

ЭКОЛОГО-АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В АГРОЦЕНОЗАХ ОМСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ

© 2018 Ю.А. Азаренко

Адрес: ФГБОУ ВО Омский Государственный аграрный университет им. П.А.Столыпина, Институтская площадь 1, г. Омск, 1644008, Россия. E-mail: azarenko.omgau@mail.ru

Представлены данные о содержании микроэлементов Mn, Cu, Zn, Co, B и Mo в почвах разных зон Омского Прииртышья и выращенных на них растениях. Содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Zn и Co, определенных в 5M HNO₃, в черноземных и солонцовых почвах лесостепи и степи приближается к фоновому валовому содержанию в черноземах юга Западной Сибири. Оно зависит от содержания фракций ила, физической глины и величины емкости катионного обмена. На почвах южной тайги растения испытывают дефицит подвижных B, Mo, Co и Cu. В черноземных и солонцовых почвах лесостепной и степной зон подвижность соединений Cu, Zn и Co низкая (0,5-1,2% кислоторастворимых форм), Mn (1,8-3,3%), B и Mo (5-13%) более высокая. Содержание в почвах подвижного цинка оценивается как низкое, Mn, Cu и Co как низкое и среднее, Mo – среднее и высокое, B – высокое. Уровень содержания микроэлементов в естественных и культурных растениях больше по сравнению с растительностью южной тайги, однако нередко отмечается пониженное содержание Cu, Co, иногда Zn. В солонцах и засоленных почвах содержатся избыточные концентрации подвижного B, что способствует увеличению поступления элемента в пищевые цепи.

Ключевые слова: микроэлементы; почвы; растения; Омское Прииртышье**Цитирование:** Азаренко Ю.А. Эколого-агрохимическая характеристика содержания микроэлементов в системе почва-растение в агроценозах Омского Прииртышья // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1(2). С.52–66.**ВВЕДЕНИЕ**

Микроэлементы в живых организмах выполняют многочисленные уникальные функции, связанные с обеспечением и регулированием многих биохимических процессов (Битюцкий, 2011). В наземных экосистемах основным источником поступления микроэлементов в пищевые цепи является почва. Растения, связанные с почвой в единую систему, выступают в роли первичных звеньев пищевых цепей. В агроценозах нормальное развитие растений, обеспечивающее их высокую продуктивность и качество, происходит при оптимальном содержании микроэлементов в почвах. В связи с этим микроэлементный состав почв и растений рассматривается как показатель благополучия эколого-биогеохимической обстановки и как фактор плодородия почв. Изучению микроэлементного состава почв и растений посвящено большое количество исследований в России, в том числе, в Сибири, и за рубежом (Добровольский, 2009; Ильин, 1973, 2012; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Сысо, 2007; Adriano, 2001; Kabata-Pendias, 2011; Grace elements ..., 2010; и др.).

Тем не менее, проблема микроэлементов не теряет своей актуальности в разных областях деятельности человека. Это связано с изменением условий окружающей среды, возрастанием антропогенных нагрузок, которые приводят к изменению содержания, соотношения микроэлементов и их геохимических циклов.

Информация о содержании микроэлементов в объектах окружающей среды необходима для решения прикладных задач в агрохимии, экологии, биогеохимии: проведения мониторинга за состоянием антропогенно-преобразованных ландшафтов, совершенствования систем диагностики питания растений и биогеохимического районирования.

С этой целью нами была проведена эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов Mn, Cu, Zn, Co, B и Mo в системе почва-растение агроценозов Омского Прииртышья.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 1991-2010 гг. в разных природных зонах Омской области: южной тайге, лесостепи и степи. Содержание микроэлементов исследовали в дерново-подзолистых почвах (по WRB 2014, Albic Retisols Abruptic), серых лесных (Greyzemic Phaeozems), черноземах (Haplic Chernozems), лугово-черноземных, в том числе солонцеватых и солончаковатых, (Gleyic

Chernozems, Gleyic Chernozems Sodic), луговых солонцеватых и солончаковатых почвах (Chernic Gleysols Salic, Sodic), солонцах лугово-черноземных и луговых (Gleyic Solonetz), солончаках луговых (Gleyic Solonchaks) (Мировая реферативная..., 2017). На указанных типах почв закладывали разрезы с отбором образцов по генетическим горизонтам и одновременным взятием растительных проб. Также были проанализированы данные по содержанию элементов в почвах и растениях на реперных участках эколого-агрохимического мониторинга, предоставленные для совместной работы ФГБУ ЦАС «Омский» и ФГБУ САС «Тарская».

Определение содержания микроэлементов в почвах проведено следующими методами: валовое содержание бора (В) после сплавления почвы с содой при температуре 900 °С (Аринушкина, 1961); содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Zn и Co взаимодействием с 5М HNO₃ при температуре 100 °С (РД 52.18.191-89).

Подвижные формы Mn, Cu, Zn и Co определяли по Крупскому и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50683-94; ГОСТ Р 50685-94; ГОСТ Р 50886-94) с 1н ацетатно-аммонийным буфером (ААБ), рН 4,8. Подвижный Мо определен по Григгу в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50689-94), подвижный В по Бергеру и Труогу в модификации ЦИНАО с азометином-Н (ГОСТ Р 50688-94). Содержание подвижных форм Mn, Cu и Co в почвах южной тайги и северной лесостепи в ФГУ САС «Тарская» устанавливали методом Пейве и Ринькиса с использованием индивидуальных экстрагентов (ГОСТ Р 50682-94; ГОСТ 50684-94; ГОСТ 50687-94). В растительных образцах микроэлементы определяли после сухого озоления при температуре 525±25 °С: Cu, Mn, Zn и Co атомно-абсорбционным (ГОСТ 27998-88; ГОСТ 27997-88; ГОСТ 30692-2000) и В – колориметрическим методом.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для характеристики потенциального запаса микроэлементов в почвах определяли содержание кислоторастворимых прочносвязанных форм металлов, экстрагируемых 5М HNO₃. Оценка возможности использования данного метода для определения валового содержания микроэлементов показала, что он условно пригоден для Co, Cu и Mn и слабо пригоден для Zn (Сиромля, 2016). По нашим данным воздействие на почвы 5М HNO₃ при температуре 100°С позволяет извлечь из них значительное количество микроэлементов, прочно связанных с минеральными и органическими компонентами: Zn, Co и Cu до 90%, Mn до 70% валового содержания. В целях агрохимической оценки количество микроэлементов, извлекаемое 5М HNO₃, может приблизительно характеризовать общий резерв данных элементов в почвах.

Среднее содержание кислоторастворимых форм микроэлементов в почвах лесостепной и степной зон Омской области приближается к их среднему валовому содержанию в черноземных почвах юга Западной Сибири (Pin et al., 2003) (табл. 1).

