



УДК 550.4.574

## ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТОВ КАЛМЫКИИ

© 2010. Сангаджиева Л.Х., Сангаджиева О. С., Даваева Ц.Д., Ходыков В.П., Бадмаева З.Б.  
Калмыцкий государственный университет

Один из крупнейших Изучено содержание тяжелых металлов (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) в почвах северо-запада Прикаспийской низменности в пределах Калмыкии и их дальнейшее распределение по пищевой цепи: растительные корма - овцы. Выявлено, что на всех уровнях пищевой цепи наибольшее биологическое накопление характерно для Zn и Cd. Наблюдается увеличение коэффициента перехода наиболее токсичных элементов, что свидетельствует об их накоплении в более высоких звеньях пищевой цепи.

The concentrations of heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd, Pb) in the soil of nord-west part of Precaspian low-land and their subsequent distribution over the trophic chain: plant fodder - sheep are investigated. It was revealed that the highest biogenic accumulation is characteristic of Zn and Cu at all the levels of trophic chain. An increase in the transition coefficients for the most toxic elements Pb, Cd is observed, which is an evidence of their accumulation in the higher levels of trophic chain.

**Ключевые слова:** почвы, корма, пищевая цепь, тяжелые металлы.

**Keywords:** soil, plant food, trophic chain, heavy metals.

Sangadzhieva L.Ch., Sangadzhieva O.S., Davaeva Zh.D., Chodyacov V.P., Badmaeva Z.B.  
Heavy metals in the landscape components of the Kalmykia

Республика Калмыкия (РК) характеризуется как сельскохозяйственный регион, а в настоящее время – как промышленно-развивающийся регион с возрастанием техногенного воздействия на среду (добыча нефти и газа, разработка карьеров полезных ископаемых). Прикаспийская низменность занимает восток РК и расположена в неблагоприятных для развития сельского хозяйства почвенно-климатических условиях, поэтому исторически сложилось, что эта территория самая малонаселенная: на ней проживает 1/3 населения РК. В настоящее время около 30% территории превращено в агроландшафты, 20% - в селитебные зоны и транспортные магистрали. Большая часть земель используется под орошаемое земледелие для выращивания кормов, овощей. Отсутствие лесозащитных полос способствовало развитию ветровой и водной эрозии. Внесение удобрений привело к значительной деградации почв. Все эти факторы вместе способствовали сокращению биоразнообразия [4]. В связи с чем необходимо было исследовать состояние экосистем Прикаспийской низменности и в дальнейшем разработать программу их сохранения и восстановления.

Цель выполненных исследований – изучение содержания тяжелых металлов (ТМ) в почвах востока РК и дальнейшего их распределения по пищевой цепи: растительные корма - овцы. Знание закономерностей распределения ТМ в природной среде, передача их и накопление в пищевой цепи необходимо как для определения степени воздействия человека на экосистемы, так и для выполнения в дальнейшем мониторинговых исследований.

Объекты и методы исследования. Исследованы почвы орошаемых участков Черноземельского и Яшкульского районов. Пробы отобраны в соответствии с требованиями ГОСТ. Корма растительного происхождения, выращенные на территориях этих районов и входящие в состав суточного рациона овец: зерно, зерновая смесь и травянистые (грубые и сочные). Кровь, кости, мышечная ткань, шкуры овец.

Минерализацию проб проводили по методике ГОСТ для определения токсичных элементов. Окисление золы проводили смесью азотной, хлорной и серной кислот. Валовое содержание ТМ в почве, кормах, крови, костной и мышечной тканях определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения для кормов ( $K_b = m_p/m_n$ ), где  $m_p$  и  $m_n$  – это содержание элемента в растении и почве. Суммарные коэффициенты биологического поглощения для кормов рассчитаны как сумма  $K_b$  отдельных



ТМ. Коэффициент миграции элемента (Км) рассчитан как отношение средней концентрации металла в высшем звене пищевой цепи к среднему его уровню в более низком звене.

