

УДК 631.41+636.085+637(571.61)

Арнаутовский И.Д. к.с.х.н., профессор; Гусева С.А. аспирант  
**ДИНАМИКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ОСНОВНЫХ ТИПАХ ПОЧВ,  
РАСТИТЕЛЬНЫХ КОРМАХ И ПРОДУКТАХ ЖИВОТНОВОДСТВА  
ПО АГРОКЛИМАТИЧЕСКИМ ЗОНАМ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ**

*В статье изложены результаты исследования зависимости содержания тяжелых металлов (ТМ) в продуктах животноводства от их концентрации в растительных кормах. Результаты мониторинга содержания ТМ в основных кормах показали, что в изученных растениях концентрация металлов не превышает ПДК, за исключением Cu и Zn в травах естественных пастбищ Октябрьского района. Содержание ТМ в продуктах животноводства (молоке, сметане, твороге и мясе) зависит от их содержания в растительных кормах, но не превышает ПДК, за редким исключением.*

Arnautovskiy I.D., Cand.Agr.Sci, professor; Guseva S.A. post-graduate student  
**DYNAMICS OF CONTENT OF HEAVY METALS IN THE BASIC SOIL TYPES, VEGETABLE  
FORAGE AND LIVE STOCK PRODUCTS BY THE AGROCLIMATIC AREAS OF THE AMUR  
REGION**

*In the article are shown the results of research of dependence of contents of HM in livestock products from their concentration in vegetative forages. Results of monitoring of TM contents in the basic forages have shown, that in the studied plants the concentration of metals does not exceed maximum concentration limit, except for Cu and Zn in grasses of natural pastures of Ocityabrskiy area. HM contents in livestock products (milk, sour cream, cottage cheese and meat) depend on their contents in vegetative forages, but does not exceed maximum concentration limit, with rare exception.*

Разработка научно обоснованных, сбалансированных по основным макро- и микроэлементам рационов кормления сельскохозяйственных животных приобретает в условиях рыночной экономики особое значение, в связи с проблемой рентабельного увеличения производства и увеличения качества животноводческой продукции. [1]. Параллельно этой проблеме, в условиях повышенного антропогенного воздействия на биосферу особо остро стоит вопрос производства экологически чистых продуктов растениеводства и животноводства. Так как площадь Амурской области достаточно большая, необходимо еще и иметь сведения о фоновом содержании минеральных веществ, в том числе микроэлементов и тяжелых металлов (ТМ) для каждой конкретной агроклиматической зоны и каждого района области по схеме: почва – растительный корм – продукты животноводства и знать факторы, способствующие их накоплению в биоценозах.

В связи с этим была поставлена цель изучить динамику с 2000 по 2005 годы содержания макро- и микроэлементов в основных типах почв, растительных кормах и продуктах животноводства в северной, центральной и южной агроклиматической зонах Зейско-Буреинской равнины.

Исследовать влияние природно-климатических факторов на накопление ТМ в основных типах почв и растительных кормах.

Совместно с Федеральным Государственным учреждением «Станция агрохимической службы Белогорская» нами проведен контроль содержания макро- и микроэлементов в почвах сельхозугодий, продукции растениеводства и животноводства. Образцы почв и растений были взяты на 38 контрольных участках, заложенных с учетом типов почв и рельефа местности.

Пробы почв и образцы основной и побочной продукции растениеводства для исследования отбирались в период наступления фазы полной спелости растений. Концентрацию ТМ в почвах и кормах определяли в лабораторных условиях методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрометре «КВАНТ-АФА».

Данные климатических факторов по зонам в период с 1999 по 2006 годы были взяты на гидрометеостанции г. Благовещенска.

Результаты исследования почв на содержание в них макроэлементов и железа свидетельствует об относительной бедности

почв указанными элементами во всех зонах

Зейско-Буреинской равнины (табл. 1).