Таблица 1. Содержание кислоторастворимых форм микроэлементов (мг/кг) в горизонтах Ап, А1 почв лесостепной и степной зон Омской области

Элемент	Черноземы, n = 12-26			Лугово-черноземные, n=20-38			Солонцы, n = 6-12		
	lim	S±s _x	V,%	lim	S±s _x	V,%	lim	S±s _x	V,%
Mn	226-950	508±38,3	34,5	350-1100	608±24,6	24,3	485-718	618±48,6	15,7
Cu	12,0-23,0	19,1±0,8	19,9	5,4-25,4	20,3±0,8	22,1	17,4-23,8	21,1±1,5	14,5
Zn	27,4-63,3	50,7±2,7	23,9	20,1-69,4	53,7±1,9	21,2	43,5-64,6	55,4±3,4	15,8
Co	5,5-15,8	11,2±0,6	24,0	9,2-14,0	12,3±0,2	10,5	11,8-14,4	13,2±0,5	8,1

Примечание:

В табл. 1 и следующих таблицах n – количество разрезов; lim – диапазон значений; S±s_x – среднее арифметическое и его ошибка, V - коэффициент варьирования.

Валовое содержание В в почвах разных типов изменялось от низкого в дерново-подзолистых и серых лесных почвах до среднего и высокого в черноземах и лугово-черноземных почвах (табл. 2).

Таблица 2. Содержание валового бора (мг/кг) в почвах Омской области

Почвы	Ап, А, А1		А2, А1А2		В, Вк		Ск	
	lim	S±s _x	lim	S±s _x	lim	S±s _x	lim	S±s _x
Дерново-подзолистые, n = 2	20,0- 21,0	20,5±0,5	14,1- 12,6	13,3±0,8	33,0- 35,0	34,0±1,0	41,4- 44,6	43,0±1,6
Серые лесные, n = 2	19,5- 20,0	19,8±0,3	17,1- 19,9	18,5±1,4	21,5- 17,5	19,5±2,0	33,0- 35,0	34,0±1,0
Черноземы, лугово-черноземные, n = 5	34,1- 50,0	43,5±4,8	-	-	36,2- 42,1	38,8±1,1	21,2- 37,7	28,0±5,0
Лугово-черноземные и луговые солонцеватые, n = 5-6	51,6- 56,6	55,7±1,7	-	-	57,3- 62,9	58,3±1,7	52,2- 64,2	58,2±6,0
Лугово-черноземные и луговые солончаковатые, n = 3-7	77,5- 94,4	85,9±8,4	-	-	59,6- 57,4	58,5±1,1	57,9- 54,1	56,0±1,9
Солончаки, n = 3	63,4- 97,2	80,3±16,9	-	-	53,8- 61,0	57,3±3,5	49,7- 51,8	50,8±1,1
Солонцы, n = 10-18	50,4- 126,1	69,4±7,5	-	-	50,4- 130,3	78,1±5,4	52,2- 118,3	73,3±6,7

Распределение элемента по профилям разных типов почв было неодинаковым в зависимости от их генезиса и гранулометрического состава. В супесчаных дерново-подзолистых почвах верхняя часть профиля, включающая горизонты А1 и А2, была обеднена бором. Минимальное содержание элемента наблюдалось в элювиальном горизонте А2. В иллювиальных горизонтах В легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава и в тяжелосуглинистых почвообразующих породах (горизонт Ск) содержание элемента увеличивалось в 2-2,5 раза. В серых лесных тяжелосуглинистых почвах распределение бора в верхней и срединной частях профиля было равномерным и увеличивалось в глинистых горизонтах Ск. В среднесуглинистых и тяжелосуглинистых черноземах и лугово-черноземных почвах концентрации элемента равномерно убывали вниз по почвенному профилю.

Содержание элемента в солонцах и засоленных почвах существенно превышало его уровень в почвах зонального ряда. В солонцеватых лугово-черноземных и луговых почвах уровень содержания бора был выше по сравнению с обычными, распределение по профилю равномерное. В профиле солончаковатых лугово-черноземных и луговых почв, солончаков максимальные концентрации элемента были сосредоточены в верхней части и совпадали с аккумуляцией легкорастворимых солей. В солонцах более высокое содержание бора находилось в иллювиальных и горизонтах почвообразующих пород.

Содержание подвижных форм микроэлементов в почвах, формирующихся в разных природных зонах, было неодинаковым. Проведенные исследования показали, что в кислых дерново-подзолистых почвах южной тайги находятся низкие концентрации подвижных В, Мо и Со. При этом содержание подвижного Мп в них было средним, концентрации Си варьировали от низкого до высокого уровней. Серые лесные почвы северной лесостепи отличались более высоким содержанием Си, а черноземы выщелоченные – Си и В (табл. 3).

На долю подвижных Си, Zn, Со приходилось 0,5-1,2, Мп – 1,8-3,3% содержания их кислоторастворимых форм. Подвижность Мо и В в почвах лесостепной и степной зон значительно выше и составляет в среднем 5-13% валового содержания элементов. Наиболее высокие их концентрации находятся в солонцах. Количество подвижного В в слое 0-20 см изменялось от 4 до 24 мг/кг, достигая и превышая порог борного засоления, равный 5,0 мг/кг (Алиханова, 1980).

Сравнительная оценка содержания подвижных форм микроэлементов в разных типах почв области показывает, что наиболее высокие концентрации подвижных Си и Zn, определяемых в ААБ, находятся в ненасыщенных основаниями дерново-подзолистых и серых лесных почвах, а также в черноземах выщелоченных и значительно снижаются в черноземах обыкновенных, лугово-черноземных и солонцовых почвах. Количество подвижных соединений В и Мо в этих типах почв, напротив, более высокое (рис. 1, 2).

Таблица 3. Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг) в горизонтах Ап, А1 почв подзоны южной тайги и северной лесостепи Омской области (по данным ФГБУ САС «Тарская»), n = 5

Почвы	pH _{сол}	Гумус,%	Mn	Cu	Zn*	Co	Mo	B
Дерново-подзолистые	5,0-5,1	1,0-5,9	32-51	0,95-4,5	1,6-2,2	0,38-1,1	0,08-0,16	0,18-0,27
Серые лесные	5,2-5,6	2,3-5,4	40-77	3,7-6,2	1,1-3,5	0,5-1,45	0,09-0,12	0,24-0,42
Черноземы выщелоченные	5,4-5,9	6,0-6,1	45-51	3,6-4,0	2,1-2,4	0,85-1,25	0,10-0,14	1,15-1,27
Оценка содержания**								
Низкое			< 30	< 1,5	< 2,0	< 1,0	< 0,1	< 0,3
Среднее			30-70	1,5-3,3	2,1-5,0	1,1-2,2	0,1-0,2	0,3-0,7
Высокое			> 70	> 3,3	> 5,0	> 2,2	> 0,2	> 0,7

Примечание:

* - вытяжка ААБ, pH 4,8;

** - оценка по шкале Пейве и Ринькиса, для Zn по Крупскому и Александровой.

В почвах лесостепной и степной зон содержание подвижных форм Mn, Cu, Zn и Co определяли с использованием 1н ААБ, pH 4,8 (табл. 4).