Результаты и их обсуждение. В РК большинство земель, используемых в сельскохозяйственном производстве, составляют легкие по гранулометрическому составу почвы: суглинистые и супесчаные с высокой водопроницаемостью почвенного профиля. Прикаспийская низменность, в пределах сельскохозяйственной зоны РК, отличается разнообразием почвенного покрова: господствуют бурые полупустынные почвы, а также солонцы, лугово-бурые и лугово-болотные почвы. По физико-химическим свойствам почвы слабощелочные, высокосолонцеватые, малообеспеченные азотом, фосфором и калием. В структуре сельскохозяйственных земель востока РК на бурые полупустынные почвы приходится около 18500 га, что составляет 21%, в т.ч. на пашню 808 га, на сенокосы и пастбища 17750 га.

В таблице 1 приведены пределы содержания ТМ в бурых полупустынных почвах и солонцах. Полученные данные сопоставлены с кларком в литосфере [2] и ориентировочно допустимыми концентрациями (ОДК) для суглинистых и песчаных почв с щелочной средой.

Таблица 1

**Тяжелые металлы в почвах Прикаспийской низменности  
на территории Калмыкии, мг/кг**

Бурые полупустынные почвы / солонцы средне- и легкосуглинистые						
Элемент	n	$\bar{x} \pm t$	lim	CV	ОДК ПДК	Кларк по Виноградову
Cr	10	12,5±7,3	8,7-28,9	60,5	30,0	81,0
	30	18,9±0,8	17,6-22,7	82,0	6,0	
Ni	50	1,2±0,6	0,8-11,0	72,5	80,0	53,0
	40	0,95±0,23	0,8-3,4	35,0	5,0	
Co	50	1,33±0,40	0,8-8,1	74,0	50,0	18,0
	40	2,7±1,1	0,5-9,5	63,0	4,0	
Cu	50	5,8±3,1	3,6-25,0	46,0	132,0	47,0
	20	8,7±2,3	4,0-12,0	48,0	3,0	
Zn	50	17,0±7,6	15,0-35,0	62,0	220,0	83,0
	40	23,0±7,1	10,4-56,0	53,0	23,0	
Cd	10	0,46±0,05	0,2-0,9	57,0	2,0	2,0
	30	0,59±0,12	0,1-0,95	78,0	2,0	
Pb	50	8,9±3,7	4,9-18,3	62,4	130,0	130,0
	40	5,4±1,2	3,6-23,5	68,5	30,0	

Исследование пахотного горизонта почв показало, что валовое содержание изучаемых элементов не превышает ОДК. Кроме того, ранее выявлено [3], что преобладающая часть содержащихся в почве ТМ растений недостаточна, поскольку подвижные соединения, выделенные с помощью солянокислой вытяжки, составляют только 15-25% от общего содержания. Содержание ТМ в бурых полупустынных почвах Прикаспийской низменности превышает ПДК по хром, меди. Если характеризовать исследуемые почвы согласно шкале экологического нормирования (ОДК ТМ) для почв с щелочной реакцией [4], то для Cu, Zn, Ni, Pb установлены средние уровни содержания; для Cd в солонцах – от повышенного до очень высокого. Валовые концентрации исследуемых металлов в почвах агроландшафтов образуют следующий ряд, мг/кг почвы: Zn (15-35) > Pb (7,9-18,3) > Cu (3,6-25,0) > Cr (8,7-38,9) > Ni (2,0-11,0) > Co (0,8-8,1) > Cd (0,07-0,24). Один из наиболее токсичных металлов – Cd занимает последнее место в ранжированном ряду.

В солонцах Прикаспийской низменности по содержанию ТМ превышение кларка в литосфере по цинку, хрому и меди. Полученные результаты указывают на процесс концентрирования этих элементов в почвах относительно подстилающих пород, что связано с взаимодействием последних с органическим веществом почв и активной деятельностью микроорганизмов.



