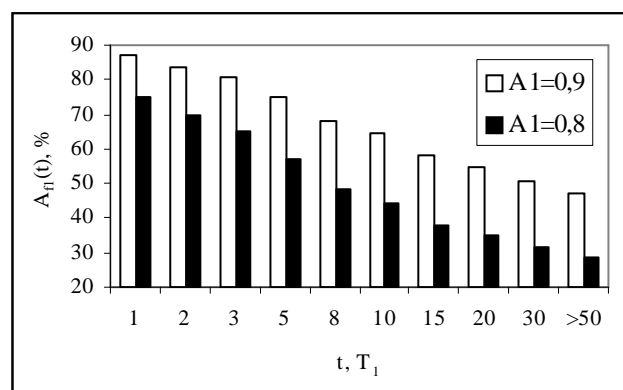


Рис. 3. Динаміка внеску швидкої компоненти виведення до загальної радіоактивності гідробіонта ( $A_1 \gg A_2$ ,  $V = \text{const}$ )

При  $A_1 = 0,4-0,6$  та часі накопичення  $10T_1$  частка радіонукліда, яка виводиться зі швидкою компонентою, становить 12–23%. У рівноважному стані ця величина зменшується до 6–13% (рис. 2).

При  $A_1 = 0,8$  внесок долі радіонукліда, яка виводиться зі швидкою компонентою, зменшується з 75% при часі накопичення  $T_1$  до 29% у рівноважному стані (рис. 3).

При  $A_1 = 0,9$  навіть у рівноважному стані частка радіонукліда, що виводиться зі швидкою компонентою, становить майже 50% (рис. 3).

Загальним поясненням наявності кількох компонент виведення радіонукліда з організму є його локалізація в обмінних або необмінних фондах організму та обмін речовини між цими фондами [6]. Тобто радіонуклід локалізується у різних органах і тканинах гідробіонтів [2, 11, 17] або перебуває у різних фізико-хімічних формах [5]. Так, з організму риб зі швидкою компонентою виводиться та частина  $^{137}\text{Cs}$ , яка не депонувалася у м'язах [3] і частина  $^{90}\text{Sr}$ , що депонувалася у м'яких тканинах [11, 17]. Швидка компонента виведення радіонукліда з рослин відповідає частці водорозчинної фракції та, можливо, сорбованим позаклітинним слабозв'язаним катіонам [5].

Отримані результати, які свідчать про можливість значного внеску до загальної радіоактивності гідробіонта частки радіонукліда, що виводиться зі швидкою компонентою, узгоджуються з експериментальними даними інших авторів [10].

Вище було зазначено, що для опису динаміки накопичення радіонуклідів рибами застосовуються однокомпонентні моделі. Тому ми вважаємо за доречне розглянути, як відрізняються рівні накопичення радіонукліда рибами за однокомпонентною (рис. 4, крива 1) та двокомпонентною (рис. 4, крива 2) моделями. Різницею між однокомпонентною та двокомпонентною моделями є внесок радіонукліда, що виводиться зі швидкою компонентою до загальної радіоактивності організму. Тобто внесок швидких компонент визначає точність однокомпонентних моделей накопичення радіонуклідів організмом риб.

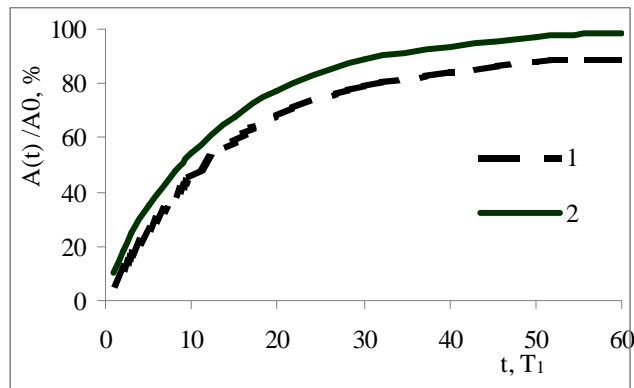


Рис. 4. Динаміка формування активності гідробіонта ( $V = \text{const}$ ,  $A_1 = A_2$ ;  $A_0$  — активність гідробіонта у рівноважному стані: 1 — парціальний внесок повільної компоненти, 2 — загальна активність гідробіонта)