Таблица 1  
Содержание важнейших макроэлементов и Fe в основных типах почв Амурской области

Элементы	Зоны Амурской области									в среднем по области
	южная			центральная			северная			
	лугово-черноземовидная	лугово-глеевая	бурая лесная	лугово-черноземовидная	лугово-глеевая	лугово-бурая	бурая лесная	лугово-глеевая	бурая лесная	
Подвижный калий, мг/100г	11,7	15,1	16,4	14	16,3	14,75	12,18	17,4	14,8	14,73
Подвижный фосфор, мг/100г	18,27	14,67	9,21	7,95	9,36	13,09	11,13	11,61	12,9	12,02
Обменный магний мг-экв/100г	5,08	4,87	4,49	5,63	4,55	4,64	3,79	4,708	4,69	4,72
Обменный кальций, мг-экв/100г	16,03	15,94	16,35	19,28	15,25	16,22	12,68	14,41	15,79	15,77
Железо, мг/кг	6598	7874	6567	8191	8015,7	6522,5	6536,7	7831	6586	7191,32

Мониторинг содержания ТМ в основных типах почв по административным районам южной, центральной и северной зон Амурской области представлен в таблице 2. Анализ представленных материалов показывает, что концентрация ТМ в одних и тех же районах в разные годы далеко не одинакова. Наибольшей концентрацией ТМ отличается почвы Октябрьского и Белогорского районов. Отмечено, что содержание ТМ в валовой форме в исследуемых типах почв средней части

Зейско-Буреинской равнины не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК). Однако содержание подвижных форм Pb, Zn, и Cu напротив превосходит этот уровень. Это свидетельствует о не совсем благополучной обстановке на исследуемой территории по концентрации указанных металлов. Отмечено, что превышение ПДК подвижной формы Cu достигает от 1,5 до 3,5 раз.

Таблица 2

## Динамика содержания тяжелых металлов в почвах важнейших сельскохозяйственных районов Амурской области

Форма солей металлов	Содержание тяжелых металлов, Мг/кг															
	2000				2003				2004				2005			
	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn
Белогорский район																
Подвижная	8,4	9,52	0,4	9,12	7,79	10,26	0,14	6,61	7,76	9,91	0,11	6,78	7,56	10,4	0,15	6,56
Валовая	16,87	19,37	0,492	47,93	14,46	16,54	0,33	28,08	15,26	22,36	0,37	33,6	15,41	16,55	0,32	28,14
Свободненский район																
Подвижная	9,33	6,23	0,13	4,44	3,25	7,87	0,08	4,63	3,12	7,02	0,07	2,88	4,45	7,43	0,09	3,4
Валовая	40,5	10,7	0,348	45,1	8,98	13,4	0,26	20,08	6,82	15,33	0,19	28,1	8,1	16,15	0,35	19,9
Серышевский район																
Подвижная	6,19	8,11	0,15	7,11	6,14	8,37	0,11	6,11	6,55	10,26	0,12	7,5	6,47	8,49	0,12	6,28
Валовая	15,185	16,035	0,51	43	12,53	15,96	0,37	33,82	13,45	19,22	0,37	31,12	12,17	15,73	0,36	32,52
Октябрьский район																
Подвижная	8,78	8,92	0,19	8,78	7,91	10,53	0,12	5,43	7,14	10,83	0,11	4,93	8,67	11,13	0,16	5,29
Валовая	16,89	23,6	0,55	44,73	15,86	20,57	0,38	30,09	11,47	19,79	0,25	19,41	12,97	17,79	0,36	26,91
Ромненский район																
Подвижная	7,08	8,48	0,157	8,33	6,14	10,12	0,11	5,96	6,04	9,58	0,1	3,86	5,32	10,38	0,15	6,4
Валовая	15,38	15,12	0,44	37,13	12,6	17,14	0,36	27,06	10,04	18,78	0,27	21,32	12,64	19,44	0,36	30,36
Мазановский район																
Подвижная	7,685	9,83	0,13	6,85	7,84	10,54	0,11	9,22	6,04	8,74	0,13	6,64	6,48	9,22	0,14	6
Валовая	21,09	17,86	0,425	32,3	13,22	17,66	0,36	24,48	10,9	19,36	0,25	25,14	12,66	16,2	0,36	31,94
Среднее по зоне																
Подвижная	7,91	8,52	0,19	7,44	6,51	9,62	0,11	6,33	6,11	9,39	0,11	5,43	6,49	9,51	0,14	5,66
Валовая	20,99	17,11	0,46	41,7	12,94	16,88	0,34	27,27	11,32	19,14	0,28	26,45	12,33	16,98	0,35	28,3

