

УДК 599.322/.324/599.36/.38

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНИЗМЕ МЕЛКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ

© 2014 Е.А. Быкова, С.Н. Гашев

Тюменский государственный университет

Поступила в редакцию 20.04.2014

В статье описаны закономерности накопления микроэлементов в организме разных видов мелких млекопитающих (малой белозубки, восточной слепушонки, гребенщиковой песчанки, домашней мыши и серой крысы) в условиях урбанизации. Было показано, что содержание микроэлементов не зависит от степени урбанизации. Уровень накопления тяжелых металлов и токсичных элементов в организме мелких млекопитающих связан с особенностями их биологии, в первую очередь, с пищевой специализацией видов. Накопление микроэлементов убывает в ряду: виды, питающиеся подземными частями растений – семенояды – насекомоядные – всеядные. В организме экзотропных видов отмечены более высокие уровни содержания тяжелых металлов по сравнению с эвсинантропами.

Ключевые слова: *микроэлемент, тяжелые металлы, урбанизация, мелкие млекопитающие, пищевая специализация, экзотропы, эвсинантропы*

Для изучения закономерностей накопления микроэлементов в организме мелких млекопитающих (ММ) в зависимости от урбанизации нами изучался состав и концентрации тяжелых металлов в костной ткани городских и природных популяций микромаммалий. Пробы брались от 14 образцов костной ткани 5 видов мелких млекопитающих: малой белозубки *Crocidura suaveolens*, восточной слепушонки *Ellobius tancrei*, гребенщиковой песчанки *Meriones tamariscinus*, домашней мыши *Mus musculus* и серой крысы *Rattus norvegicus*. Костные остатки извлекались из погадок ушастой совы, зимующей на территории Ташкента и в прилегающих областях. Сбор материалов проводился на 3 участках: 2 опытные площадки были заложены на территории города (Дендропарк и Узбекский НИИ Растениеводства), контрольная площадка располагалась на территории природоохранного хозяйства «Сайхун». Содержание в костной ткани элементов определялись путем проведения ICP-MS спектрального анализа в химической лаборатории Центра судебной экспертизы Республики Узбекистан. В результате было определено среднее содержание 24 химических элементов с атомным весом свыше 50: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Br, Sr, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, W, Hg, Tl, Pb, Bi, U.

При сравнении ММ контроля и городских площадок по количеству элементов с максимальными дозами накопления было отмечено, что везде по данному показателю лидирует восточная слепушонка. Так, в контроле у этого вида отмечен максимальный уровень накопления 6 элементов (железо, кобальт, селен, барий, ртуть, уран). Наиболее высокие значения отмечены для урана, его доза в костях слепушонки в 3.6 раз выше, чем в костях домашней мыши. В Дендропарке для слепушонки показаны максимальные значения по 13 из 24 микроэлементов, наиболее существенные содержания по сравнению с другими видами отмечены для бария (в 3,3 раза выше, чем у малой белозубки, в 2,4 раза выше, чем у домашней мыши, в 2,2 раза выше, чем серой крысы) и таллия (в 5,5 раза выше, чем у домашней мыши, в 4,5 раза выше, чем у серой крысы). У слепушонки из НИИ Растениеводства отмечены максимальные значения по 10 элементам. После слепушонки по количеству элементов с максимальными дозами накопления следуют гребенщикова песчанка (контроль – 6 элементов, НИИ Растениеводства – 9 элементов) и малая белозубка (контроль – 6 элементов, Дендропарк – 4 элемента, НИИ Растениеводства – 4 элемента). Наименьшие дозы токсичных элементов и тяжелых металлов накапливаются в костях эвсинантропов – домашней мыши (контроль – 2 элемента, Дендропарк – 1 элемент, НИИ Растениеводства – 1 элемент) и серой крысы (контроль – 5 элементов, НИИ Растениеводства – не отмечено).

*Гашев Сергей Николаевич, доктор биологических наук, заведующий кафедрой зоологии и эволюционной экологии животных. E-mail: gsn-61@mail.ru*  
*Быкова Елена Александровна, научный сотрудник Зоологического музея. E-mail: esipov@xnet.uz*

элементов с максимальными концентрациями). Слепушонка, преимущественно питающаяся подземными частями растений, аккумулирующими токсические вещества, демонстрирует наибольшие показатели содержания микроэлементов с максимальными дозами накопления в костях. Средние показатели накопления демонстрируют гребенщикова песчанка, питающаяся преимущественно семенами растений, также накапливающими токсические вещества, и малая белозубка – хищник, питающийся насекомыми. Домовая мышь и особенно серая крыса, в рацион которых помимо естественной пищи входят столовые отбросы человека, показывают наименьшие уровни накопления микроэлементов.

