

РОЛЬ МЕДЛЕННЫХ КАЛЬЦИЕВЫХ КАНАЛОВ В ПРОЦЕССАХ НАКОПЛЕНИЯ ^{90}Sr ПРЭСНОВОДНЫМИ ДВУСТВОРЧАТЫМИ МОЛЛЮСКАМИ

Д. В. Лукашев

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

Исследован процес накопления ^{90}Sr и ^{137}Cs пресноводными моллюсками *Unio conus* (*Bivalvia*, *Unionidae*) в условиях естественного водоема. Моллюски, обработанные верапамилом, накапливали ^{90}Sr в 2,8 раз медленнее по сравнению с контрольными. Это показывает важность медленных кальциевых каналов в поступлении данного радионуклида в организм моллюсков. Одновременно особи, обработанные верапамилом, в 1,3 раза интенсивнее накапливали ^{137}Cs .

В результате радиоактивного загрязнения водосборных территорий рек правобережного Полесья наблюдается постоянное поступление радионуклидов в днепровский каскад водохранилищ. Наибольшую опасность для населения представляет ^{90}Sr , являющийся биологическим аналогом кальция и накапливающийся преимущественно в кальцийсодержащих органах и структурах животных. Из-за значительной растворимости соединений стронция данный радионуклид в водоемах преимущественно находится в растворенной ионной форме, что обуславливает его подвижность в пресноводных экосистемах [1].

Двустворчатые моллюски имеют массивные карбонатные раковины и поэтому характеризуются наибольшими коэффициентами накопления ^{90}Sr из всех водных животных [2]. Данную особенность этих гидробионтов использовали при проведении мониторинговых исследований радиоактивного загрязнения ^{90}Sr пресноводных водоемов [3, 4]. Достоверные результаты, полученные в ходе таких исследований и отражающие действительные уровни загрязнения воды, по-видимому, являются следствием того, что моллюски для построения своих раковин используют главным образом растворенный в воде кальций. Было показано, что до 80 % необходимого кальция извлекается моллюсками непосредственно из воды [5]. Одновременно с кальцием из водных растворов моллюски активно извлекают и накапливают в раковине другие двухвалентные ионы, в том числе и радиоизотопы – ^{90}Sr , ^{226}Ra [6].

Установлено, что ионы кальция поступают в клетку из окружающей среды против градиента концентрации по медленным кальциевым каналам. Можно предположить, что эти каналы участвуют в транспортировке через клеточную мембрану других двухвалентных ионов, в частности ионов $^{90}\text{Sr}^{2+}$. Для выяснения роли медленных кальциевых каналов в процессах накопления ^{90}Sr двустворчатыми моллюсками была применена блокировка этих каналов верапамилом.

Материалы и методы

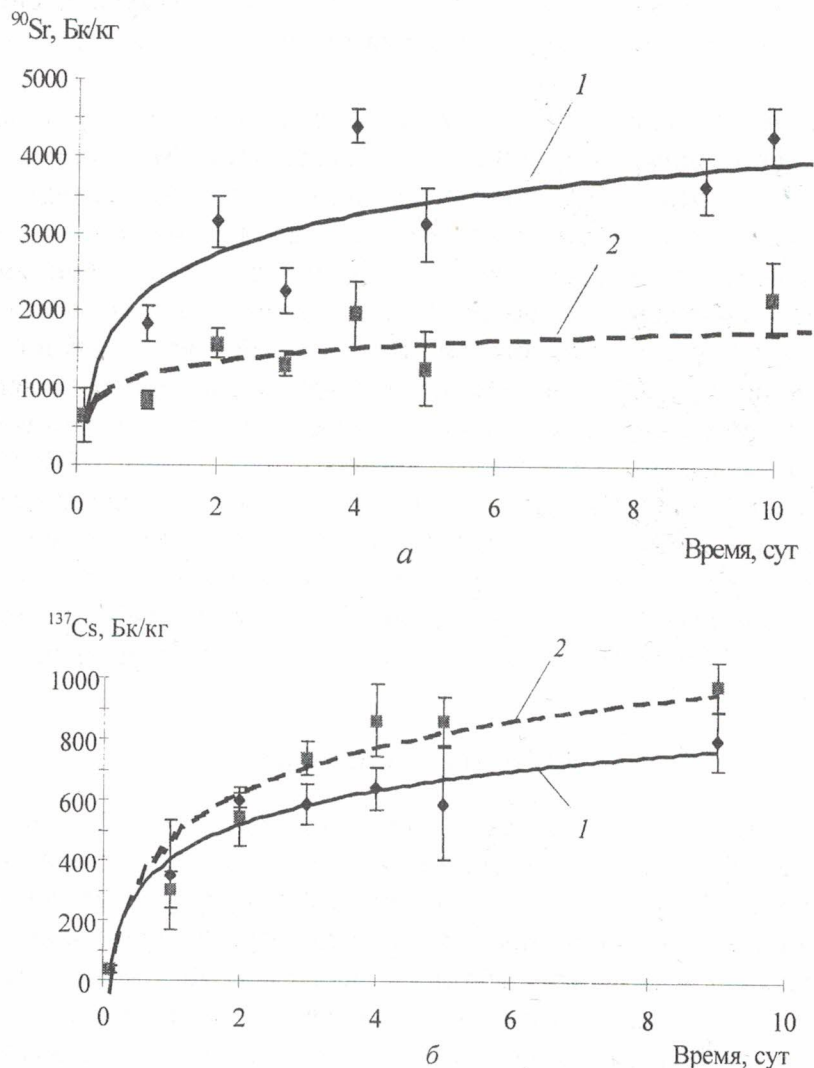
Эксперимент проводили в августе 2000 г. Моллюсков *Unio conus* из р. Припять, собранных в районе Чернобыля, разместили в двух металлических садках в изолированном канале в ближней зоне ЧАЭС (1 км на восток). Канал представляет водоем длиной 100, шириной 50 и глубиной 4 м, с бетонированными берегами. Концентрация ионов кальция в воде канала составляла 21 – 24 мг/л, магния – 3,53 мг/л, общая жесткость воды – 1,3 – 1,6 мг-екв./л. Таким образом, химический состав воды является характерным для естественных водоемов Полесья. Содержание ^{137}Cs та ^{90}Sr в воде составляло 442 и 915 Бк/л соответственно.

