

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

## ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ И АККУМУЛЯЦИИ НАНОАКВАЦИТРАТОВ МЕДИ И ЦИНКА В ГИДРОЭКОСИСТЕМАХ

О.А. Кравченко\*, В.И. Максин

Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, г. Киев

**РЕЗЮМЕ.** Для оценки поведения и аккумулятивных свойств наноаквацитратов в водных экосистемах выполнены модельные исследования в условиях аквариума на выборке из 90 особей *Cyprinus carpio* L. массой  $35 \pm 8$  г с применением различных доз исследуемых препаратов цинка и меди. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии эффекта накопления концентраций 0,01 мг/л в организме рыб, которые, находясь на вершине трофической пирамиды гидроэкосистем, являются наиболее показательными объектами оценки биологической опасности наноаквацитратов меди и цинка. Показано, что установленные закономерности влияния наноаквацитратов на гидробионты и разработанные критерии их экологической безопасности закладывают основы для практического внедрения указанных веществ в систему противоэпизоотических мероприятий в рыбководстве и аграрном производстве в целом.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** наноаквацитраты, переходные металлы, гидробионты, безопасность, гидроэкосистемы.

### ВВЕДЕНИЕ

Наноматериалы, благодаря уникальному спектру физико-химических и медико-биологических свойств, широко используются в разных отраслях науки и техники. Однако малые размеры ( $10^{-9}$  м) наночастиц несут значительный потенциал угрозы биологическим структурам, а их способность к адсорбции и аккумуляции в экосистемах создает опасность для окружающей среды.

Среди многообразия современных наносоединений широкое распространение в сельском хозяйстве, ветеринарии и медицине получили карбоксилаты нанобиометаллов (Гулич и др., 2012). В частности, с использованием абляционных нанотехнологий в Украине синтезированы цитраты переходных металлов в водных растворах, что позволило назвать их наноаквацитратами. Доказано, что данные соединения проявляют дезинвазионный эффект при обеззараживании животноводческих помещений, почвы, сточных вод (Волошина, 2010). В то же время практическое внедрение наноаквацитратов неизбежно приведет к поступлению и накоплению их в абиотических и биотических компонентах окружающей среды.

Одним из перспективных мероприятий в этом направлении является использование про-

изводных наночастиц на основе солей лимонной кислоты – наноаквацитратов, а также других пищевых кислот – наноаквахелатов (Каплуненко, 2008; Максин, 2013; Трахтенберг, 2013). В последнее время, уникальные свойства наноаквахелатов применяют в качестве препаратов с высокими антисептическими свойствами, а также как эффективные микроудобрения. Известно, что наноаквахелаты служат кофакторами ферментов, участвуя в окислительно-восстановительных реакциях, и способны нейтрализовать реакционные кислородные соединения, в частности, супероксидного анион-радикала, гидроксил-радикала, перекиси водорода (Трахтенберг, 2013). Одними из самых перспективных и интересных соединений являются цитраты переходных и биогенных металлов, полученные с помощью современных нанотехнологий в водных растворах из наночастиц, что позволило назвать их наноаквацитратами. Метод синтеза цитратов металлов значительно дешевле химического и дает возможность получать продукты требуемой чистоты в виде водных растворов. Их концентрации колеблются в широких пределах в зависимости от параметров технологического процесса. Необходимо отметить, что применение нанотехнологий на начальном этапе получения

\* Адрес для переписки:

Кравченко Ольга Александровна  
E-mail: kraol86@mail.ru

наноаквацитратов позволяет достичь их высокой чистоты без каких-либо вторичных примесей, поскольку не используются традиционные химические реакции. В конечном продукте также отсутствуют наночастицы, потому что они сразу после получения вступают в реакцию с чистыми пищевыми кислотами, в частности – с лимонной. Использование деионизированной воды и особо чистых металлов является гарантией их экологической и биологической безопасности (Максин, 2013; Трахтенберг, 2013). Дана гигиеническая оценка и обоснована безопасность для дальнейшего использования наноаквацитратов в качестве источника микро- и макроэлементов для обогащения пищевых продуктов, в том числе воды (Харченко, 2015). Дополнительным преимуществом является их экологическая безопасность и экономическая выгода.