Таким образом, нами было показано присутствие 24 элементов во всех обследованных образцах костной ткани, принадлежащих 5 видам мелких млекопитающих. Сделано предположение, что уровень накопления в организме токсичных элементов и тяжелых металлов, в первую очередь, связан с пищевой специализацией видов. Наибольшее количество микро-

элементов с максимальным содержанием было отмечено в костной ткани зверьков, питающихся подземными частями растений, среднее количество микроэлементов с максимальным содержанием отмечено у семеноядных и насекомоядных видов, минимальное количество у синантропных грызунов с широким спектром питания. Анализ по среднему содержанию элементов в костной ткани различных видов мелких млекопитающих на урбанизированных и природных территориях показал видоспецифичность их накопления независимо от площадки (табл. 1). У восточной слепушонки имеется превышение по 12 элементам в контроле и по 12 элементам в опыте, при этом кадмий отсутствует в контроле. Среднее содержание меди у городской популяции слепушонки в 1,5 раза, стронция в 1,6 раз, цинка в 1,7 раз, свинца в 2,3 раза, а бария в 2,3 раза выше, чем у природной. Напротив, по среднему содержанию таллия и урана дикие зверьки опережают городских в 1,6 раз и 2 раза соответственно (табл. 1).

**Таблица 1.** Среднее содержание микроэлементов в костной ткани ММ на опыте (Ташкент) и в контроле (Сайхун)

Элементы	Содержание микроэлементов в костной ткани ММ, мг/кг									
	<i>El.tancrei</i>		<i>Cr.suaveolens</i>		<i>M.tamariscinus</i>		<i>R.norvegicus</i>		<i>M.musculus</i>	
	опыт	контр	опыт	контр	опыт	контр	опыт	контр	опыт	контр
V	1,185	1,4	1,35	1,6	1,1	1,1	1,1	1	0,955	0,72
Cr	26,5	29	28	30	31	33	30,5	30	27,5	22
Mn	32	33	25,5	29	34	22	22,5	52	30	29
Fe	2750	3100	2650	2900	3200	2700	2650	2800	2600	2200
Co	1,45	1,6	1,35	1,4	1,4	1,4	1,2	1,3	1,25	1,1
Ni	20	21	21	22	24	23	22	22	20,5	18
Cu	11	7,5	8,35	16	19	55	5,6	23	6,6	5,4
Zn	160	94	97,5	100	120	130	155	150	125	110
As	0,97	1	0,8	4	0,71	0,66	0,79	0,82	0,74	0,92
Se	12	15	11	14	13	13	13	11	12,5	12
Br	75	63	64,5	66	69	76	37,5	60	23,5	22
Sr	725	450	250	310	190	440	330	470	300	380
Mo	1,5	1,4	1,5	1,4	1,6	1,8	1,5	1,5	1,45	1
Ag	15,25	13	31,5	55	64	18	2,35	100	10,85	76
Cd	0,25	0	0,135	0,26	0	0,26	0,095	0,19	0,225	0,18
Sn	44,5	49	48	47	54	51	55,5	53	47	48
Sb	1,245	0,2	0,825	10	0,13	0,2	0,41	0,55	0,155	4,9
Ba	88	38	32,5	22	44	18	48,5	18	52,5	26
W	0,545	0,37	0,775	9,2	0,3	0,28	0,36	0,33	12,68	6
Hg	0,855	1,1	0,745	0,78	0,7	0,79	0,71	0,63	0,58	0,61
Tl	0,057	0,089	0,041	0,092	0,029	0,037	0,015	0,018	0,013	1,1
Pb	10,65	4,9	5,65	-	4,1	3,5	7,4	4,3	14	-
Bi	0,082	0,072	0,145	1,1	0,2	0,072	0,2065	0,052	0,045	0,088
U	0,2	0,4	0,165	0,24	0,18	0,2	0,0995	0,15	0,125	0,11
Кол-во эл-тов с максим. ср. содерж.	12	12	2	21	10	11	12	10	15	9

Таким образом, при равном числе микроэлементов с максимальными дозами накопления у слепушонок, добытых в опыте и контроле, наиболее высокие концентрации показаны для городских зверьков. При изучении среднего содержания микроэлементов в черепах слепушонок по сравнению с другими видами были отмечены наиболее высокие показатели накопления кобальта, селена, ртути и урана в контроле; цинка, стронция и бария в опыте (табл. 1).