Собранных моллюсков сортировали по массе. Использовали экземпляры массой 70 – 75 г. Непосредственно перед размещением моллюсков в канале проводили инъекцию 0,2 мл 0,25 %-ного раствора верапамила в ногу на глубину 1,2 – 1,5 см из расчета 4 мг препарата на

1 кг мягкого тела моллюсков. Особи из контрольной группы в другом садке были обработаны 0,2 мл физиологического раствора. Металлические садки с моллюсками размещали на глубине 1 м от поверхности воды. Каждый день из экспериментальной и контрольной групп извлекали по три особи. Моллюсков вскрывали, мягкие части тела гомогенизировали и исследовали на содержание ^{137}Cs на германиевом детекторе Canberra Well GCW2022-7500SL (55 × 58 мм). Раковины тщательно промывали водой, используя нежесткую щетку, сушили при 120 °С и определяли содержание ^{90}Sr на сцинтилляционном счетчике "1220-Quantulus" по дочернему ^{90}Y после предварительного радиохимического выделения.

Результаты исследований

В начале эксперимента моллюски *Unio conus* из р. Припять содержали в мягких тканях 36 ± 12 Бк/кг ^{137}Cs и 636 ± 134 Бк/кг ^{90}Sr в раковине. Через 5 сут выдержки в воде канала содержание радиостронция в раковинах моллюсков из контрольной группы увеличилось в пять раз (3126 ± 470 Бк/кг), тогда как в раковинах моллюсков, обработанных верапамилом, – всего в два раза (1260 ± 475 Бк/кг). В то же время содержание радиоцезия в мягких тканях моллюсков из контрольной группы увеличилось в 16 раз (590 ± 186 Бк/кг), а у моллюсков их экспериментальной группы – в 24 раза (860 ± 77 Бк/кг) (рисунок).



Динамика накопления ^{90}Sr (а) и ^{137}Cs (б) моллюсками *Unio conus* в канале ближней зоны ЧАЭС: 1 – контрольная группа (инъекция 0,2 мл физиологического раствора), 2 – экспериментальная группа (инъекция 0,2 мл 0,25 %-ного верапамила).

Общий вид уравнения, описывающего зависимость накопления радионуклидов моллюсками во времени

$$A = b + a \ln T, \quad (1)$$

где A – концентрация радионуклида в моллюсках, Бк/кг; T – время, сут; a – коэффициент регрессии; b – коэффициент пропорциональности. Коэффициент регрессии a характеризует скорость накопления радионуклидов, Бк/сут.

Накопление ^{90}Sr моллюсками *Unio conus*, обработанными верапамиллом, и особями из контрольной группы соответственно описывается уравнениями:

$$A = 1162 + 256 \ln T, R^2 = 0,600; \quad (2)$$

$$A = 2238 + 728 \ln T, R^2 = 0,747. \quad (3)$$

Накопление ^{137}Cs моллюсками *Unio conus*, обработанными верапамиллом, и особями из контрольной группы соответственно описывается уравнениями:

$$A = 466 + 220 \ln T, R^2 = 0,911 \quad (4)$$

$$A = 405 + 164 \ln T, R^2 = 0,954 \quad (5)$$

Сопоставление коэффициентов регрессии данных уравнений показало, что особи *Unio conus*, обработанные верапамиллом, в 2,8 раз медленнее накапливали ^{90}Sr в раковинах по сравнению с моллюсками, получившими инъекцию физиологического раствора (уравнения (2) и (3)). Однако одновременно моллюски, обработанные верапамиллом, накапливали ^{137}Cs в 1,3 раза быстрее, чем моллюски из контрольной группы (уравнения (4) и (5)).