При достаточно свободном попадании наноаквацитратов металлов в водоемы, в том числе в пруды, а также в случае их применения с целью санации водных экосистем и профилактики аэромоноза рыб отсутствует информация о свободном нахождении наноаквацитратов. Известно, что металлы даже в сравнительно малых концентрациях оказывают токсическое влияние на гидробионты, прежде всего на рыб, вследствие биоаккумуляции в их органах и тканях. Вместе с прямым токсическим воздействием на организмы переходные и тяжелые металлы оказывают гонадотоксическое, мутагенное и канцерогенное действие. Так, высокие концентрации цинка в организме рыб приводят к интоксикации крови, нарушению ионообменных процессов, вызывают отслоение респираторного эпителия, снижают темпы роста рыб, их плодовитость, вызывают нарушение репродуктивных функций, а также рефлекторных и поведенческих реакций (Дудник, Евтушенко, 2013).

При условии поступления повышенных концентраций меди у гидробионтов блокируются процессы фотосинтеза, белковый и водородный обмен, отмечено нарушение кровообразования, уменьшение окислительных свойств жабр, некрозы почечных клеток (Дудник, Евтушенко, 2013).

Цель работы – оценить поведение и аккумулятивные свойства наноаквацитратов в водных экосистемах в результате выполнения модельных исследований в условиях аквариума с применением различных доз исследуемых препаратов цинка и меди.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были наноаквацитраты – цитраты переходных металлов (медь,

цинк), полученные методами электроимпульсной абляции (Борисевич и др., 2009). Выбор указанных металлов обусловлен их эссенциальной ролью и широким распространением в окружающей среде. В качестве ко-ферментов соединения этих элементов имеют особое значение в обеспечении широкого спектра физиологических функций живых организмов, вместе с тем чрезмерные концентрации цинка и меди оказывают выраженное токсическое воздействие на биоту (Скальный, 2004).

В отличие от ионных соединений металлов, наносоединения указанных металлов обладают специфическими свойствами, и их биохимические характеристики к настоящему времени почти не детализированы.

Опыты проводились на прудовой воде из водоемов учебно-научно-производственной лаборатории рыбоводства в ПГТ Немешаево Киевской области, используемой при искусственном нересте, культивировании икры и эмбрионов рыб. Измерения содержания металлов в прудовой воде проводили на анализаторе М-ХА 1000-5 по стандартизированным методикам методом инверсионной хронопотенциометрии. Для проведения анализа природную воду очищали с помощью фильтра «синяя лента». Полученный фильтрат объемом 100 мл медленно выпаривали на электрической плитке в термостойком химическом стакане до 5–8 мл.

После охлаждения сухой остаток в стакане растворяли в 15–20 мл 2 М HCl и количественно переносили в мерную колбу вместимостью 25 мл (минерализат). Раствор доводили до метки 2 М HCl.

Для определения массовой концентрации меди 10 мл минерализата переносили в сухой электролизер и проводили измерения массовой концентрации металла с помощью анализатора М-ХА1000-5. Для определения массовой концентрации цинка к 5 мл минерализата добавляли 5 мл 4 М раствора аммоний гидроксида. Массовая концентрация цинка и меди определялась по уравнению (Карнаухов и др., 1997)

$$C = k \cdot m \cdot \frac{\tau_{\text{п}} - \tau_{\text{ф}}}{\tau_{\text{д}} - \tau_{\text{п}}}, \quad (1)$$

где  $C$  – концентрация элемента, г/л;  $k$  – коэффициент нормирования, 1/л;  $m$  – масса добавки, г;  $\tau_{\text{п}}$  – время инверсии пробы;  $\tau_{\text{ф}}$  – время инверсии фонового раствора;  $\tau_{\text{д}}$  – время инверсии пробы с добавкой.

Коэффициент нормирования рассчитывали по формуле:

$$k = \frac{V_{\text{м}}}{V_0 \cdot V_{\text{п}}}, \quad (2)$$

где  $V_m$  – общий объем минерализата, л;  $V_0$  – объем минерализата, взятый для анализа элемента, л;  $V_n$  – объем пробы водного объекта, л.

Исследование аккумулятивной способности наноаквацитратов проводили на выборке из 90 особей карпов (*Cyprinus carpio* L.) массой  $35 \pm 8$  г. Для экспериментов использовали 10-литровые аквариумы с прудовой водой, куда вносили по 10 экземпляров акклиматизированных одноразмерных особей *C. carpio*. Температуру воды поддерживали в пределах  $20 \pm 2$  °С с помощью терморегуляторов. Пробы аэрировали микрокомпрессором.