Содержание Cd и Pb лугово-бурой почве находится в пределах от повышенного до очень высокого уровня, что объясняется многолетним внесением минеральных удобрений.

В Яшкульском районе в системе севооборота возделываются зерновые культуры, кормовые культуры и овощи. С 1970 г. здесь применяют интенсивные технологии возделывания кормовых культур, используя повышенные дозы минеральных удобрений. По данным станции химизации МСХ РК установлено, что с 1970 г. по 1990 г. в почвы Яшкульского района внесено 8520 т минеральных удобрений, в т.ч. на долю азотных удобрений приходится 7050 т, фосфатных – 1500 т, калийных – 22 т. В почвах Черноземельского района удобрений внесено меньше, но, учитывая длительность применения, количество их значительно: 2450 т минеральных удобрений, в т.ч. азотных удобрений (в основном селитры) 2060 т, фосфатных 404 т. Как известно, нитроаммофос содержит Cd в 20-40 раз, т.е. больше по сравнению с другими удобрениями, и может за 2-4 года загрязнить ими почву [5].

Таким образом, выявленный химический состав почв обусловлен как природной зональной особенностью, так и техногенным воздействием. Пронаблюдаем, как изменяются концентрации металлов и их положение в данном ряду при переходе на более высокий уровень пищевой цепи: корма-овцы.

Корма. Химический состав растений формируется под влиянием большого числа факторов. Среди них различают внутренние (физиологические) и внешние (экологические), связанные с почвой, климатом и другими условиями среды обитания растений. Результаты содержания металлов в кормах растительного происхождения (зерновые и травянистые) показали значительные различия в накоплении металлов, что, в частности, указывает на избирательность культур по отношению к определяемым элементам (табл. 2). Кроме того, широкий интервал изменений содержания ТМ в кормах вызван видом корма и техническими условиями его производства.

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в кормах, мг/кг воздушно-сухой массы

Вид корма	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Cd	Pb
Зерновые корма							
Пшеница озимая	0,02 0,01-0,05	1,9 0,2-4,3	0,2 0,05-0,3	4,1 2,0-10,2	16,0 8,7-35,0	0,07 0,01-0,2	0,65 0,25-2,1
Ячмень яровой	0,5 0,1-0,8	3,85 1,5-4,8	0,4 0,05-0,9	5,9 0,9-6,6	21,0 10-55,0	0,14 0,03-0,4	1,05 0,7-2,5
Овес	0,5 0,1-0,8	4,7 1,3-7,7	0,2 0,1-0,4	1,2 1,0-3,5	16,0 8,0-35,0	0,17 0,03-0,2	1,45 0,8-2,1
Кукуруза	0,3 0,1-0,5	2,8 1,0-5,0	0,3 0,1-1,10	7,4 5,0-25,0	12,0 1,0-17,5	0,37 0,2-0,80	2,7 0,8-5,6
Сорго	0,5 0,1-0,8	1,95 1,0-2,5	0,7 0,3-0,8	11,3 0,5-11,3	8,0 5,0-21,3	0,19 0,1-0,8	1,45 0,1-2,4
Фураж	0,5 0,1-0,9	3,7 0,8-5,0	0,8 0,2-1,6	7,4 2,0-12,0	38,0 20-96,0	0,25 0,1-0,5	0,9 0,5-5,4
Отруби	0,01	1,2	0,20	8,4	24,0	0,25	2,8
Среднее для зерновых	0,39	3,15	0,43	6,2	18,5	0,20	1,37
Травянистые корма							
Сено судан. травы	0,4	1,50	0,05	1,0	18,7	0,02	0,10
Сено люцерны	0,2	1,70	0,10	3,7	13,0	0,80	1,50
Сено сеяных трав	0,3	1,75	0,05	7,0	19,7	0,01	0,55
Сено бурьянистое	0,65	2,2	0,80	5,8	12,0	0,05	1,8
Солома пшеничная	0,5	3,3	0,57	4,6	28,0	0,31	3,7