Таблица 4. Содержание подвижных форм микроэлементов (мг/кг) в почвах лесостепной и степной зон Омской области

Черноземы, горизонт Ап			Лугово-черноземные почвы, горизонт Ап			Солонцы, горизонт А1			Оценка содержания**	
lim	S±s _x	V,%	lim	S±s _x	V,%	lim	S±s _x	V,%		
Mn										
4,9-44,7	16,7±3,7 3,3	82,6	3,7-37,6	11,0±2,0 1,8	84,5	3,4-55,3	15,7±1,5 2,9	70,2	низкое	< 5
									среднее	5-10
									высокое	> 10
Cu										
0,08-0,18	0,12±0,01 0,6	22,5	0,05-0,15	0,11±0,004 0,5	20,9	0,1-0,12	0,17±0,02 0,8	23,2	низкое	< 0,1
									среднее	0,1-0,2
									высокое	> 0,2
Zn										
0,2-0,5	0,33±0,01 0,6	20,6	0,14-0,72	0,34±0,02 0,6	29,4	0,3-0,88	0,40±0,08 0,8	43,1	низкое	< 1,0
									среднее	1,0-2,0
									высокое	> 2,0
Co										
0,08-0,22	0,13±0,01 1,2	30,8	0,07-0,25	0,12±0,01 1,0	37,5	0,11-0,13	0,11±0,01 0,9	13,9	низкое	< 0,07
									среднее	0,07-0,15
									высокое	> 0,15
Mo										
0,11-0,33	0,17±0,02 10,6	34,1	0,06-0,31	0,20±0,06 12,5	30,0	0,18-0,27	0,27±0,04 11,3	29,7	низкое	< 0,10
									среднее	0,10-0,20
									высокое	> 0,20
B										
1,5-3,1	2,24±0,22 5,1	27,3	2,1-3,9	2,9±0,12 6,7	15,2	4,0-23,7	9,5±1,3 12,9	60,1	низкое	< 0,3
									среднее	0,3-0,7
									высокое	> 0,7

Примечание:

* - над чертой среднее содержание и ошибка среднего, под чертой среднее значение доли подвижной формы от кислоторастворимой, для B и Mo от валового содержания;

** - оценка содержания для культур 1 группы с невысоким выносом микроэлементов (Методические рекомендации ..., 1989).

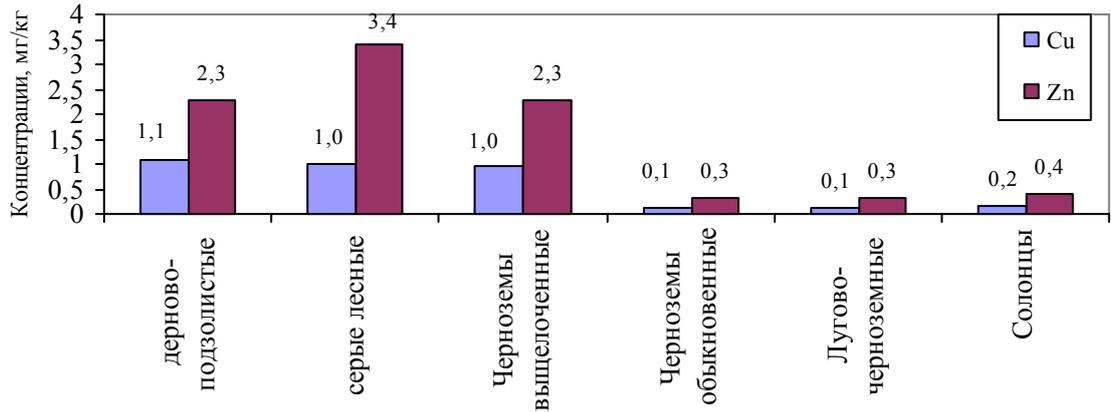


Рисунок 1. Содержание подвижных Cu и Zn (мг/кг) в 1н ААБ в гумусовых горизонтах почв разных природных зон Омского Прииртышья (n = 5-12)

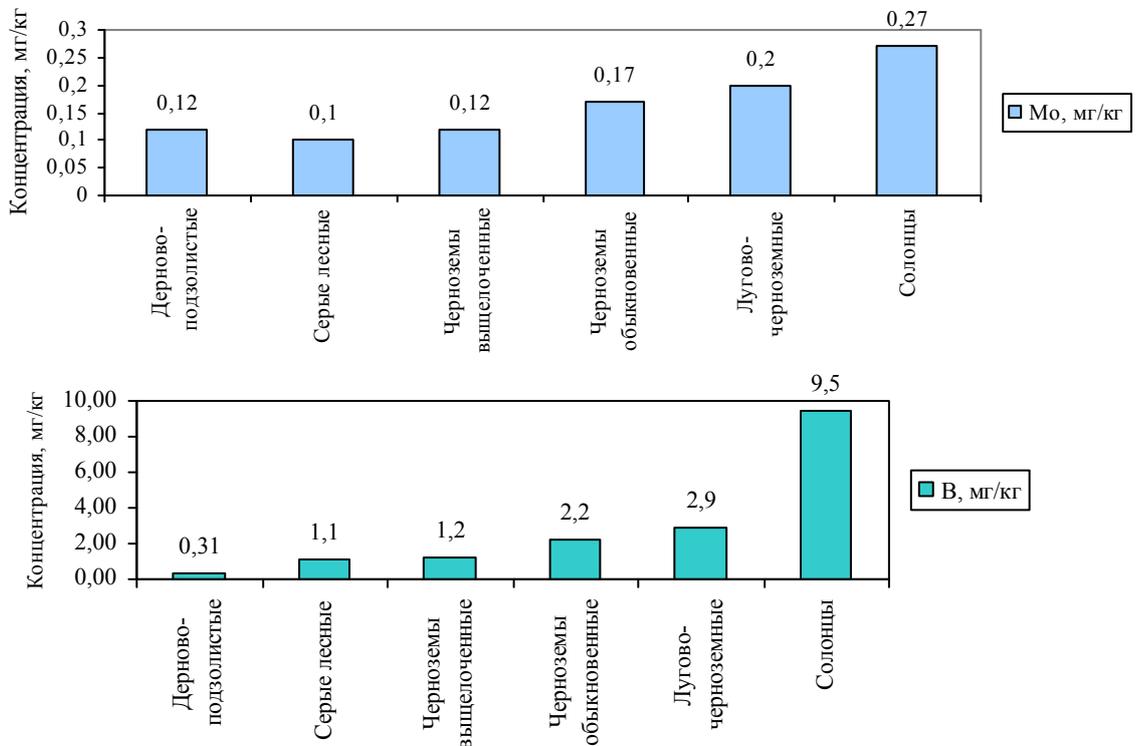


Рисунок 2. Содержание подвижных Mo и B (мг/кг) в гумусовых горизонтах почв разных природных зон Омского Прииртышья (n = 5-12)

Для выявления факторов, влияющих на концентрацию микроэлементов в верхнем слое 0-20 см почв был проведен корреляционный анализ их взаимосвязей с содержанием ила, физической глины, гумуса, показателями емкости катионного обмена (ЕКО) и рН. Установлена существенная прямая зависимость средней силы между содержанием всех микроэлементов, илом и физической глиной. Сильная связь для Cu и средняя для Mn, Zn и Co наблюдалась с величиной ЕКО. Зависимость от содержания гумуса в слое 0-20 см установлена только для Cu (табл. 5).

