

## К ВОПРОСУ О КОНКУРЕНЦИИ В ОРГАНИЗМЕ ЭССЕНЦИАЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛА-ТОКСИКАНТА ABOUT COMPETITION OF TOXIC AND ESSENTIAL TRACE ELEMENTS IN AN ORGANISM

*Н.В. Микшевич*<sup>1\*</sup>, *Л.А. Ковальчук*<sup>2</sup>

*N.V. Mikshevich*<sup>1\*</sup>, *L.A. Kovalchuk*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ГОУ ВПО Уральский государственный педагогический университет, Екатеринбург

<sup>2</sup> Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург

<sup>1</sup> Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Plant and Animal Ecology, Urals Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эссенциальные элементы, токсиканты, экосистемы

KEY WORDS: toxic and essential trace elements, ecosystems

**РЕЗЮМЕ:** На примере тяжёлых металлов: меди, цинка и кадмия рассмотрена роль и место проявления конкурентных явлений при совместном попадании этих элементов в организм. Представленная нами модель теоретически обосновывает явление конкуренции в биосистеме. На базе модели, рассматривающей химические равновесия, определены основные эффекты, вызванные конкуренцией ионов за биолиганды. Отмечены причины маскирования конкурентных процессов в организме.

**ABSTRACT:** We studied the role and place of competitive phenomena during the combined entry of heavy metals (copper, zinc and cadmium) to an organism. The presented model theoretically proves the competition phenomenon in a biosystem. On the basis of this model of the chemical balance we revealed the main effects provoked by the competition for bioligands. We also described the reasons for the hidden competitive processes in an organism.

Механизмы, управляющие накоплением и выведением тяжелых металлов из организма человека и животных, представляют собой объект особо пристального внимания в течение нескольких десятилетий, что связано, в значительной мере, с интенсивным загрязнением среды обитания человека этими поллютантами. Понимание этих механизмов позволяет, с одной стороны, адекватно моделировать поведение этих элементов в биосистемах, а с другой – решать практические за-

дачи по детоксикации организма или ее предотвращению.

Построение моделей «поведения» тяжелых металлов невозможно без изучения взаимодействия химических элементов, и одним из них является процесс конкуренции, заключающийся в ингибировании накопления одного элемента другим, сходным с ним по химическим свойствам и присутствующим в различных концентрациях.

В исследованиях выявлены факты конкуренции между химическими элементами, особенно в тех случаях, когда создаются исходные условия для её проявления, т.е. при совместном поступлении в организм элементов, близких по своим химическим свойствам, но находящихся в различных концентрациях (Левина, 1972; Bourcier et al., 1981). На практике такие условия встречаются в биологических системах на фоне загрязнения окружающей среды выбросами предприятий цветной металлургии, в частности, медеплавильными заводами, в выбросах которых наряду с цинком и медью присутствуют и токсичные элементы: свинец и кадмий, находящиеся в значительно меньших концентрациях по отношению к первым (Wren, 1986; Микшевич, Ковальчук, 1992; Ковальчук, 2008).

Рассматривая процесс конкуренции за биолиганды, в данном случае металлов со схожими химическими свойствами, следует отнести его к антагонистическим процессам, которые подавляют усвоение организмом металла-токсиканта. Проявление этого механизма возможно, начиная с же-

\*Адрес для переписки: Микшевич Николай Владимирович; к.х.н.; E-mail: mikshevich@gmail.com

лудочно-кишечного тракта (взаимодействие ионов тяжелых металлов с находящимися там биолигандами, а также с биолигандами кишечной стенки) и в метаболических процессах в тканях организма в тех случаях, когда осуществляется взаимодействие «металл-лиганд» при упомянутых выше условиях (Скальный, 2004; Оберлис и др., 2008).