Отметим, что рекордно высокие показатели среднего содержания свинца были обнаружены нами у домовый мыши (20000 мг/кг) и у малой белозубки (780 мг/кг) в контроле. Однако эти величины настолько выходят за общий ряд, что мы исключили их из анализа как случайные. Вслед за ними наиболее высокая концентрация свинца была отмечена в организме слепушонок из Ташкента. Вероятнее всего, высокие показатели бария, свинца и цинка в организме городских слепушонок связаны с наличием автодорог и производством металлургических, лакокрасочных и фарфоровых изделий в Ташкенте. Высокие концентрации стронция у городских зверьков говорят о высоком естественном фоне этого металла в Ташкенте. Высокие дозы урана у контрольных зверьков, вероятно, также связаны с естественным фоном этого элемента на Сайхуне. Источником накопления ртути, селена, кобальта у контрольных слепушонок является автомобильная дорога, проходящая вблизи природоохранного хозяйства. Эти элементы, как правило, входят в состав выхлопных газов.

Для малой белозубки показано превышение среднего содержания по 21 микроэлементу в контроле по сравнению с опытом. Наиболее существенное превышение показано по таким микроэлементам как мышьяк, висмут, вольфрам, сурьма и свинец (табл. 1). Таким образом, нами показано явное превышение концентрации тяжелых металлов в костной ткани малой белозубки на контрольной территории по сравнению с городскими. При сравнении среднего содержания микроэлементов в костной ткани черепов малой белозубки по сравнению с другими видами отмечены наиболее высокие показатели накопления таких микроэлементов как ванадий, кадмий, сурьма, висмут и мышьяк в контроле. Высокие концентрации последнего могут быть связаны как с автомобильными дорогами, так и с использованием фунгицидов, что вполне характерно для аграрной области, в границах которой расположено природоохранное хозяйство «Сайхун». Не вполне понятен источник загрязнения контрольных зверьков сурьмой, висмутом и ванадием, источником которых может быть стекольное и лакокрасочное производство, а также ванадия, встречающегося в выбросах энергетических установок. Такими производствами

изобилуют промышленные районы Ташкента (Ташкентский фарфоровый и лакокрасочный заводы, Ташкентская ТЭЦ), но они отсутствуют в окрестностях природоохранного хозяйства «Сайхун», расположенного в Сырдарьинской области, где основное производство сосредоточено вокруг переработки текстильной и плодовоовощной продукции, производства строительных материалов. Вероятно, высокие доли этих элементов связаны с особенностями их трансмиссии из промышленных центров Ташкентской области и последующего накопления в естественных средах.

Гребенщикова песчанка обнаружена только на территории НИИ Растениеводства (опыт) и природного хозяйства Сайхун (контроль). В контроле показано превышение по 11 микроэлементам по сравнению с опытным участком в Ташкенте. Наиболее существенные различия найдены по стронцию и меди. На опытном участке обнаружено превышение концентраций по 10 элементам, наиболее существенные различия найдены по барии, висмуту, серебру (табл. 1). Таким образом, не было обнаружено существенной разницы по микроэлементам с максимальными дозами для дикой и городской популяций гребенщиковой песчанки. При изучении среднего содержания микроэлементов в черепах гребенщиковой песчанки по сравнению с другими видами микромаммалей отмечены наиболее высокие показатели накопления хрома, меди, брома и молибдена в контроле; железа и никеля в Ташкенте. Высокие содержания железа и никеля в костной ткани городских зверьков, скорее всего, обусловлены выбросами машиностроительных и энергетических производств, расположенных в городе и его окрестностях. Высокое содержание хрома у контрольных зверьков можно связать с текстильным производством, а брома, входящего в состав этилированного бензина – с накоплением из выхлопов автомобилей. Высокие концентрации меди могут быть связаны как с промышленным производством, так и с использованием в сельском хозяйстве фунгицидов, в состав которых входят соединения меди в сочетании с соединениями мышьяка. Последнее более вероятно для Сайхуна, окруженного плотным кольцом сельхозугодий.