Количественный анализ содержания металлов в рыбе определяли на атомно-эмиссионном спектрометре с индуктивно связанной плазмой IRIS Intrepid II XPS («Thermo Electron Corporation», США). Для проведения исследований навеску массой 1 г разлагали смесью 7 мл концентрированной азотной кислоты и 2 мл перекиси водорода в минерализаторе проб с последующим десятикратным разведением пробы деионизированной водой.

Растворы наноаквацитратов цинка и меди концентрацией 0,01 и 0,05 мг/л соответственно помещали непосредственно в воду аквариумов. В контрольных аквариумах рыб содержали в прудовой воде без добавления наноаквацитратов. Продолжительность экспозиции составляла 120 ч. Условия содержания контрольной группы рыб не отличались от опытных, за исключением наличия указанных веществ.

Статистическую обработку результатов проводили методами однофакторного дисперсионного анализа с использованием критерия Тьюки–Крамера и *t*-критерия Стьюдента в статистических программах «Statistica 6.0» и с помощью программного обеспечения «Microsoft Excel 2010».

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Фоновое содержание переходных металлов в прудовой воде из водоемов учебно-научно-производственной лаборатории рыбоводства составляло:  $\text{Cu}^{2+}$  – 0,0083 мг/л и  $\text{Zn}^{2+}$  – 0,042 мг/л.

### Содержание переходных металлов в органах и тканях *C. carpio* при 120-часовой экспозиции в растворах с наноаквацитратами, мг/кг ( $M \pm m$ , $n = 10$ )

Наноаквацитрат	Концентрация в воде, мг/л	Органы и ткани карпа			
		Печень	Жабры	Мышцы	Кожа
цинка	Контроль	50,28±4,13	83,99±8,01	6,98±0,71	30,07±4,37
	0,01	56,36±4,27	134,75±7,65***	8,92±0,45	30,71±4,69
	0,05	63,92±4,41	149,65±4,32***	10,29±0,23	35,36±4,71
меди	Контроль	4,26±0,13	0,71±0,01	0,45±0,18	0,44±0,18
	0,01	4,38±0,12	1,1±0,10*	0,53±0,12	0,43±0,1
	0,05	4,76±0,16*	1,702±0,09**	0,75±0,04**	0,48±0,08

Примечание: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$  достоверно относительно величины контрольного варианта.

При внесении доз наноаквацитратов цинка и меди в концентрациях 0,05 мг/л в течение первых трех суток зафиксировано уменьшение концентрации внесенных металлов на 15%, что показано на рисунке. При продолжительности исследования (до 14 суток) отмечена тенденция к постоянному снижению концентрации металлов в воде.

Таким образом, в течение 14 суток эксперимента растворы наноаквацитратов с первичной концентрацией 0,05 мг/л, внесенные искусственно или вследствие техногенных мероприятий, активно элиминируются из водной среды. При этом наноаквацитрат цинка уменьшает свою концентрацию на 30% от первоначального уровня, а наноаквацитрат меди – на 80%. Вероятно, большая часть указанных соединений в водоемах выпадает в осадок, вступает в биохимические циклы и входит в состав солевых комплексов воды.

Учитывая отсутствие данных о самой возможности аккумуляции металлов в форме наноаквацитратов в организме рыб, содержащихся в прудах и водоемах, при загрязнении этими соединениями также были выполнены соответствующие исследования. Целью последних было установление возможных фактов аккумуляции наноаквацитратов цинка и меди и их распределения в организме карпов-однолеток, которые были выбраны объектом контроля вследствие интенсивных ростовых качеств. Результаты экспериментов контролей приведены в таблице.

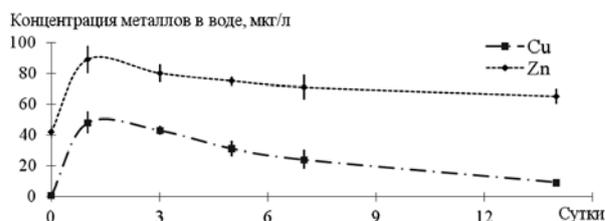


Рис. 1. Экспозиция и объемы уменьшения концентрации наноаквацитратов в воде модельных аквариумов (при внесении дозы 0,05 мкг / л)

Таким образом, по результатам атомно-эмиссионной спектроскопии установлено, что в контрольной группе рыб при отсутствии наноаквацитрата меди органами-мишенями накопления металла были печень и жабры, самая низкая концентрация меди наблюдалась в коже и мышцах рыб.