Концентрации подвижных форм микроэлементов в слое 0-20 см почв из разных зон (дерново-подзолистых, серых лесных, черноземов выщелоченных, обыкновенных, лугово-черноземных) зависели от величины рН и содержания гумуса. Для B и Mo с рН и гумусом установлена прямая связь, для Cu и Zn – обратная, при этом зависимость между содержанием Cu и гумуса была несущественной (табл. 6).

Таблица 5. Корреляционная зависимость содержания кислоторастворимых (5M HNO₃) Mn, Cu, Zn, Co, валового В в слое 0-20 см почв лесостепи и степи от их свойств, n = 33-39

Показатель	Mn	Cu	Zn	Co	B**
Ил (< 0,001 мм), %	0,38±0,16	0,65±0,13	0,68±0,12	0,40±0,15	0,67±0,08
Физическая глина (< 0,01 мм), %	0,40±0,16	0,44±0,16	0,47±0,16	0,39±0,16	-
ЕКО, ммоль/100 г	0,35±0,16	0,79±0,11	0,58±0,14	0,55±0,15	-
Гумус, %	-0,15±0,21*	0,40±0,15	0,30±0,16*	0,24±0,16*	-0,46±0,21*

Примечание:

* - связь несущественная;

** - коэффициенты корреляции рассчитаны для генетических горизонтов по профилям почв: с илом n = 48, с гумусом n = 15: прочерк - отсутствие данных.

Таблица 6. Корреляционная зависимость содержания подвижных форм микроэлементов в слое 0-20 см совокупности почв разных зон от их свойств, n = 33

Показатель	Cu	Zn	B	Mo
pH	- 0,71±0,13	- 0,69±0,13	0,49±0,16	0,41±0,16
Гумус, %	- 0,31±0,17*	-0,38±0,17	0,42±0,16	0,46±0,16

Примечание: Cu и Zn в вытяжке ААБ pH 4,8; * - связь несущественная

Результаты определения содержания микроэлементов в растениях показали, что в растительности природных травостоев, а также в культурных растениях агроценозов южной тайги и северной лесостепи отмечается дефицит Cu, Mo, Zn, недостаток Co в мятликовых растениях. Встречается недостаточное содержание Mn в растениях (табл. 7).

Таблица 7. Среднее содержание микроэлементов в надземной массе растений южной тайги и северной лесостепи Омской области, мг/кг абсолютно сухой массы (по данным ФГБУ САС «Тарская»), n = 3-5

Растение	Mn	Cu	Zn	Co	Mo	B
Дерново-подзолистые почвы						
Клевер	18,6	2,9	22,8	0,39	0,05	5,1
Травы	29,5	2,3	15,0	0,12	0,09	1,28
Овес, зерно	-	2,1	22,6	-	-	-
солома	-	2,2	29,0	-	-	-
Серые лесные						
Травы	21,4	2,4	18,8	0,12	0,10	1,16
Пшеница, зерно	-	2,2	16,2	-	-	-
солома	-	2,4	20,4	-	-	-
Черноземы выщелоченные						
Овес, зерно	-	2,5	21,4	-	-	-
солома	-	2,9	26,9	-	-	-
Пшеница, зерно	-	3,4	20,0	-	-	-
солома	-	9,8	21,4	-	-	-
Оценка содержания*						
Недостаточное	< 50 <20	<10 <3-5	< 30 <20-30	<0,3 <0,1-0,25	<2,0 <0,2	<1,0 -
Норма	50-100 20-60	10-20 3-12	30-60 30-60	0,3-1,0 0,25-1,0	2,0-3,0 0,2-2,5	1,0-30 -
Избыточное	>100 >60-70	>20 >20-40	> 60 >60-100	>1,0 >1,0	>3,0 >2,5-3,0	>30 >60

Примечание:

Ботанический состав естественных травостоев представлен растениями семейства мятликовых (*Poaceae*): кострцом безостым (*Bromopsis inermis*), мятликом луговым (*Poa pratensis*); * - над чертой по В.Н. Башкину и др. (1993), под чертой по В.В. Ковальскому (1978).

Содержание микроэлементов в естественной мятликовой растительности и культурных растениях агроценозов на почвах лесостепной и степной зон, в целом, было выше по сравнению с таежной зоной, что связано с увеличением общих запасов микроэлементов в почвах (табл. 8, 9). В то же время следует обратить внимание на встречающийся дефицит Cu и Co, а также пониженный уровень Zn в растениях природных травостоев (табл. 8).

Теоретический и практический интерес представляет вопрос о доступности для растений соединений микроэлементов на разных почвах. Содержание меди и цинка в зерне пшеницы и овса на дерново-подзолистых, серых лесных почвах и черноземах выщелоченных было ниже, чем в зерне культур, выращенных на черноземах южной лесостепи и степи (табл. 7,9).

Таблица 8. Содержание микроэлементов в мятликовых растениях природных травостоев на почвах лесостепной и степной зон Омской области, мг/кг воздушно сухой массы, n = 5-7

Зона, почвы	Mn	Cu	Zn	Co	B
Центральная лесостепь, лугово-черноземные, луговые, солонцы	16-60	6,7-15,7	13,6-71,4	0,13-0,24	0,4-6,9
Южная лесостепь, лугово-черноземная, солонцы	17-67	1,8-19,2	10-44	0,19-0,32	1,5-10,5
Южная лесостепь, черноземно-луговая солончаковатая	36-41	5,2-9,6	50-80	0,20-0,23	7,7-9,2
Степная зона, чернозем обыкновенный	19-30	7,1-12,4	18-23	0,24-0,28	6,5-7,2

Примечание:

Ботанический состав растений представлен пыреем бескорневищным (*Elimus trachicaulon*), кострцом безостым (*Bromopsis inermis*), овсяницей ложноовечьей (*Festuca pseudovina*), растения отбирали в фазе колошения-цветения.

Таблица 9. Среднее содержание микроэлементов (мг/кг абсолютно сухой массы) в зерновых культурах на черноземных почвах Омской области (данные ФГБУ ЦАС «Омский»)

Культура	Mn	Cu	Zn
Пшеница, зерно солома, n = 13	44,6±3,1	4,9±0,2	33,9±1,5
	45,0±5,2	2,2±0,7	10,0±1,3
Ячмень, зерно солома, n = 9	37,4±4,2	5,0±0,3	28,6±2,8
	57,0±5,2	6,0±1,4	12,9±2,9
Овес, зерно солома, n = 3	55,7±0,7	4,1±0,1	21,2±0,7
	68,6±1,3	4,4±0,5	16,2±3,9

При этом не наблюдалось определенной зависимости между содержанием микроэлементов в почвах и растениях. Так, сравнение данных по содержанию меди в зерне и соломе овса на разных почвах показало, что с уменьшением концентрации подвижной формы элемента в почвах, определенной в ААБ, содержание его в растительной массе увеличивалось. Для цинка отмечалась прямая зависимость между содержанием его в почве и соломе овса. Уровень концентрации элемента в зерне культуры на разных почвах был одинаковым (рис. 3).