Одним з найважливіших параметрів моделювання радіоактивного забруднення гідробіонтів є швидкість виведення радіонукліда з організму. Розглянемо, до чого може призвести нехтування швидкими компонентами у разі визначення швидкості виведення радіонукліда з організму гідробіонтів. При  $A_1=A_2$  після припинення надходження

радіонукліда до організму час подвійного зменшення радіоактивності гідробіонта, залежно від часу накопичення радіонукліда становитиме 30–88% від  $T_2$  (рис. 5). Тобто визначена величина швидкості виведення буде в 1,1–3 рази вищою, ніж швидкість виведення повільної компоненти. Саме цим можна пояснити завищені показники швидкості виведення  $^{90}\text{Sr}$  з організму коропу, які були отримані у деяких дослідах [7, 11].

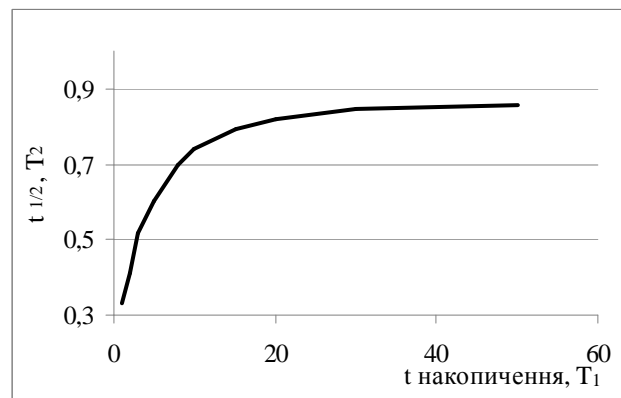


Рис. 5. Залежність часу зменшення вмісту радіонукліда у гідробіонті вдвічі ( $t_{1/2}$ ) від часу накопичення ( $V = \text{const}, A_1 = A_2$ )

За умов нерівноважного стану процесів накопичення радіонуклідів гідробіонтами частка швидких компонент виведення може у багато разів перевищувати внесок радіонукліда, що виводиться з повільної компоненти.

У рівноважному стані частка швидких компонент у загальній радіоактивності організму може сягати 50%.

Врахування швидких компонент виведення радіонукліда з організму гідробіонтів дає змогу коректно описувати динаміку вмісту, особливо за умов, віддалених від рівноважного стану, в тому числі у разі багатократно-імпульсного надходження радіонукліда до організму.

Неприпустимо визначати швидкість виведення радіонукліда з організму гідробіонтів за однокомпонентною моделлю, якщо накопичення радіонукліда не досягло стану рівноваги.

1. *Беляев В. В.* Роль компонент виведення  $^{137}\text{Cs}$  в формуванні радіонуклідного забруднення рыб в природних условиях / В. В. Беляев, Е. Н. Волкова // Наук. зап. Тернопіл. держ. педагог. ун-ту ім. Володимира Гнатюка. Сер. біологія. Спеціальний випуск "Гідроекологія". – 2001. – Т. 4, № 15 – С. 4–6.
2. *Беляев В. В.* Накопичення та виведення цезію-137 з організму гідробіонтів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. біол. наук : спец.03.00.10 "Іхтіологія" / В. В. Беляев. – К., 2001. – 18 с.