Примечание: ПДК в почве подвижная форма: Cu – 3,0; Pb – 5,0; Cd – 0,5; Zn – 23,0 валовая форма: Cu – 55,0; Pb – 30,0; Cd – 0,5; Zn – 100,0

Определение корреляционных зависимостей содержания ТМ от количества выпавших осадков показало, что концентрация таких элементов, как Cu, Cd, Zn в лугово-бурой почве и Cu и Zn в лугово-глеевой почве увеличивается с возрастанием количества осадков, при коэффициенте корреляции  $r$  от +0,17 до +0,61. В других почвах (лугово-черно-земовидная и лугово-бурая) концентрация подвижной формы Cu и Cd с увеличением осадков, напротив, снижается при  $r$  от -0,39 до -0,99 (табл. 3).

Таким образом, осадки оказывают неоднозначное влияние на уровень

накопления валовых и подвижных форм одних и тех же ТМ в разных типах почв.

Установлено, что накопление ТМ в основных типах почв зависит от суммы активных температур в вегетационный период (табл. 4). Чем больше сумма активных температур, тем интенсивнее их накопление в почвах. Отмечено что, эти корреляционные отношения по некоторым металлам (Cd и Zn) приближаются к функциональным. Например, подвижная форма Cd ( $r = 0,97$ ) и Zn ( $r = 0,82$ ) в лугово-бурых почвах и валовая форма Zn ( $r = 0,81$ ) в бурой лесной почве. Практически полностью

отсутствует зависимость от суммы активных температур содержания подвижных форм Pb в лугово-бурой и бурой лесной почве ( $r = -0,085$  и  $r = 0,001$  соответственно) и Zn в лугово-глеевой почве ( $r = 0,02$ ). В исследовании установлено, что накопление подвижных форм ТМ в почвах слабо зависит от продолжительности безморозного периода. Коэффициент корреляции  $r$  находится в пределах от  $\pm 0,1$  до  $\pm 0,3$ . Однако валовые концентрации изученных ТМ в почвах умеренно зависят от продолжительности этого периода. Коэффициент корреляции ( $r$ ) разных металлов колеблется от  $-0,46$  до  $+0,55$ .

Проведенный регрессионный анализ по установлению влияния агрохимических характеристик почв (гумуса, физической глины, гидролитической кислотности, рН, обменных Mg и Ca, подвижных P и K) на концентрацию ТМ в них свидетельствует о высокой множественной корреляции (коэффициент R колеблется от 0,51 до 0,89)

для всех агрохимических характеристик (табл. 5).

Величина вычисленного критерия Фишера позволила заключить, что показатели концентрации Cu в почвах на протяжении всего периода наблюдений не случайны, они сформировались под влиянием отмеченных выше факторов. Использование критерия Фишера для статистической оценки значимости влияния агрохимических факторов на концентрацию различных ТМ в разных типах почв свидетельствует об их неоднозначности. Это, по нашему мнению, связано с особенностями конкретных элементов.

Одним из путей проникновения токсичных веществ в организм животных является растительный корм. Различные виды растений в Амурской области содержат неодинаковое количество ТМ (табл. 6).

В исследованиях установлено, что уровень содержания Pb, Cu, Zn, Cd в репродуктивной и вегетативной частях всех изученных растений не превышает ПДК.