Содержание В в растениях, напротив, прямо пропорционально зависело от содержания его подвижных форм в почвах. С увеличением концентрации подвижного В в почве возрастало содержание элемента в органах культурных растений (рис. 4).

Результаты исследований показали, что концентрации кислоторастворимых прочносвязанных форм Mn, Cu, Zn, Co (табл. 1) в почвах лесостепи и степи приближались к величинам ориентировочного фонового валового содержания микроэлементов в черноземах юга Западной Сибири: 8-12 мг/кг для Co, 20-30 мг/кг для Cu, 550-800 мг/кг для Mn, 53-75 мг/кг для Zn (Pin et al., 2003).

Установлено, что основными факторами, влияющими на уровень концентраций микроэлементов в гумусовых горизонтах черноземов, лугово-черноземных почв и солонцов лесостепной и степной зон Омской области, являются содержание ила, физической глины и величина ЕКО. Корреляционная зависимость средней силы с содержанием ила и физической глины установлены для Cu и Zn ($r=0,65-0,68$ и $0,44-0,47$ соответственно). Зависимость концентраций микроэлементов от количества илистой фракции обусловлена процессами сорбции Cu и Zn на поверхности высокодисперсных частиц твердой фазы. Выборка проанализированных почв в основном была представлена почвами тяжелого гранулометрического состава, что определило высокий уровень концентраций в них микроэлементов.

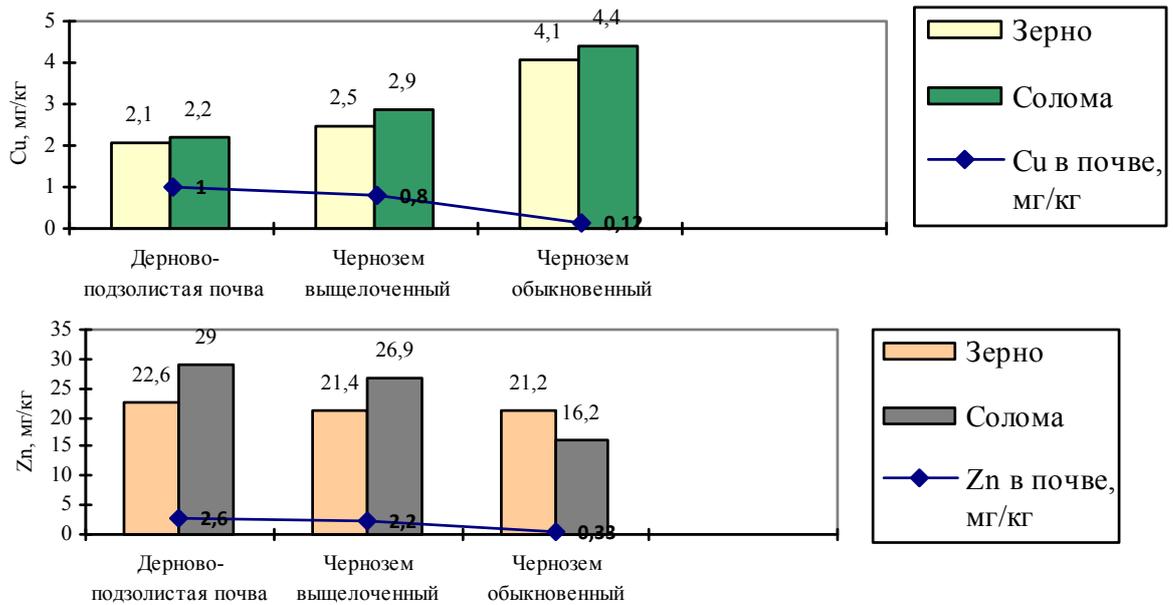


Рисунок 3. Содержание Cu и Zn в зерне и соломе овса (мг/кг абсолютно сухой массы) на разных типах почв

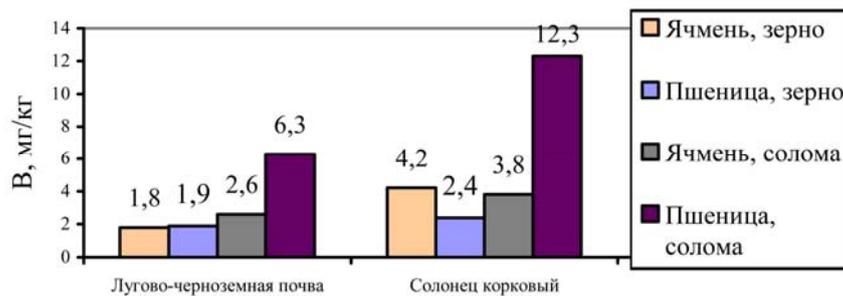


Рисунок 4. Содержание В (мг/кг воздушно-сухой массы) в ячмене и пшенице на лугово-черноземной солонцеватой почве и на солонце корковом (подвижный В 4,5 и 10,5 мг/кг соответственно), АО «Измайловский», Калачинский район

ОБСУЖДЕНИЕ

Связь концентраций Mn и Co с количеством ила и физической глины была значительно слабее ($r = 0,38-0,40$). Это может быть обусловлено тем, что оксиды марганца не ассоциируются с алюмосиликатами, а находятся в составе крупных песчано-пылеватых фракций (Vodyanitskii, 2009).

С величиной ЕКО коэффициенты корреляции составляли для Cu 0,79, Co и Zn – 0,55-0,58, для Mn 0,35. Гумус оказывал существенное влияние только на содержание Cu ($r = 0,40$).

Концентрации валового В в почвах также определялись содержанием илистой фракции ($r = 0,67$), что объясняется вхождением В в состав глинистых минералов. Содержание элемента также существенно зависело от характера процессов почвообразования. Так, валовое содержание бора в верхних горизонтах солонцов, солонцеватых и солончаковатых почв (51,6-126 мг/кг) существенно превышали уровень его содержания в черноземах (34-50 мг/кг) (табл. 2). Высокая аккумуляция В в солонцовых и засоленных почвах является результатом проявления геохимических особенностей элемента в природных климатических и геолого-геоморфологических условиях. Прежде всего, она связана с участием элемента в процессах гидрогенной миграции. Бор относится к легкоподвижным водным мигрантам, образующим в почвах и породах ассоциации с легкорастворимыми солями. В целом, обеспеченность почв В возрастает при продвижении с севера на юг территории Омской области, что связано с изменением водного режима почв, уменьшением степени промывания почвенного профиля, усилением развития гидрогенно-аккумулятивных процессов.