Силос	1,0	3,5	1,5	9,0	16,0	0,50	1,9
Дерть	1,0	1,5	0,10	8,0	84,0	0,16	1,05
Среднее для травянистых	0,53	2,2	0,3	4,3	24,5	0,29	1,3
Среднее для кормов	0,46	2,85	0,37	5,25	22,5	0,25	1,5
МДУ для кормов	0,5	3,0	1,0	30,0	50,0	0,3	5,0

Содержание исследуемых ТМ в зерновых кормах не превышает МДУ для зерна и фуража, за исключением Ni и Cd. Ячмень, овес, размол для овец, в состав которого входит ячмень, пшеница и овес, а также фураж содержат Ni в количествах, превышающих МДУ в 0,4 – 1,2 раз.

Нужно отметить видовые особенности культур в накоплении тех или иных металлов: в овсе установлены самые большие концентрации Ni, Zn, в кукурузе – Ni и Cr, в отрубях – Zn, Cd, Pb. Анализ полученных данных (табл.2) позволил составить ряд элементов в порядке уменьшения их содержания в зерновых кормах: Zn>Cr>Ni>Cu>Pb>Co>Cd. Если сравнить данный ряд с ранжированным рядом металлов для почв, то видно, что Cr с предпоследнего места переместилась на 2-е после Zn, а Ni на 3-е место, что связано, очевидно, с избирательным концентрированием данных элементов растениями.

Полученные данные по валовому содержанию ТМ в почве (табл.1), а также в зерновых кормах (табл.2) позволили рассчитать коэффициенты биологического поглощения металлов (Кб), которые показывают активность процесса концентрирования ТМ в кормах (табл.3). Для зерновых кормов наиболее высокие Кб установлены для Zn, Ni, Cu, далее, несмотря на самое низкое валовое содержание в почве и зерновых кормах, идет Pb, а затем – Co, Cr.

Таблица 3

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов кормами

Вид корма	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Cd	Pb	Сум-ма
Зерновые корма								
Пшеница озимая	0,002	1,58	0,15	0,71	0,94	0,15	0,073	3,61
Ячмень яровой	0,04	3,21	0,30	1,02	1,24	0,30	0,12	6,23
Овес	0,04	3,92	0,15	0,21	0,94	0,37	0,16	5,79
Кукуруза	0,024	2,33	0,22	1,28	0,71	0,80	0,30	5,66
Сорго	0,04	1,62	0,53	1,95	0,48	0,41	0,16	5,19
Фураж	0,04	3,08	0,60	1,28	2,24	0,54	0,10	7,88
Среднее для зерновых	0,03	2,63	0,32	1,07	1,09	0,43	0,15	5,72
Травянистые корма								
Суданская трава	0,032	1,25	0,04	0,17	1,10	0,04	0,011	2,64
Сено люцерны	0,016	1,42	0,08	0,62	0,76	1,74	0,17	4,81
Сено сеяных трав	0,024	1,46	0,60	1,21	1,16	0,02	0,06	4,53
Сено бурьянистое	0,052	1,83	0,60	1,02	0,71	0,11	0,20	4,52
Солома пшеничная	0,04	2,75	0,43	0,80	1,65	0,67	0,41	6,75
Силос	0,08	2,92	1,13	1,55	0,94	1,09	0,21	7,92
Дерть	0,08	1,25	0,08	1,38	4,94	0,35	0,12	8,20
Среднее для травянистых	0,042	1,83	0,22	0,74	1,44	0,63	0,15	5,05
Среднее для кормов	0,037	2,38	0,28	0,92	1,32	0,54	0,17	5,65

Нужно отметить видовые особенности культур накапливать те или иные металлы: в овсе самые большие содержания Cr, Ni и Pb, в кукурузе – Ni, Zn, Pb, Cu, в отрубях – Zn, Cu, Pb.