В результате 120-часовой экспозиции концентрация металла в жабрах увеличивалась соответственно в 1,5 и 2,4 раза соответственно по сравнению с контролем. Также фиксировали рост накопления меди примерно в 1,2 раза в печени (одном из главных детоксикационных органов) при внесении 0,05 мг/л наноаквацитрата меди.

Следует отметить, что в варианте с внесением в аквариумы 0,01 мг/л наноаквацитрата меди содержание металла во всех органах и тканях, кроме жабр, достоверно не отличалось от контрольных показателей. Таким образом, степень накопления указанного вещества в опытных группах *C. carpio* уменьшалась в ряду: печень > жабры > мышцы > кожа.

Полученные результаты закономерностей распределения меди в органах и тканях карпа в целом согласуются с литературными источниками (Дрогомирецкая и др., 2010).

Как свидетельствуют данные таблицы, в результате 120-часовой экспозиции в среде с наноаквацитратами цинка наиболее чувствительными к данному металлу оказались жабры, в которых зафиксирован максимум накопления.

Аккумуляцию цинка в жабрах можно объяснить тем, что данный орган находится в прямом контакте с водной средой, что делает его мишенью для водных поллютантов (Scott, Sloman, 2004). По результатам эксперимента, в вариантах внесения наноаквацитрата цинка с концентрациями 0,01 и 0,05 мг/л концентрация цинка в жабрах опытных рыб соответственно возрастала примерно в 1,6 и 1,8 раза по сравнению с контролем, что в то же время ниже аналогичных показателей аккумулялирующей способности меди.

Повышенное содержание цинка в печени обусловлено тем, что орган является функциональным депо цинка и участвует в детоксикационных процессах организма (Jayakumar, Paul, 2006). Следует отметить, что содержание цинка в печени, коже и мышцах опытных рыб достоверно не отличалось от контрольных показателей по критерию Тьюки–Крамера как в вариантах с внесением 0,01 мг/л, так и 0,05 мг/л, что свидетельствует о низкой аккумулялирующей способности наноаквацитрата цинка.

Низкие показатели биоаккумуляции металлов в мышцах можно объяснить тем, что данный орган не находится в прямом контакте со средой

токсиканта и имеет внешний барьер – кожу, которая во многих случаях предотвращает проникновение загрязнителя. Вместе с тем низкая кумуляция перкутальным путем происходит из-за высокой мукогенетической активности эпителия, который препятствует проникновению поллютантов в организм рыб (Дрогомирецкая и др., 2010).

В результате исследования выявлено, что степень накопления наноаквацитрата цинка опытными группами *C. carpio* уменьшалась в ряду: жабры > печень > кожа > мышцы.

Таким образом, установлено, что органами, аккумулялирующими наноаквацитраты меди и цинка, являются печень и жабры, низкие концентрации металлов наблюдаются в коже и мышцах рыб. В целом, распределение наноаквацитратов металлов зависит от базисного металла и его концентрации в воде.

Определено, что при условии внесения в водную среду наноаквацитрата цинка и меди концентрацией 0,01 мг/л, достоверное отличие от контрольных показателей зафиксировано только в содержании металлов в жабрах, в то же время повышение концентраций обуславливает достоверные отличия от контрольных показателей по содержанию металлов в печени, жабрах и мышцах.

## ВЫВОДЫ

1. Наноаквацитраты при попадании в гидроэкосистему быстро подвергаются элиминации из водной толщи, поглощаясь гидробионтами и выпадая в осадок, превращаясь при этом в нерастворимые, биологически неактивные соединения.
2. Полученные данные свидетельствуют об отсутствии эффекта накопления концентраций 0,01 мг/л в организме рыб, которые, находясь на вершине трофической пирамиды гидроэко систем, являются наиболее показательными объектами оценки биологической опасности наноаквацитратов меди и цинка.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Борисевич В.Б., Борисевич Б.В., Каплуненко В.Г. Нанотехнологія у ветеринарній медицині. Київ: ТОВ "Наноматеріали і нанотехнології", 2009. 232 с.