3. Кінетика розподілу  $^{137}\text{Cs}$  в організмі риб / В. В. Беляєв, О. М. Волкова, О. І. Насвіт, Л. П. Юрчук // Ядерна фізика та енергетика. – 2006. – Т. 1, № 17. – С. 86–89.
4. Вернадский В.И. О концентрации радия растительными организмами / В. И. Вернадский // Докл. АН СССР. – 1930. Сер. А. – Т. 20. – С. 539–542.
5. Ганжа Х. Д. Форми накопичення радіонуклідів компонентами озерних екосистем чорнобильської зони відчуження / Х. Д. Ганжа, В. Г. Кленус, Д. І. Гудков // Збірник тез II міжнародної конференції “Фізичні методи в еології, біології та медицині” 2–6 вересня 2009, Львів-Ворохта. – Львів : Видавничий центр Львівського ун-ту ім. І. Франка, 2009. – С. 97–98.
6. Егоров В. Н. Динамические закономерности радиохемозкологических процессов в морской среде: автореф. дис. ... доктора биол. наук : спец. 03.00.01. “Радиобиология” / В. Н. Егоров. – Київ, 1987. – 33 с.
7. Ильин Д. И. О распределении, выведении и коэффициентах накопления стронция-90, цезия-137 и фосфора-32 у рыб / Д. И. Ильин, Ю. И. Москалев // Распределение, биологическое действие и миграция радиоактивных изотопов. – М. : Медгиз, 1961.
8. Крышев А.И. Динамическое моделирование переноса радионуклидов в гидробиоценозах и оценка последствий радиоактивного загрязнения для биоты и человека: автореф. дис. ... доктора биол. наук : спец. 03.00.01. “Радиобиология” / А. И. Крышев. – Обнинск, 2008. – 50 с.
9. Крышев И. И. Математическое моделирование миграции радионуклидов в водных экосистемах / И. И. Крышев, Т. Г. Сазыкина. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
10. Куликов Н. В. Радиоэкология пресноводных биосистем / Н. В. Куликов, М. Я. Чеботина. – Свердловск: УрО АН СССР. 1988. – 129 с.
11. Лебедева Г. Д. Накопление и выведение радиоактивного стронция у пресноводных рыб при разных условиях / Г. Д. Лебедева // Некоторые проблемы гидробиологии. – М. : Наука, 1968. – С. 170–180.
12. 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: Чернобыльінтерінформ, 1996. – 196 с.
13. Дзюба Н. Н. Валидация математических моделей миграции радиоцезия в экосистеме Киевского водохранилища / Н. Н. Дзюба, С. В. Тодосиенко // Наукові праці УкрНДГМІ. – Вип. 250. – 2002. – С. 298–309.
14. Романенко В.Д. Экологическое прогнозирование – приоритетное направление современной гидробиологии / В. Д. Романенко // Развитие гидробиологических исследований в Украине. – К. : Наукова думка, 1993. – С. 3–9.
15. Строганов Н.С. Моделирование возможных изменений экосистемы при загрязнении по чувствительности гидробионтов к токсикантам / Н. С. Строганов // Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. – Л. : Наука, Ленинградское отделение, 1979. – С. 142–149.
16. Тимофеева-Ресовская Е.А. Распределение радиоизотопов по основным компонентам пресноводных водоемов / Е. А. Тимофеева-Ресовская // Труды УФ АН СССР. – 1963. – Вып. 30. – 78 с.
17. Шеханова И.А. Радиоэкология рыб / И. А. Шеханова. – М. : Легк. и пищ. пром., 1983. – 208 с.

**THE PART OF SHORT COMPONENTS OF RELEASE IN DYNAMICS OF THE CONTENTS OF RADIONUCLIDE IN HYDROBIONTS****V. Belyaev, O.Volkova**

*Institute of Hydrobiology, National Academy of Sciences of Ukraine  
Prosp. Geroyiv Stalingrada, 12, UA-04210 Kyiv, Ukraine  
e-mail: belyaevvv@rambler.ru*

The dynamics of the contents of radionuclide in hydrobionts is investigated by modelling in conditions of constant arrival in organism. Contribution of components of radionuclide release in general radioactivity of hydrobiont is study. Condition under which contribution short component can reach 50% is determined. Difference between one and two components exponential models of contents radionuclide in organism of hydrobionts is considered. Dependency of excretion rate radionuclide from organism from time of accumulation is studied.

*Key words:* hydrobionts, radionuclides, excretion rate, components of release.

**РОЛЬ БЫСТРЫХ КОМПОНЕНТ ВИВЕДЕНИЯ В ДИНАМИКЕ ФОРМИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ РАДИОНУКЛИДА В ГИДРОБИОНТАХ****В. Беляев, Е. Волкова**

*Институт гидробиологии НАН Украины  
пр. Героев Сталинграда, 12, 04210 Киев, Украина  
e-mail: belyaevvv@rambler.ru*

Моделированием изучена динамика содержания радионуклида при условии его постоянного поступления в организм. Проанализирован вклад компонент выведения радионуклида в общую радиоактивность гидробионта. Для равновесного состояния определены условия, при которых доля быстрых компонент составляет 50%. Рассмотрено различие между одно- и двухкомпонентными экспоненциальными моделями динамики содержания радионуклидов в организме гидробионта. Определены параметры зависимости скорости выведения радионуклида из организма от времени накопления.

*Ключевые слова:* гидробионты, радионуклиды, скорость выведения, компоненты выведения.

Стаття надійшла до редколегії 24.09.2009  
Прийнята до друку 07.06.2010