Таблица 3

Влияние количества осадков на накопление ТМ в основных типах почв

Типы почвы	Количество осадков, мм	Концентрация ТМ в почвах, мг/кг				Коэффициент корреляции содержания тяжелых металлов с суммой годовых осадков			
		Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn
Подвижная форма									
Лугово-черноземовидная	411,86	8,11	10,61	0,15	7,28	-0,34± 0,378	0,14± 0,378	-0,39± 0,335	0,04± 0,372
Лугово-глеевая	420,21	7,71	9,95	0,13	6,70	0,17± 0,257	0,06± 0,266	-0,44± 0,258	0,44± 0,204
Лугово-бурая	573,7	6,92	10,09	0,15	6,09	-0,99± 0,001	-0,73± 0,27	-0,99± 0,013	0,01± 0,578
Бурая лесная	411,86	5,41	7,93	0,16	6,25	0,19± 0,258	0,14± 0,242	-0,45± 0,259	0,06± 0,249
Валовое соединение									
Лугово-черноземовидная	411,86	15,15	19,55	0,40	35,50	-0,21± 0,37	-0,13± 0,378	-0,62± 0,357	-0,35± 0,375
Лугово-глеевая	420,21	15,61	18,74	0,38	33,25	-0,04± 0,267	0,29± 0,242	0,05± 0,266	-0,18± 0,265
Лугово-бурая	573,7	13,28	19,32	0,36	28,80	0,61± 0,362	-0,26± 0,538	0,42± 0,475	0,42± 0,475
Бурая лесная	411,86	11,42	15,41	0,35	31,18	-0,76± 0,256	0,19± 0,258	0,12± 0,248	-0,14± 0,248

Однако в Октябрьском районе содержание свинца и цинка в растительности естественных пастбищ превосходит этот уровень. Обнаружено значительное превышение ПДК цинка в пшеничной соломе из Свободненского района.

Были определены корреляционные зависимости содержания ТМ в растительных кормах от содержания их в почвах за период с 2000 по 2005 годы. Установлено, что на содержание изученных ТМ в растениях оказывает влияние их концентрация в почве, причем и в валовой, и подвижной форме.

Отмечено, что репродуктивная и вегетативная части у разных растений накапливают неодинаковое количество ТМ. Например, зерно пшеницы накапливает тем больше меди, чем больше её в почве ( $r = +0,91$ ), а в соломе пшеницы наблюдается противоположная картина: чем больше Cu в почве, тем меньше ее в вегетативной части растения ( $r = -0,91$ ).

Исследования продуктов животноводства (молоко, масло, сметана,

мясо, творог) на содержание ТМ показали, что в большинстве районов производится экологически чистая животноводческая продукция (табл. 7). Превышение предельно допустимой концентрации (ПДК) обнаружено только по Zn в молоке коров Бурейского и Октябрьского районов. Это объясняется тем, что содержание цинка в травах естественных пастбищ Октябрьского района превышает ПДК.

Таблица 4  
Влияние суммы активных температур на накопление ТМ в основных типах почв

Типы почвы	Сумма активных температур	Концентрация ТМ в почвах, мг/кг				Коэффициент корреляции содержания тяжелых металлов с суммой годовых осадков			
		Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn
подвижная форма									
Лугово-черноземовидная	2312	8,11	10,61	0,15	7,28	0,17± 0,312	-0,71± 0,647	0,5± 0,18	0,67± 0,123
Лугово-глеявая	2289	7,71	9,95	0,13	6,70	0,44± 0,161	-0,35± 0,391	0,48± 0,151	0,02± 0,283
Лугово-бурая	2212	6,92	10,09	0,15	6,09	0,58± 0,242	-0,085± 0,627	0,97± 0,018	0,82± 0,102
Буряя лесная	2293	5,41	7,93	0,16	6,25	0,38± 0,179	0,001± 0,2885	0,55± 0,13	0,47± 0,153
валовое соединение									
Лугово-черноземовидная	2312	15,15	19,55	0,40	35,50	0,39± 0,229	0,38± 0,233	0,46± 0,206	0,68± 0,122
Лугово-глеявая	2289	15,61	18,74	0,38	33,25	0,66± 0,097	0,07± 0,269	0,36± 0,184	0,5± 0,14
Лугово-бурая	2212	13,28	19,32	0,36	28,80	-0,07± 0,62	0,6± 0,23	0,66± 0,195	0,24± 0,441
Буряя лесная	2293	11,42	15,41	0,35	31,18	0,4± 0,17	0,27± 0,211	0,41± 0,171	0,81± 0,054

Таблица 5  
Результаты множественного регрессионного анализа влияния агрохимических характеристик на накопление тяжелых металлов в почвах Зейско-Бурейской равнины