(Borysevych V.B., Borysevych B.V., Kaplunenko V.H. [Nanotechnology in veterinary medicine]. Kyiv: TOV "Nanomaterialy i nanotekhnolohiyi", 2009 [In Ukr]).

Волошина Н.О. Порівняння оводної ефективності наночасток деяких металів як дезінваційних засобів. Вісник зоології. 2010. Т. 44, № 3. С. 271–274.

(Voloshyna N.O. [Comparison of ovicide efficiency of nanoparticles of some metals as desinvasive agents]. Visnyk zoologiyi. 2010, 44(3): 271–274 [in Ukr]).

Гуліч М.П., Харченко О.О., Ємченко Н.Л. Цитрати магнію, отримані за аквананотехнологією: хімічна та біоло-

гічна характеристики. Довкілля та здоров'я. 2014. № 4 (71). С. 14–18.

(Hulich M.P., Kharchenko O.O., Yemchenko N.L. [Magnesium citrate obtained by aquanotechnology: chemical and biological characteristics]. *Dovkillya ta zdorov'ya*. 2014, 71(4): 14–18 [in Ukr]).

Дрогомирецька І.З., Мазепа М.А., Мазепа І.В. Експериментальне дослідження розподілу кадмію і нікелю в органах і тканинах *Cyprinus carpio* L. *Современные проблемы токсикологии*. 2010. № 4. С. 39–42.

(Drohomyrets'ka I.Z., Mazepa M.A., Mazepa I.V. [Experimental study of distribution of cadmium and nickel in the organs and tissues of *Cyprinus carpio* L.]. *Sovremennye problemy toksikologii*. 2010, 4: 39–42. [in Ukr]).

Дуднік С.В., Євтушенко М.Ю. Водна токсикологія: основні теоретичні положення та їхнє практичне застосування: монографія. Київ: Видавництво фітосоціологічного центру, 2013. 295 с.

(Dudnik S. V. Yevtushenko M. Yu. (2013) [Water toxicology: basic theoretical concepts and their practical application]. Kyiv: Vydavnytstvo fitosotsiologichnoho tsentru, 2013 [in Ukr]).

Карнаухов О.І., Полумбрік О.М., Безніс А.Т., Суворцев І.В. Інверсійно-хронопотенціометричне визначення важких металів в об'єктах навколишнього середовища. Київ: УГУ-ПТ, 1997. 88 с.

(Karnaukhov O.I., Polumbryk O.M., Beznis A.T., Surovtsev I.V. [Inversion-chronopotentiometry determination of heavy metals in environmental objects]. Kyiv: UHUPТ, 1997 [in Ukr]).

Максин В.И., Каплуненко В.Г., Копилевич В.А., Косинов Н.В. Материалы Международной конференции «Украина – Россия – Сколково. Единое инновационное пространство», 22-23 мая 2013. С. 3–4.

(Maksin V.I., Kaplunenکو V.G., Kopilevich V.A., Kosinov N.V. Proceedings of Mezhdunarodnoy konferentsii «Ukraina – Rossiya – Skolkovo. Yedinoe innovatsionnoe prostranstvo» (Ukraine, Kiev, May 22-23, 2013). Kiev. 2013:3–4 [in Ukr]).

Скальный А.В. Химические элементы в физиологии и экологии человека. М.: Издат. Дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004. 216 с.

(Skalny A.V. [Chemical elements in human physiology and ecology. Moscow, 2004 [in Russ]).

Трахтенберг І.М., Дмитруха Н.М. Наночастинки металів, методи отримання, сферизації, фізико-хімічні та токсичні властивості. *Український журнал з проблем медицини праці*. 2013. № 4 (37). С. 62–74.

(Trakhtenberh I. M., Dmytrukha N.M. *Ukrayins'kyu zhurnal z problem medytsyny pratsi*. 2013, 37 (4):62–74 [in Ukr]).

Харченко О.О. Гігієнічна оцінка цитратів біметалів, отриманих за допомогою аквананотехнологій: автореф. дис...канд. біол. наук. К., 2015. 20 с.

(Kharchenko O.O. *Hihiyenichna otsinka tsytrativ bi-metaliv, otrymanykh zadopomohoyu akvananotekhnolohiy* (PhD Thesis). 2105. Kyiv: Instytut hihiyeny ta medychnoyi ekolohiyi imeni O.M. Marzyeyeva NAMN Ukrayiny [in Ukr]).