Рассмотрение в чистом виде явления конкуренции двух металлов для биосистем предполагает целый ряд допущений, а именно:

- депонирование металлов в критические органы осуществляется в виде биоккомплексов из биологических жидкостей, где они находятся в ионной форме и в виде комплексов с биолигандами;

- оба металла-конкурента образуют комплексы с одним и тем же приоритетным лигандом (максимальная константа устойчивости), который присутствует в многократном избытке по отношению к металлам (в этом случае процессами образования комплексов с другими биолигандами можно пренебречь);

- оба металла образуют комплексы состава 1 : 1;

- эндогенный и экзогенный металлы находятся в организме на уровне микроконцентраций, а следовательно, лишь малая часть приоритетного лиганда участвует в образовании комплекса;

- скорости образования комплексов обоими металлами высоки, и равновесие устанавливается очень быстро;

- концентрация эндогенного металла всегда больше, чем суммарная концентрация ионной и комплексной форм металла-токсиканта.

Исходя из этих элементарных допущений и рассматривая равновесие в системе «два металла – один биолиганд», можно получить зависимость, позволяющую оценить влияние различных факторов на долю экзогенного металла, находящуюся в виде комплекса, т.е. депонированного в критический орган. Наиболее интересными, с нашей точки зрения, являются такие факторы как отношение концентраций металлов-конкурентов и константы устойчивости образующихся комплексных соединений.

Анализ полученных зависимостей показал, что величина константы устойчивости образующихся комплексов (интервал от 1 до  $10^5$ ) влияет на накопление токсиканта (доля комплексной его формы возрастала вдвое с 3,2 до 6,7%). Увеличение концентрации эндогенного металла существенно снижало долю токсиканта, находящегося в комплексной форме (депонированного), но даже стократный избыток первого не подавлял полностью (в практическом смысле) образование комплекса со вторым. Полного подавления не происходит, что показывают расчёты с использованием разработанной нами модели и полученные экспериментальные результаты.

В случае воздействия на организм выбросов

медеплавильных предприятий в рамках предложенной модели в качестве эндогенных металлов следует рассматривать медь и цинк, а экзогенного – кадмий, представляющего опасность в токсикологическом отношении. Группа металлов, доля которых в выбросах значительна, имеет достаточно близкие гидролитические свойства, что должно способствовать проявлению химических закономерностей в их поведении на экосистемном уровне.

Однако, при рассмотрении имеющихся в литературе сведений по накоплению кадмия, в случае сочетанного воздействия с ним на организм потоков меди и цинка, приходится сталкиваться с фактами, не укладывающимися в рамки «конкурентной» модели (Сатонкина, 2005). Это, по видимому, связано с тем, что конкурентные явления наиболее ярко могут проявляться в первое время после попадания тяжелых металлов в организм, тогда как спустя определенный промежуток времени они могут маскироваться другими процессами, обеспечивающими гомеостатическую регуляцию в организме (Скальный, 2004). Последнее обстоятельство требует постановки специальных экспериментов для выявления в чистом виде «работы» процесса конкуренции в организме.

## ЛИТЕРАТУРА

Ковальчук Л.А. Эколого-физиологические аспекты адаптации к условиям техногенных экосистем. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2008. 215 с.

Левина Э.Н. Общая токсикология металлов. М.: Медицина, 1972. 280 с.

Микшевич Н.В., Ковальчук Л.А. О механизме конкурентного влияния на накопление экзогенного тяжелого металла в организме животного // Животные в условиях антропогенного ландшафта. Екатеринбург: УрО РАН, 1992. С.96–101.

Оберлис Д., Харланд Б., Скальный А. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных. Санкт-Петербург: Наука, 2008. 543 с.

Сатонкина О.А. Эколого-физиологические особенности мелких млекопитающих природных и техногенных ландшафтов Уральского региона. Автореф. дис... канд. биол. наук. Екатеринбург, 2005. 24 с.

Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Мир, 2004. 215 с.

Bourcier D.R., Sharma R.P., Brinkerhoff C.R. Cadmium-copper interaction: Tissue accumulation and subcellular distribution of cadmium in mice after simultaneous administration of cadmium and copper // Trace Subst Environ Health. 1981, 15:190–197.

Wren C.D. Mammals as biological monitors of environmental metal levels // Environ Monit and Assessment. 1986, 6(2):127–144.