Изучено содержание ТМ в травянистых кормах (табл.2). Максимальная концентрация металла выявлена в следующих видах кормов: Cr и Zn - в кукурузе, Ni, Zn, Cu - в силосе, Cd - в сене бурьянистом, Pb - в сене сеяных трав. Полученные данные показывают избирательность накопления отдельных металлов различными видами травяных кормов. Отмечено превышение МДУ по содержанию Cr в объемистых грубых кормах: в сене бурьянистом – в 1,3, в соломе – в 1,2 раза, в силосе и дерти – в 2 раза. В соломе пшеничной содержание Cr достигает МДУ. Повышенное со-



держание Cr в травянистых кормах объясняется не только избирательным поглощением его травами, но и высоким валовым содержанием данного металла в бурых полупустынных почвах, что подтверждается данными работы [4].

В травянистых кормах средние концентрации Cr, Zn, Cd в 2-3 раза выше, чем в зерновых, что вероятно, связано с различной доступностью элементов для растений и с технологией производства кормов. Для Ni, Zn и Cu наблюдается обратная зависимость, содержание этих металлов в зерне в 2-2.5 раза выше, чем в грубых и сочных кормах.

Несмотря на некоторые отличия в уровне содержания ТМ в травянистых кормах, порядок их расположения в ряду по мере уменьшения содержания аналогичен ряду элементов для зерновых кормов, кроме Co и Zn, порядок которых меняется.

Количественное выражение общей способности отдельных видов кормов накапливать ТМ может служить сумма Кб. Анализ данного показателя, рассчитанный как сумма Кб отдельных ТМ, показал, что самая высокая загрязненность ТМ характерна для отрубей и овса, повышенная для зерна сои. Самую низкую загрязненность металлами показала кукуруза.

Кб отдельных металлов травянистыми кормами (табл.3) выше, чем у зерновых: для цинка, кадмия, свинца. Высокое валовое содержание хрома в зерновых кормах, показанное ранее, подтверждается высоким коэффициентом поглощения его из почвы. Сумма Кб отдельных ТМ показала, что наибольшее загрязнение травянистых кормов ТМ характерно для силоса, дерти и соломы, далее идут сено. Таким образом, в цепи почва – корма наиболее подвижным является Zn, Cu, Cd, далее следует Ni, Pb и наименее подвижными являются Cr и Co.

Как известно, в природных системах элементарный состав растений зависит от среды обитания, геохимических особенностей ландшафта и физиологических особенностей организмов [1]. В результате воздействия человека в экосистемах, в частности в агрофитоценозах, происходит загрязнение почв ТМ (Cd, Pb), ксенобиотиками, содержащимися в минеральных и органических удобрениях. Если органические вещества разлагаются в почвах в результате деятельности микроорганизмов, то ТМ способны лишь перераспределяться между природными средами (в т.ч. и биомассой), накапливаясь в них.

Таким образом, увеличение миграционной подвижности ТМ (кадмий, свинец, и т.д.), концентрирование их в биомассе происходит в результате техногенного воздействия (внесение удобрений, технологические приемы производства кормов).

Животные. Для оценки перераспределения ТМ по пищевой цепи изучено содержание золы крови, мышечной и костной тканей овец. Зольность крови КРС составила 0,8-0,88%. Выявлено, что уровень концентраций исследуемых элементов в золе крови животных находится практически в тех же интервалах, что и в золе кормов, большое различие отмечено для тканей и кормом. Средняя концентрация металлов в крови овец убывает в ряду: Zn, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Cr.

Определены коэффициенты миграции по цепи растительные корма – овцы (отношение среднего содержания ТМ в овцах к среднему содержанию соответствующих металлов в кормах): в зерновых кормах Км по крови Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Cr, Cd; Км по органам Cr, Pb, Zn, Cu, Cd, Ni, Co; в травянистых кормах Км по крови: Cu, Zn, Co, Cr, Pb, Ni, Cd; Км по органам Cr, Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Co.

