

УДК 577.3.0

**МЕХАНИЗМЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ
В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ФРАКЦИОНИРОВАНИИ ИЗОТОПОВ****С.С. Джимак^{1,3}, А.А. Басов², А.А. Елкина^{1,3}**¹ Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия² «Кубанский государственный медицинский университет, Краснодар, Россия³ Южный научный центр РАН, Ростов-на-Дону, Россия

Известно, что многие физические и химические процессы в живых системах сопровождаются изотопным фракционированием атомов биологически значимых элементов, прежде всего Н, С, О и N [1]. Изменения соотношения тяжелых и более легких изотопов биогенных элементов являются основой для возникновения как квантовых (туннельных), так и термодинамических и, как следствие, кинетических изотопных эффектов, проявляющихся в естественных условиях ускорением, замедлением или разветвлением метаболических реакций, а также изменением скорости поступления метаболитов по транспортным каналам, приводящих к локальному флуктуационному увеличению пула биологически активных веществ [2] в отдельных компартментах или органоидах клетки. Кроме того, изменение естественного изотопного соотношения в некоторых структурных компонентах живых систем сопровождается модификацией механизмов отдельных биохимических реакций, что обусловлено у животных и растений, например, компартментализацией [3] и в целом может приводить, в том числе к более быстрому возникновению адаптации при воздействии различных стрессовых факторов.

В работе представлено оригинальное объяснение некоторых физических механизмов (основанных на термодинамических, кинетических и квантовых туннельных эффектах), обеспечивающих стабильное фракционирование изотопов, что приводит к накоплению определенных изотопных форм в интрацеллюлярном и межклеточном пространстве, включая молекулярные эффекты изотопного обмена $^2\text{H}/^1\text{H}$, $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ и других пар атомов, проявление их эффектов *in vivo* на органоидном и организменном уровнях. Также обсуждается новая гипотеза фракционирования тяжелых нерадиоактивных изотопов в живых системах посредством реализации нейтронного эффекта. Сравнительный анализ результатов некоторых экспериментальных исследований показал следующую особенность: весьма вероятно, что развитие «изотопного шока» у живых существ наблюдается в основном, при наличии ковалентных связей между атомами с нечетным числом нейтронов, т. е. имеющих некомпенсированный нейтрон. Установлены следующие условия возникновения нейтронного эффекта в биологических системах:

1. Возникновение нейтронного эффекта в биологических системах наблюдается при наличии химических связей между атомами, у которых имеется суммарное преобладание нейтронов над протонами, выражаемое нечетными положительными числами (1, 3, 5, 7 и т. д.): $N_n - N_p = 2k + 1$, где $k \in \mathbb{Z}$, n – нейтрон, p – протон.

2. Возникновение нейтронного эффекта в биологических системах наблюдается при наличии химических связей между атомами, у которых имеется дробный результирующий спин ядер: $2k \neq A\text{-спин} + A'\text{-спин} \neq 2k + 1$, где $k \in \mathbb{Z}$, A -спин – спин атома;

3. Возникновение нейтронного эффекта в биологических системах наблюдается при наличии химических связей между атомами, у которых имеется противоположный знак спина ядер: $R\text{-спин}^{-+}$, где «+» и «-» представляют собой четность ядра атома.

4. Усиление изотопного резонанса возрастает в следующем ряду условий (постулатов):

$N_n - N_p = 2k + 1 \gg 2k \neq A\text{-спин} + A'\text{-спин} \neq 2k + 1 \gg R\text{-спин}^{-+}$, где $k \in \mathbb{Z}$, n – нейтрон, p – протон, «+» и «-» представляют собой четность ядра атома.

5. Неаддитивное усиление изотопного резонанса ожидается при парном сочетании любых двух условий (постулатов) из трех первых перечисленных (1–2, 1–3, 2–3).

6. Наиболее благоприятные условия для возникновения максимального изотопного резонанса в биологических системах наблюдаются при сочетании всех трех первых условий (постулатов 1–3), что подтверждается экспериментальными данными.

7. В атомах металлов при отсутствии ковалентных или координационных связей величина изотопного резонанса пропорциональна свойствам атома металла: разнице нейтронов и протонов его образующих, спину ядра и четности ядра.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 19-44-230026 p_a и государственного задания ЮНЦ РАН № АААА-А19-119040390083-6.

ЛИТЕРАТУРА

- Schmidt H.L., Robins R.J., Werner R.A. Multi-factorial in vivo stable isotope fractionation: causes, correlations, consequences and applications // *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 2015, Vol. 51, № 1, P. 155–199.
- Galimov E.M. On an erroneous "experience" of isotope fractionation in enzymatic reaction // *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2007, Vol. 81. № 5, P. 831–835.
- Brenna J.T. Natural intramolecular isotope measurements in physiology: elements of the case for an effort toward high-precision position-specific isotope analysis // *Rapid Communicat. in Mass Spectrometry*, 2001, Vol. 15, P. 1252–1262.