В процессе миграции микроэлементов по почвенному профилю и питании растений главная роль принадлежит их подвижным формам. Проведенная оценка согласно общепринятым

градациям показала, что для почв южной тайги Омского Прииртышья характерны низкие концентрации подвижных В, Мо и Со. Дефицит этих элементов характерен в целом для почв таежных ландшафтов, его развитию способствуют кислая реакция среды, промывной тип водного режима, слабая интенсивность биогенно-аккумулятивных процессов (Кабата-Пендиас, Пендиас 1989; Ильин, 1973). Концентрации подвижного Мп в дерново-подзолистых почвах оцениваются как средние. Известно, что в кислой среде мобильность соединений марганца возрастает. Содержание Си в исследованных дерново-подзолистых почвах варьировало от низкого до высокого уровней. Исследования, проведенные Агеевым В.А. (1980), показали прямую зависимость содержания микроэлемента от гранулометрического состава и степени окультуренности дерново-подзолистых почв. В полевых опытах потребность пшеницы в меди проявлялась при содержании ее менее 4 мг/кг. В серых лесных почвах и черноземах выщелоченных лесостепи содержание подвижной Си было выше, чем в дерново-подзолистых почвах. Черноземы выщелоченные отличались от дерново-подзолистых и серых лесных почв существенно более высоким содержанием подвижного В (табл. 3).

В почвах лесостепи и степи подвижность соединений микроэлементов-металлов невысокая (в среднем менее 1%, для Мп – 1,8-3,3%). С точки зрения обеспеченности сельскохозяйственных культур 1 группы микроэлементами обнаруженные концентрации Zn в черноземных и солонцовых почвах могут быть оценены как низкие, Си, Со как низкие и средние, Мп и Мо – средние и высокие (табл. 4). Однако культуры 2 группы с повышенным выносом микроэлементов, включающей овощные и плодовые культуры, корнеплоды, уже будут испытывать их недостаток. Содержание подвижного бора в черноземных почвах высокое.

Следует отметить, что применяемые ранее в качестве индивидуальных экстрагентов 1н HCl для определения Си и 1н HNO₃ для определения Со извлекали из черноземных почв более высокие концентрации элементов: 4,0-4,4 и 0,85-1,25 мг/кг соответственно. Это позволило сделать вывод о достаточной обеспеченности зерновых культур медью на черноземах Омской области (Орлова, Пыхтарева, 2007).

Шкала обеспеченности растений микроэлементами должна уточняться в полевых опытах, проводимых в условиях конкретного региона. Результаты опытов, проведенных в Омской области, показывают, что на черноземных почвах на фоне достаточной обеспеченности азотом, фосфором и калием проявляется потребность культур во всех микроэлементах в зависимости от их биологических особенностей. Так, применение цинковых удобрений на черноземных почвах Омского Прииртышья было эффективным при выращивании кукурузы, пшеницы, семян овощных культур. Положительное влияние Мп и Си проявлялась при возделывании суданской травы и овощных культур, Со и Мо при выращивании бобовых: люцерны, гороха. Несмотря на высокое содержание подвижного В в черноземных почвах индикаторные культуры (свекла, люцерна, подсолнечник, капуста) положительно реагировали на применение борных удобрений (Орлова, Пыхтарева, 2007).

В солонцеватых и солончаковатых почвах и солонцах содержание подвижного В очень высокое, достигающее и превышающее порог борного засоления (5 мг/кг). Развитие его в почвах юга Западной Сибири связано с общими процессами галогенеза почвенного покрова. Аккумуляция подвижных боратов в профилях почв связана с комплексом факторов природной среды: высоким содержанием элемента в почвообразующих породах и их засолением, неустойчивым и недостаточным атмосферным увлажнением, способствующей слабому выщелачиванию соединений элемента из почв, незначительной дренированностью территории (Ильин, 1973). Как показали проведенные нами опыты с растениями, концентрации подвижного В, находящиеся в солонцах и засоленных почвах, являются избыточными для растений, в связи с чем необходимо учитывать степень их боростойчивости (Азаренко, 2013).

Уровень концентраций подвижных форм микроэлементов в почвах Омского Прииртышья определялся разными факторами. Распределение подвижных Си и Zn, экстрагируемых ААБ, в почвах контролирует величина рН, с которой установлена обратная зависимость концентраций элементов ($r = -0,69-0,71$). Она объясняется тем, что в кислой среде адсорбция катионов этих элементов ослаблена за счет конкуренции с ионами H⁺ и Al³⁺, что и являлось причиной более высокого содержания подвижных соединений микроэлементов в дерново-подзолистых и серых лесных почвах.

Концентрации подвижных Мо и В в почвах, напротив, прямо пропорционально зависели от величины рН ($r=0,41-0,49$), а также от содержания гумуса ($r=0,42-0,46$). Подвижность этих элементов усиливается в нейтральной и щелочной среде. Среди зональных почв более высокий

уровень элементов находился в черноземах обыкновенных и лугово-черноземных почвах. Максимальные концентрации Мо находились в солонцах.

Важной экологической характеристикой является содержание микроэлементов в растениях, связанных с почвой в единую систему. Исследования свидетельствуют о том, что содержание микроэлементов в растениях зависит, как от генетического, так и от экологического факторов.

В биомассе естественной мятликовой растительности, произрастающей на почвах южной тайги в условиях дефицита микроэлементов в почвах, наблюдается низкое содержание Cu, Co, Mo и B. Количество Mn и Zn в них также невысокое. Следовательно, низкие концентрации микроэлементов в почвах и растениях являются неблагоприятным экологическим фактором развития живых организмов в ландшафтах южной тайги.

В черноземных и солонцовых почвах общие запасы микроэлементов Cu, Co и Zn возрастают при небольшой доле в их составе подвижных соединений. В естественной растительности лесостепных и степных ландшафтов концентрации всех микроэлементов выше, чем в растениях тайги. В культурных растениях уровень содержания элементов также был более высоким. В растениях пшеницы, ячменя и овса на черноземных почвах отмечается среднее содержание Mn (в зерне 44,6, в соломе 45 мг/кг), Zn (соответственно 33,9 и 10 мг/кг) и Cu (4,9 и 2,2 мг/кг). Значительно больше Mn (65-184 мг/кг) и Cu (6-10,2 мг/кг) содержится в зеленой массе костреца и люцерны.

Сравнение с результатами, полученными в разных регионах, показывает, что содержание микроэлементов Mn, Zn, Cu в зерне пшеницы Омского Прииртышья близкое к величине их концентраций в зерне культуры, выращенной в Новосибирской области (Ильин, Сысо, 2001). В Центральном Черноземье пшеница отличалась более низкими концентрациями в зерне Mn (21,8 мг/кг) и несколько более высоким содержанием Cu (5,75 мг/кг) (Протасова, Щербаков, 2003). Для Забайкалья отмечается пониженное содержание в зерне культуры Cu: 2,8 мг/кг (Кашин, Убугунов, 2012). Варьирование концентраций микроэлементов в растениях разных регионов объясняется почвенно-климатическими различиями, разным содержанием элементов в почвах, возможно, и сортовыми различиями культур.

Большое значение имеет установление степени доступности для растений соединений микроэлементов в почвах. Анализ взаимосвязей содержания подвижных форм микроэлементов в почвах и растениях указывает на частое отсутствие прямой зависимости между этими показателями.