Таблица 4

Содержание тяжелых металлов в крови и тканях овец возраста 6 месяцев, мг/кг

Элемент	Cr	Ni	Co	Cu	Zn	Cd	Pb
В золе крови	0,28-0,65	6,44-16,6	4,13-7,82	75,6-84,9	598,5-768,1	2,01-4,51	0,83-8,85
	0,4	9,8	6,7	80,43	670,0	3,3	4,1
В исх. крови	0,008	0,083	0,057	0,68	5,7	0,028	0,035
Мышеч. ткань	17,0	0,10	0,01	3,6	54,0	0,18	1,5
Кости	27,0	0,70	0,03	5,1	37,0	0,10	3,6
Кожа с шерстью	14,0	0,12	0,003	2,8	21,0	0,08	0,2

Полученные результаты показывают, что при переходе на более высокий уровень пищевой цепи изменяется миграция одних из самых токсичных элементов – Cr и Pb. Коэффициенты



миграции Cr по цепи почва – растительные корма составил 0,04, и данный элемент занимал последнее место в ряду исследуемых элементов. При переходе на более высокий пищевой уровень растительного корма – овцы коэффициент миграции Cr увеличился в 3 раза в крови и до 100-150 раз в тканях. Кобальт также переместился в группу наиболее подвижных элементов, потеснив медь, свинец и цинк.

Образуются ряды миграции элементов при кормлении зерновыми кормами: в крови  $Zn > Pb > Cu > Co > Ni > Cr > Cd$ , в мышечной, костной ткани и коже  $Cr > Pb > Zn > Cu > Ni > Cd > Co$ . По отношению к травяным кормам ряды сохраняются для тканей, но большую подвижность приобретает медь; в крови ряд меняется  $Cu > Zn > Co > Cr > Pb > Ni > Cd$ . Таким образом, при кормлении травянистыми кормами токсичные элементы становятся менее подвижными.

Следует отметить, что более высокие коэффициенты миграции ТМ в системе корма – овцы по сравнению с системой почва – растительные корма свидетельствует о концентрировании ТМ в более высоких звеньях пищевой цепи, причем накапливаются наиболее токсичные металлы. В связи с этим для предупреждения поступления больших количеств токсикантов в организм животных необходим постоянный контроль качества кормов.

Выявлены превышения МДУ (максимально допустимого уровня) некоторых металлов в кормах: Ni – в зерновых (овес, кукурузе, отрубях, фураже), Cr – в травянистых. Повышенное содержание металлов в кормах объясняется не только избирательностью их поглощения культурами, но и некоторыми зональными особенностями, например, высоким валовым содержанием хрома в лугово-бурых почвах [4].

#### Выводы.

1. Изучение возможности переноса ТМ по пищевой цепи почва – растительные корма – овцы показали: - на всех уровнях пищевой цепи наибольшее содержание установлено для цинка и меди; - при повышении уровня пищевой цепи наблюдается увеличение коэффициента перехода наиболее токсичных элементов – свинца и кадмия, свидетельствует об их накоплении в более высоких звеньях пищевой цепи.

2. При использовании интенсивных технологий возделывания сельскохозяйственных культур необходимо вести контроль над содержанием тяжелых металлов в кормах, чтобы предупредить их избирательную миграцию по пищевой цепи.

#### Библиографический список

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М. Мир. 1989. – С.459.
2. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Лозановская И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. - М. Высшая школа. 2002. – С.334.
3. Сангаджиева Л.Х. Микроэлементы в ландшафтах Калмыкии и биогеохимическое районирование её территории. – Элиста. Джангр. 2004. – С.119.
4. Сангаджиева Л.Х. Факторы и механизмы антропогенной трансформации ландшафтов Республики Калмыкия на основе биогеохимического анализа их устойчивости. – Саратов. 2006. – С.420.
5. Минеев В.Г. Проблемы тяжелых металлов в современном земледелии // Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах. Материалы науч.-практич. конф. – М.: 1994.– С.5-11.