Металл	Показатель	2003		2004		2005	
		подвижная	валовая	подвижная	валовая	подвижная	валовая
Cu	R	0,76	0,87	0,87	0,77	0,84	0,89
	R <sup>2</sup> , %	58,2	63,6	75,7	58,9	71,4	78,6
	F	4,88	6,12	10,8	5,04	9,04	13,3
Pb	R	0,56	0,75	0,79	0,72	0,64	0,59
	R <sup>2</sup> , %	31,6	57,5	63,7	51,2	41,1	35,04
	F	1,62	4,73	6,16	3,67	2,53	1,96
Cd	R	0,56	0,64	0,85	0,68	0,71	0,54
	R <sup>2</sup> , %	31,7	0,41	72,9	48,7	49,9	29,8
	F	1,63	2,45	9,44	3,32	3,61	1,54
Zn	R	0,54	0,61	0,66	0,51	0,79	0,77
	R <sup>2</sup> , %	29,3	37,7	44,7	26,1	62,9	58,8
	F	1,41	2,11	2,81	1,24	6,15	5,17

Fe	R	0,57	0,72	0,58	0,72	0,64	0,57
	R <sup>2</sup> , %	31,98	52,2	33,6	52,0	41,2	32,0
	F	1,64	3,68	1,83	3,79	2,54	1,71

Таблица 6

Динамика среднего содержания тяжелых металлов в кормах Амурской области

Культура	2003						2004						2005					
	Cu	Pb	Cd	Zn	Hg	As	Cu	Pb	Cd	Zn	Hg	As	Cu	Pb	Cd	Zn	Hg	As
Пшеница: зерно	-	-	-	-	-	-	4,15	0,57	0,040	24,38	0,020	0,020	3,44	0,48	0,085	20,02	0,007	0,028
солома	-	-	-	-	-	-	1,49	1,04	0,060	8,80	0,020	0,090	1,99	1,47	0,062	9,52	0,015	0,134
Овес: зерно	2,94	0,60	0,052	11,90	0,009	0,030	2,20	0,64	0,050	12,10	0,200	0,060	3,95	0,55	0,066	31,05	0,071	0,020
солома	1,40	1,18	0,070	9,00	0,010	0,040	2,97	1,40	0,060	16,70	0,200	0,020	1,66	1,21	0,086	25,85	0,058	0,155
Ячмень: зерно	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
солома	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Соя: зерно	6,81	0,83	0,086	25,67	0,010	0,083	8,60	1,10	0,081	23,85	0,008	0,038	8,87	0,90	0,153	34,97	0,018	0,057
солома	3,00	2,12	0,098	14,25	0,013	0,076	4,95	3,85	0,165	11,35	0,013	0,032	4,22	2,55	0,110	8,40	0,013	0,053
Травы:																		
травы естественных пастбищ	4,58	2,60	0,150	5,34	0,010	0,070	2,66	1,85	0,095	15,89	0,015	0,041	-	-	-	-	-	-
сенокос	3,11	1,95	0,090	11,99	0,015	0,055	2,82	1,54	0,100	12,72	0,025	0,040	4,02	1,90	0,095	15,29	0,009	0,113
Культурных пастбищ	-	-	-	-	-	-	2,70	1,40	0,080	12,90	0,010	0,020	-	-	-	-	-	-
тимофеевка	-	-	-	-	-	-	3,60	1,00	0,091	15,80	0,021	0,850	-	-	-	-	-	-
рожь	-	-	-	-	-	-	2,60	1,50	0,090	1,60	0,020	0,050	-	-	-	-	-	-
разнотравие	2,83	1,68	0,092	24,60	0,008	0,040	4,13	2,07	0,120	13,55	0,018	0,053	4,88	2,09	0,185	5,92	0,015	0,115
полынь	6,47	2,90	0,120	24,60	0,010	0,090	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Примечание: ПДК: Cu – 30,0; Pb – 5,0; Cd – 0,3; Zn – 50,0.