У серой крысы в контроле отмечено превышение по 12 элементам, в опыте по 10 элементам. Наиболее существенное превышение концентраций отмечено для меди, марганца, бария, висмута. В контроле по содержанию в тканях серебра природные зверьки превышают городских. Таким образом, не обнаружено существенной разницы по количеству элементов с максимальной концентрацией в организме городских и контрольных серых крыс. Обращает

на себя внимание рекордно высокие среди всех исследуемых видов показатели содержания серебра и марганца у сайхунских крыс (табл. 1), что, вероятно, связано с естественными фонами этих микроэлементов на данной территории. Самый высокий показатель среднего содержания олова обнаружен у крыс из Ташкента. Его источником является транспорт.

Было отмечено, что у городских домашних мышей имеется превышение по 15, а у диких по 9 микроэлементам. При этом наиболее существенное превышение показано для сурьмы, серебра, таллия, свинца, бария и вольфрама (табл. 1). Таким образом, городская популяция домашних мышей содержит большее количество микроэлементов с максимальными концентрациями по сравнению с контрольными. Однако именно у диких домашних мышей в организме обнаружены чрезвычайно высокие концентрации таллия (1,1 мг/кг). Таллий используется в стекольной промышленности, но может также содержаться в приманках, применяемых для уничтожения грызунов. В организме ташкентских домашних мышей обнаружено самое высокое среднее содержание вольфрама (12,68 мг/кг), что связано с особенностями металлогенности данного района (Быкова и др., 2002).

Таким образом, высокий уровень загрязнения характерен как для урбанизированных, так и для неурбанизированных территорий. При этом особенности накопления тяжелых металлов в организме мелких млекопитающих зависят от целого ряда факторов, связанных как с биологией самих зверьков, так и с закономерностями трансмиссии микроэлементов от источника загрязнения с последующим накоплением в различных субстратах, включая биологические. Уровень содержания тяжелых металлов в организме животных связан и с естественной металлогенностью региона исследования, для которого характерны рудопоявления вольфрама и полиметаллических руд (Руденко, 2008). Уровень накопления микроэлементов в организме мелких млекопитающих связан с образом жизни и, в первую очередь, с питанием. Наиболее высокое содержание химических элементов отмечено у экзоантропов.

При сравнении обобщенных данных по содержанию микроэлементов в костной ткани мелких млекопитающих из городских и природных популяций были обнаружены достоверные отличия по содержанию никеля, бария, свинца (выше в синантропных популяциях), кобальта, кадмия, вольфрама (выше в природных популяциях). Показаны также значительные отличия по таким микроэлементам как медь, мышьяк, селен, серебро, сурьма, таллий и уран (выше в

природных популяциях), цинк (выше в городских популяциях) (табл. 2). В целом можно отметить, что концентрации микроэлементов в организме грызунов и насекомоядных выше на территории Сайхуна по сравнению с городскими участками. Здесь показано превышение по содержанию 19 из 24 изученных химических элементов, в то время как у городских зверьков отмечено более высокое содержание 5 элементов (табл. 2). Это указывает на высокий уровень трансмиссии токсичных элементов и тяжелых металлов, как в городе, так и за его пределами.

Как видно из вышеизложенного, не удается показать увеличения концентрации токсичных элементов и тяжелых металлов в костной ткани мелких млекопитающих по градиенту урбанизации, поскольку высокие концентрации микроэлементов были показаны как для урбанизированной, так и для неурбанизированной территории, причем, зачастую последняя лидировала по количеству элементов с максимальным средним содержанием в костной ткани зверьков. Источники высоких концентраций микроэлементов на природной территории, где помимо автомобильной дороги, проходящей вблизи границ природоохранного хозяйства, не было отмечено иных промышленных объектов, требуют дополнительного изучения. Расположение Сайхуна ниже по течению, вероятно, создает предпосылки для более высокого накопления ряда загрязняющих веществ. Токсичные элементы и тяжелые металлы, обнаруженные в костной ткани мелких млекопитающих, являются следствием загрязнения почв, воды, воздуха и растительности на исследуемых участках. Источниками загрязнения в Ташкенте помимо разветвленной транспортной сети являются различные промышленные предприятия. Также повышенное содержание ряда тяжелых металлов (вольфрам, серебро, стронций, уран) в организме животных связан с естественной металлогенностью региона исследования.