Так, содержание Cu и Zn в зерне пшеницы и овса, выращенных на черноземах обыкновенных было выше по сравнению с данными культурами на черноземах выщелоченных, серых лесных и дерново-подзолистых почвах с более высоким уровнем подвижных форм элементов, определяемых в ААБ (рис. 3).

Между концентрациями Cu и Zn в зерне и их подвижных форм в почвах наблюдалась отрицательная связь ($r=-0,53-0,59$). Более значимая зависимость была обнаружена между содержанием элементов в растениях и величиной pH ($r=0,58-0,78$). В то же время для Zn обнаруживалась прямая зависимость между концентрациями его в почве и в соломе пшеницы ($r=0,62$). С одной стороны, эти данные свидетельствуют об относительном постоянстве содержания микроэлементов в генеративных органах, что отмечается многими исследователями. С другой стороны, экстракция из почв соединений микроэлементов ААБ, вероятно, не в полной мере отражает степень доступности их растениям. Как указывалось выше, на почвах тайги и северной лесостепи с относительно более высоким уровнем подвижных Cu и Zn содержание этих элементов в растениях было ниже, чем на почвах лесостепи и степи.

Значительную экологическую проблему для агроценозов на солонцовых и засоленных почвах представляют избыточные концентрации в них подвижного В. Повышенное поступление его нарушает баланс химических элементов в растениях и снижает их урожайность, а избыток В в растительном корме вызывает заболевания животных.

Содержание В в первую очередь определяется биологическими особенностями вида растения. Наиболее низкие его концентрации находятся в растениях семейства мятликовых (0,4-10,5 мг/кг), более высокие в растениях семейств бобовые, сложноцветные, капустные (20-60 мг/кг). В то же время отмечалась положительная зависимость между концентрациями подвижного В в почвах и содержанием его как в естественной растительности, так и в культурных сельскохозяйственных растениях. На солонцах с очень высоким содержанием В концентрации его в надземной массе естественных и культурных растений в 1,5-3,0 раза превышали их уровень в растениях на зональных почвах (рис. 4).

Отсутствие значений ПДК В в корме затрудняет оценку его содержания в растениях. Согласно данным В.В. Ковальского (1974), избыточным является содержание элемента в корме более 60 мг/кг,

В.Н. Башкин и др. (1993) приводят данные об избытке элемента при концентрации более 30 мг/кг. В наших исследованиях наиболее высокие концентрации В в надземной массе мятликовых культур (30–46 мг/кг) наблюдались на солонцах в растениях овса в фазы кушения-трубкования. В фазе колошения-цветения концентрации элемента в растениях были значительно ниже избыточного уровня.

Снижению доступности бора для растений на солонцах способствует наличие в почве ионов легкорастворимых солей. В вегетационных опытах с ячменем и викой было показано, что даже при сильной степени борного засоления почвы легкорастворимые соли существенно снижали поступление микроэлемента в надземную массу растений (Азаренко, 2011). Кроме того, проявляется эффект «разбавления» концентраций В в биомассе взрослых растений. Несмотря на отсутствие явного превышения ориентировочных нормальных уровней В в растительности на солонцах, по нашему мнению, нельзя делать вывод о полном благополучии биогеохимической обстановки на почвах с борным засолением. Так, например, исследования Грачева А.Д. (1971) показали, что токсичность В усиливается при повышенном содержании сульфатов натрия и соды в почве, что характерно для солонцов юга Западной Сибири. Поэтому необходимо контролировать содержание В в растениях на солонцах и других почвах с избыточным содержанием элемента.

ВЫВОДЫ

1. Неоднородные почвенно-геохимические условия на территории Омского Прииртышья привели к значительному варьированию содержания микроэлементов в почвах и растениях в зависимости от зоны и свойств почв. Эколого-агрохимическая обстановка в агроценозах южной тайги характеризуется дефицитом в почвах для растений подвижных В, Мо, Со, часто Си. В растительности природных травостоев и культурных растениях (пшеница, овес) отмечалось низкое содержание Си, Мо и Zn, в мятликовых растениях – Со. Встречается недостаточное содержание Mn в растениях.

2. Содержание кислоторастворимых форм Mn, Cu, Zn, Со в черноземах, лугово-черноземных почвах и солонцах лесостепной и степной зон было близким к их фоновому валовому содержанию в черноземах юга Западной Сибири. Валовое количество В минимальное в дерново-подзолистых и серых лесных, существенно выше в черноземных почвах. В почвах солонцового и засоленного рядов содержание элемента превышает в 1,5-2,5 раза его уровень в черноземах. Содержание микроэлементов в гумусовых горизонтах почв зависело от содержания фракций ила, физической глины, величина ЕКО. На уровень концентраций подвижных форм микроэлементов в почвах разных типов оказывали влияние реакция среды и степень гумусированности: для Си и Zn установлена обратная зависимость с рН, для Мо и В прямая зависимость с рН и содержанием гумуса.

3. Доля подвижных соединений Cu, Zn, Со, переходящих в ААБ с рН 4,8, в гумусовых горизонтах черноземных и солонцовых почв составляла менее 1%, Mn – 1,8-3,3%. На подвижные формы В и Мо приходилось 5-13% их валового содержания. Среди микроэлементов на этих почвах в первом минимуме находится Zn. Обеспеченность растений Си и Со низкая и средняя, Mn и Мо средняя и высокая, В высокая. В солонцах концентрации подвижного бора достигают и превышают порог борного засоления и при выращивании сельскохозяйственных культур рекомендуется учитывать их степень устойчивости к избытку элемента.