Содержание ТМ в продуктах животноводства за 2007 год

Районы	Тяжелые металлы, мг/кг			
	Cu	Pb	Cd	Zn
1	2	3	4	5
Молоко				
Центральная зона				
Бурейский	0,29	0,048	0,028	5,9
Завитинский	0,3	0,057	0,02	3,7
Октябрьский	0,36	0,1	0,023	5,4
Северная зона				
Белогорский	0,36	0,077	0,023	4,6
ПДК	1	0,1	0,03	5
Масло				
Центральная зона				
Бурейский	0,03	0,038	0,02	2,9
Завитинский	0,37	0,041	0,014	1,64
Октябрьский	0,26	0,051	0,026	1,4
Северная зона				
Белогорский	0,5	0,091	0,022	1,98
ПДК	0,5	0,1	0,03	5
Сметана				
Центральная зона				
Бурейский	0,45	0,076	0,023	2,9
Завитинский	0,37	0,09	0,018	4,3
Октябрьский	0,32	0,011	0,017	2,4

1	2	3	4	5
Северная зона				
Белогорский	0,3	0,1	0,021	3,1
ПДК	1	0,1	0,03	5
Мясо				
Центральная зона				
Бурейский	0,74	0,41	0,027	2,1
Завитинский	0,76	0,31	0,026	59,3
Октябрьский	0,91	0,16	0,023	31,8
Северная зона				
Белогорский	0,81	0,39	0,025	25,8
ПДК	5	0,5	0,05	70
Творог				
Центральная зона				
Бурейский	0,49	0,17	0,02	11
Завитинский	0,68	0,17	0,018	10,1
Октябрьский	0,51	0,15	0,017	7,1
Северная зона				
Белогорский	0,48	0,19	0,022	10,9
ПДК	5	0,3	0,1	40

**ВЫВОДЫ:**

1. Содержание макро- и микроэлементов в почвах зависит от агрохимических (гумуса, физической глины, гидролитической кислотности, рН, обменных Mg и Ca, подвижных P и K) и природно-климатических (суммы активных температур, количества выпавших осадков и продолжительности безморозного периода) факторов.

2. Разные растения, произрастающие на территории Приамурья, накапливают на одних и тех же почвах неодинаковое количество ТМ, что, вероятно, связано с биологическими особенностями растений и физико-химическими свойствами металлов. Содержание изученных металлов в растениях, за редким исключением, не превышает ПДК.

3. В репродуктивной и вегетативной частях большинства растений концентрация тяжелых металлов различна.

4. Концентрация ТМ в продуктах животноводства (молоке, сметане, твороге и мясе) зависит от их содержания в растительных кормах. Уровень содержания этих металлов в молоке, сметане, твороге и мясе в Центральной и северной зонах Амурской области не превышает ПДК. Но есть и

исключения: в молоке коров Бурейского и Октябрьского районов концентрация Zn превышает ПДК.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лопатин, Н.Г. Накопление некоторых микроэлементов растительной массе Амурской обл. произрастания трав / Н.Г.Лопатин, М.И. Щеголев // Биологическая роль микроэлементов в организме человека и животных восточной Сибири и Дальнего Востока: сб. науч. тр. – Улан-Удэ, 1963. – С.174 – 179.
2. Костиков, Д.Н. Марганец, медь, цинк, молибден, никель, в гумусовых горизонтах материнских породах Амурской области / Д.Н. Костиков, Н.Г.Лопатин / Микроэлементы в биосфере и их применение в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока – Улан-Удэ, 1967. – С.175 – 178.
3. Краснощекова, Т.А. Зональные особенности в содержании токсичных элементов в биосфере Амурской области / Т.А. Краснощекова [и др.] // Строительство и природопользование на рубеже тысячелетия: тр. междунар. конф. – Благовещенск: ДальГАУ, 2000 – С. 386 – 388.
4. Агрохимическая характеристика почв СССР (районы Центральной черноземной полосы и Молдавской ССР) / под ред. А.В. Соколова, Э.И.Шконде. – М: Изд. Академии наук СССР, 1963.– 262 с.
5. Почвенно-агрохимические основы устойчивости земледелия Центрально-Черноземной зоны / под ред. акад. ВАСХНИЛ Н.З Милащенко. – М.: Агропромиздат, 1991. –143 с.