**Выводы:** уровень накопления токсичных элементов и тяжелых металлов в организме мелких млекопитающих связан с особенностями их биологии, в первую очередь, с пищевой специализацией видов. Накопление микроэлементов убывает в ряду: виды, питающиеся подземными частями растений – семяяды – насекомоядные – всеядные. В организме экзоантропных видов отмечены более высокие уровни содержания тяжелых металлов по сравнению с эвсинантропами.

*Работа выполнена в рамках базовой части государственного задания Министерства образования и науки РФ № 01201460003.*

**Таблица 2.** Микроэлементный состав костей ММ на контрольной и опытных площадках

Элементы	Среднее содержание микроэлементов, мг/кг			
	контроль		опыт	
	X ср	± m	X ср	± m
V	1,164	0,153935	1,148	0,054
Cr	28,8	1,827567	28,55	0,95
Mn	33	5,069517	28,025	1,775
Fe	2740	150,333	2722,5	2,5
Co	<b>1,36***</b>	0,08124	<b>1,325***</b>	0,675
Ni	<b>21,20*</b>	0,860233	<b>21,225*</b>	0,025
Cu	21,38	8,971867	8,875	2,225
Zn	116,8	10,30728	132,875	0,875
As	1,48	0,63255	0,8205	0,0745
Se	13	0,707107	12,25	0,25
Br	57,4	9,249865	51,7	4,7
Sr	410	29,15476	389,25	103,25
Mo	1,42	0,128062	1,5	0
Ag	52,4	16,68113	19,7025	6,5775
Cd	<b>0,178***</b>	0,047582	<b>0,157***</b>	0,003
Sn	49,6	1,077033	49,375	0,375
Sb	3,17	1,925461	0,604	0,038
Ba	<b>24,4***</b>	3,709447	<b>54,1***</b>	0,1
W	<b>3,236***</b>	1,852103	<b>2,9535***</b>	2,4285
Hg	0,782	0,087715	0,723	0,029
Tl	0,267	0,208698	0,03	0,005
Pb	<b>2,54***</b>	0,314113	<b>8,735***</b>	0,885
Bi	0,279	0,205879	0,13	0,013
U	0,22	0,0501	0,154	0,028

Примечание: \* - (P<0,05); \*\* - (P<0,01), \*\*\* - (P<0,001) – достоверные различия между опытом и контролем

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:**

1. Быкова, Е.А. Содержание токсичных элементов и тяжелых металлов в костной ткани сурка Мензбира / Е.А. Быкова, А.В. Есипов, А.А. Руденко, Е.И. Гражданкина // Сурки в степных биоценозах Евразии. 8 совещание по суркам стран СНГ. – Чебоксары-Москва, 2002. С. 13-14.
2. Руденко, А.А. Содержание микроэлементов в некоторых лекарственных растениях, произрастающих на участке Башкызылсай Чаткальского заповедника // Труды заповедников Узбекистана. – Ташкент. 2008. Вып. 6. С. 212-216.

**PECULIARITIES OF MICROELEMENTS ACCUMULATION  
IN THE ORGANISM OF SMALL MAMMALS IN THE  
URBANIZATION CONDITIONS**

© 2014 Е.А. Bykova, S.N. Gashev

Tyumen State University

In article regularities of microelements accumulation in an organism of different types of small mammals (lesser shrew *Crocidura suaveolens*, mole vole *Ellobius tancrei*, tamarisk gerbil *Meriones tamariscinus*, house mouse *Mus musculus* and Norway rat *Rattus norvegicus*) in the urbanization conditions are described. It was shown that microelements maintenance don't depend on urbanization degree. Level of accumulation the heavy metals and toxic elements in an organism of small mammals is connected with features of their biology, first of all with food specialization of types. Microelements accumulation decreases among: the types feeding on underground parts of plants – seed-eaters – insectivorous – omnivorous. In an organism the exoanthropic types higher levels of heavy metals content in comparison with obligate sinanthrops are noted.

Key words: *microelements, heavy metals, urbanization, small mammals, food specialization, exoanthrops, obligate sinanthrops*

Elena Bykova, Research Fellow at the Zoology Museum. E-mail: esipov@xnet.uz; Sergey Gashev, Doctor of Biology, Head of the Department of Zoology and Evolutionary Ecology of Animals. E-mail gsn-61@mail.ru