Jayakumar P., Paul V. Patterns of cadmium accumulation in selected tissues of the catfish *Clarias batrachus* (Linn.) exposed to sublethal concentration of cadmium chloride. *Veterinarski arhiv*. 2006, 76 (2): 167–177.

Scott G.R. Sloman K.A. The effects of environmental pollutants on complex fish behavior: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. *Aquat. Toxic.* 2004, 68: 382–392.

## BEHAVIOUR AND ACCUMULATION FEATURES OF ZINC AND COPPER NANOACITRATES IN HYDROECOSYSTEMS

*O.A. Kravchenko, V.I. Maksin*

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony str. 17, Kyiv-03041, Ukraine

**ABSTRACT.** It was determined the research results that allow solving scientific and practical problems in the study of influence, accumulation and safety of nanoaquacitrates in hydroecosystems and hydrobionts. The model investigations with experimental hydrobionts *Cyprinus carpio* L in the water with different concentration of nanoaquacitrates have been carried out. It has experimentally been analyzed that nanoaquacitrates relatively quickly yield to elimination due to absorption, as well as precipitation, thus transmutating into insoluble, biologically less active substances.

The accumulation of nanoaquacitrates in animals depended on the base metal and its concentration in water. An increase of zinc and copper content in the animal liver and gills has been found. At the same time, the content of nanoaquacitrates in skin and muscles of the fish has not differed significantly between all experimental groups of hydrobionts, including the control group. The absence of accumulation effect of the copper and zinc nanoaquacitrate at the concentration of 0.01 mg/L has been indicated. Thus, the established patterns of nanoaquacitrate influence on the hydrobionts and the criteria of their environmental safety have been developed. They lay the foundation for the practical implementation of these substances in anti-epizootic measures in aquaculture and agricultural production in general.

**KEYWORDS:** nanoaquacitrates, transition metals, hydrobionts, safety, hydroecosystems.

## ИНФОРМАЦИЯ

### **О ПРОВЕДЕНИИ IV МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «БИОЭЛЕМЕНТЫ»**

С 17–19 ноября 2016 г. на базе Оренбургского государственного университета состоялась IV Международная научно-практическая конференция «Биоэлементы». В работе участвовали молодые ученые и специалисты из гг. Оренбурга, Москвы, Красноярска, Волгограда, Чебоксар, Екатеринбурга.

Пленарное заседание открыл директор Института биоэлементологии, Президент РОСМЭМ А.В. Скальный. В своем выступлении он подчеркнул важность проведения подобных конференций, поскольку эта область науки требует активной деятельности и особого внимания широкого круга ученых для решения проблем. Анатолием Викторовичем была представлена информация о повышенном интересе к проблеме роли микроэлементов в здоровье человека, которая наблюдается в последнее десятилетие в нашей стране. Он изложил современные знания о роли микроэлементов в диагностике, профилактике и лечении заболеваний, укреплении здоровья людей.

Участников конференции приветствовал профессор Университета Хиросимы (Япония) Рио Секия. В выступлениях ученых – профессора, д.с.-х.н. Волошина Е.И., ст. науч. сотрудника научно-производственной лаборатории клеточных технологий ОГУ Бурцевой Т.И., чл.-корр. РАН, исполнительного директора Института

биоэлементологии ОГУ Мирошникова С.А., директора ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт физиологии, биохимии и питания животных» Ушакова А.С., профессора, председателя РОСМЭМ Скального А.В. были представлены результаты научных исследований по актуальным направлениям биоэлементологии, касающиеся изучения обмена макро- и микроэлементов в организме человека и животных. Обсуждены вопросы экологической и геохимической биоэлементологии.

В течение трех дней на пленарном и секционных заседаниях было заслушано свыше 35 докладов и представлено 15 стендовых сообщений по различным аспектам биоэлементологии, в том числе по секциям: биоэлементы в физиологии человека и животных; биоэлементы в фармакологии и нанобиологии; биоэлементы в биотехнологии, питании человека и животных; аналитические методы исследований в биоэлементологии; гигиеническая диагностика, оценка риска и профилактика элементозов, экологические исследования; биоэлементы в патологии человека и животных.

Материалы конференции будут опубликованы на страницах журналов «Вестник Оренбургского государственного университета» и «Микроэлементы в медицине».