Обсуждение

По механизму действия вещества-антагонисты кальция можно разделить на три группы:

1) прямые антагонисты кальция – взаимодействуют с медленными кальциевыми каналами и участками клеточной мембраны, принимающими участие в связывании ионов кальция (верапамил, дилтиазем, пергексилен);

2) непрямые антагонисты – препараты преимущественно с внутриклеточным механизмом действия (папаверин, флунаризин);

3) смешанные антагонисты кальция – вещества с мембранным и внутриклеточным механизмами действия (нефедипин, никардипин) [7].

Таким образом, применяемый в работе верапамил, относящийся к прямым антагонистам кальция и изменяющий свойства клеточной мембраны, в частности кальциевых каналов, существенно снижает ее проницаемость для ионов $^{90}\text{Sr}^{2+}$. Можно сделать вывод, что именно медленные кальциевые каналы ответственны за накопление радиостронция моллюсками из водных растворов. Такие же результаты были получены для другого двувалентного элемента – кадмия [8].

Верапамил, тормозя поступление ^{90}Sr в организм моллюсков, одновременно интенсифицирует накопление ^{137}Cs в мягких тканях. Данное явление, по-видимому, связано с тем, что данное вещество-антагонист одновременно с селективным торможением тока ионов кальция внутрь клетки способствует накоплению ионов калия в цитоплазме [9]. По этой причине радиоцезий, являющийся аналогом калия, более интенсивно поступает внутрь клетки, что приводит к существенному повышению его концентрации в мягких тканях моллюсков *Unio conus*.

Выводы

Результаты проведенных исследований показывают, что медленные кальциевые каналы играют существенную роль в процессах поступления ^{90}Sr в организм пресноводных моллюсков. Подтверждением этого является существенное снижение интенсивности накопления данного радионуклида моллюсками, медленные кальциевые каналы которых были заблокированы верапамилом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля. – М.: Мир, 1999. – 512 с.
2. Каглян А. Е., Паньков И. В., Волкова Е. Н. Радиоэкологические исследования экосистем верхнего Днепра // Гидробиол. журн. – 1992. – Т. 28, № 3. – С. 98 - 101.
3. Nelson D. J. The strontium and calcium relationships in Clinch and Tennessee river mollusks // Proc. First National Symposium on Radioecology held, Fort Collins, Colorado, Sept. 10 - 15, 1961. – London: Chapman & Hall, 1961. – P. 203 - 300.
4. Frantsevich L., Korniushev A., Pankov I. et al. Application of molluscs for radioecological monitoring of the Chernobyl outburst // Environmental Pollution. – 1996. – Vol. 94, No. 1. – P. 91 - 100.
5. Borghot O., Puymbroeck S. Calcium metabolism in a freshwater molluscs: quantitative importance of water and food as supply for calcium during growth // Nature. – 1966. – Vol. 210, No. 5038. – P. 790 - 791.
6. Borghot O., Puymbroeck S. Active transport of alkaline earth ions as physiological base of the accumulation of some radionuclides in freshwater molluscs // Nature. – 1964. – Vol. 204, No. 4958. – P. 533 - 534.
7. Фуркало Н. К., Следзевская И. К., Каминский А. Г., Лутай М. И. Лечебно-профилактические аспекты диспансеризации при ишемической болезни сердца. – К.: Здоровья, 1991. – 216 с.
8. Sidoumou Z., Gnassia-Bareilly M., Romeo M. Cadmium and calcium uptake in the mollusc *Donax rugosus* and effect of a calcium channel blocker // Bull. Environ. Contam. Toxicol. – 1997. – Vol. 58. – P. 318 - 325.
9. Справочник по клинической фармакологии и фармакотерапии. – К.: Здоровья, 1986. – 736 с.

РОЛЬ ПОВІЛЬНИХ КАЛЬЦІЄВИХ КАНАЛІВ У ПРОЦЕСАХ НАКОПИЧЕННЯ ^{90}Sr ПРІСНОВОДНИМИ ДВОСТУЛКОВИМИ МОЛЮСКАМИ

Д. В. Лукашов

Досліджено процес накопичення ^{90}Sr та ^{137}Cs прісноводними молюсками *Unio conus* (Bivalvia, Unionidae) в умовах природної водойми. Молюски, оброблені верапамилом, накопичували ^{90}Sr у 2,8 разів повільніше, ніж контрольні особини. Це свідчить про важливість повільних кальцієвих каналів у надходженні цього радіонукліда до організму молюсків. Одночасно особини, оброблені верапамилом, у 1,3 рази швидше накопичували ^{137}Cs .

ROLE OF SLOW CALCIUM CHANNELS IN THE ACCUMULATION OF ^{90}Sr OF FRESHWATER MUSSELS

D. V. Lukashov

Accumulation process of ^{90}Sr and ^{137}Cs by freshwater mussels *Unio conus* (Bivalvia, Unionidae) in natural conditions was investigated. The mussels that treated by verapamil accumulated of ^{90}Sr in 2.8 times slowly. It is evidence that slowly calcium channels have great importance in process of radiostrontium accumulation. The process of ^{137}Cs accumulation by this verapamil treating individuals is in 1.3 times quickly than clear mussels at the same time.

Поступила в редакцію 22.02.01,
после доработки – 19.02.02.