4. Содержание микроэлементов в естественной растительности и культурных растениях на почвах лесостепной и степной зон более высокое по сравнению с растительностью южной тайги, что, вероятно, связано с увеличением общих запасов микроэлементов в почвах. В растительности природных травостоев отмечается пониженный уровень Си, Со, иногда Zn. На почвах солонцового и засоленного рядов создаются условия для повышенного поступления В в пищевые цепи, здесь возможны проявления эндемических заболеваний животных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам и директору ФГБУ ЦАС «Омский», доктору сельскохозяйственных наук В.М. Красницкому за представление материалов для работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агеев В.А. Содержание меди и молибдена в дерново-подзолистых почвах Омского Прииртышья и отзывчивость яровой пшеницы на микроудобрения: автореф. дис. канд. с.-х. наук. Омск. 1980. 16 с.
2. Азаренко Ю.А. Влияние факторов почвенной среды на устойчивость растений к бору // *Агрохимия*. 2011. № 8. С. 67-74.
3. Азаренко Ю.А. Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири. Омск: Вариант-Омск, 2013. 232 с.
4. Алиханова О. И. Токсическое действие бора на растения // *Агрохимия*. 1980. № 7. С. 98-102.
5. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 1961. 491 с.
6. Битюцкий Н.П. Микроэлементы высших растений. СПб: Изд-во СПб ун-та. 2011. 368 с.
7. Башкин В.Н., Евстафьева Е.С., Снакин В.В., Алябина И.О., Антипова А.В., Кречетов П.П., Кузовникова Т.А., Мельченко В.Е., Степичев А.В. Биогеохимические основы экологического нормирования. М.: Наука. 1993. 304 с.
8. ГОСТ 27997-88. Корма растительные. Методы определения марганца. Москва: Издательство стандартов. 1988. 7 с.
9. ГОСТ 27998-88. Корма растительные. Методы определения железа. Москва: Издательство стандартов. 1988. 10 с.
10. ГОСТ Р 50682-94. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 14 с.
11. ГОСТ Р 50683-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди и кобальта по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1994. 19 с.
12. ГОСТ 50684-94. Почвы. Определение подвижных соединений меди по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1994. 14 с.
13. ГОСТ 50687-94. Почвы. Определение подвижных соединений кобальта по методу Пейве и Ринькиса в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов, 1994. 16 с.
14. ГОСТ Р 50685-94. Почвы. Определение подвижных соединений марганца по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 12 с.
15. ГОСТ Р 50886-94. Почвы. Определение подвижных соединений цинка по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 16 с.
16. ГОСТ Р 50688-94. Почвы. Определение подвижных соединений бора по методу Бергера и Труога в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 16 с.
17. ГОСТ Р 50689-94. Почвы. Определение подвижных соединений молибдена по методу Григга в модификации ЦИНАО. Москва: Издательство стандартов. 1994. 14 с.
18. ГОСТ 30692-2000. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия. Минск. 2000. 14 с.
19. Грачев А. Д. Влияние микроэлементов на обмен веществ у овец в условиях Кулундинской степи // *Микроэлементы в биосфере и применение их в сельском хозяйстве и медицине Сибири и Дальнего Востока: Докл. III Сибир. конф., 1-4 июля 1969 г., г. Омск.-Улан-Удэ, 1971. С. 355-357.*
20. Добровольский В.В. Избранные труды. Т.2. Геохимия почв и ландшафтов. М.: Науч. мир. 2009. 758 с.
21. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов Mn, Cu, Mo, B в южной части Западной Сибири. Новосибирск. Изд-во: Наука. Сибирское отделение. 1973. 390 с.
22. Ильин В.Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2012. 220 с.
23. Ильин В.Б., Сысо А.И. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 229 с.
24. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир. 1989. 439 с.
25. Кашин В.К., Убузунов Л.Л. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в Западном Забайкалье // *Агрохимия*. 2012. № 4. С. 68-76.
26. Ковальский В. В. Геохимическая экология. М.: Наука. 1974. 297 с.
27. Методические рекомендации по определению нормативов соотношений макро- и микроэлементов в растениях по системе ИСОД. М. 1989. 80 с.
28. *Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Испр. и доп. версия 2015. Доклады о мировых почвенных ресурсах. № 106. ФАО и Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. 2017. 203 с.*
29. Орлова Э.Д., Пыхтарева Е.Г. Микроэлементы в почвах и растениях Омской области и применение микроудобрений. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ. 2007. 76 с.
30. Протасова Н.А., Щербаков А.П. Микроэлементы (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) в черноземах и серых лесных почвах Центрального Черноземья. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2003. 368 с.
31. Сиромля Т.И. О применении 5M HNO₃ при исследовании элементного химического состава почв юга Западной Сибири // *III Ковалевские молодежные чтения «Почва – ресурс экологической и продовольственной безопасности»: материалы Всерос. науч. конф. (Новосибирск, 26-30 сентября 2016 г.). Томск, 2016. С. 284-290.*

32. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2007. 277 с.
33. Adriano D.C. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. 2001. 868 p.
34. Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Background concentrations of heavy metals in soils of southern Western Siberia // *Eurasian Soil Science*. 2003. V. 36. № 5. P. 494-500.
35. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. 548 p.
36. Trace elements in soils. Editor: Peter S. Hooda. Wiley. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. 2010. 596 p.
37. Vodyanitskii Y.N. Mineralogy and geochemistry of manganese // *Eurasian Soil Science*. 2009. V. 42. №10. P. 1170-1178.

Поступила в редакцию 15.08.2017; принята 11.05.2018;
опубликовано 23.06.2018

Сведения об авторе:

Азаренко Юлия Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омского государственного аграрного университета (Омск, Россия), azarenko.omgau@mail.ru

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

ECOLOGO-AGROCHEMICAL CHARACTERISTIC OF THE TRACE MICROELEMENTS IN THE SYSTEM OF SOIL-PLANT IN AGROCENOSSES OF OMSK IRTYSH REGION

© 2018 Yu.A. Azarenko

Address: Omsk State Agrarian University named by P.A.Stolypin, Omsk, Russian Federation
E-mail: azarenko.omgau@mail.ru

The data on the content of microelements Mn, Cu, Zn, Co, Mo, B in soils of different zones of Omsk Irtysh region and plants grown on them are presented. The content of acid-soluble forms of Mn, Cu, Zn, Co, determined in 5M HNO₃, in chernozem and solonets soils of the forest-steppe and steppe approaches the background total content in the chernozems of the south of Western Siberia. It depends on the content of sludge fractions, physical clay, the value of the cation exchange capacity. On the soils of the southern taiga, plants are deficient in mobile B, Mo, Co, Cu. In the chernozem and solonets soils of the forest-steppe and steppe zones, the mobility of the Cu, Zn, Co compounds is low (0.5-1.2% of acid-soluble forms), Mn (1.8-3.3%), B and Mo (5-13%) is higher. The content in mobile zinc soils is estimated as low, Mn, Cu, Co as low and medium, Mo - medium and high, B - high. The level of trace elements in natural and cultivated plants is higher than in the southern taiga, however, a low content of Cu, Co, and sometimes Zn is often observed. In solonetz and saline soils, excessive concentrations of mobile B are contained, which contributes to an increase in the entry of the element into food chains.

Key words: microelements; soils; plants; Omsk Irtysh Region

How to cite: Azarenko Yu.A. Ecologo-agrochemical characteristic of the trace microelements in the system of soil-plant in agrocenoses of Omsk Irtysh region // *The Journal of Soils and Environment*. 2018. 1(2): 52–66. (in Russian with English abstract).

REFERENCES

1. Ageev V.A. The content of copper and molybdenum in sod-podzolic soils of Omsk Priirtyshye and responsiveness of spring wheat to microfertilizers: author's abstract. dis. cand. agricultural sciences. Omsk. 1980. 16 pp. (in Russian)
2. Azarenko Yu.A. Influence of factors of the soil environment on the resistance of plants to boron, *Agrochimiy*, 2011, No8, p. 67-74. (in Russian)
3. Azarenko Yu.A. Regularities of the content, distribution, interrelations of microelements in the soil-plant system in the conditions of the south of Western Siberia. Omsk: Variant-Omsk, 2013. 232 p. (in Russian)
4. Alikhanova O.I. The toxic effect of boron on plants, *Agrochimiy*, 1980, No. 7, p.98-102. (in Russian)
5. Arimushkina E. V. Guide to the chemical analysis of soils. Moscow: Izd-vo Mosk. University. 1961. 491 p. (in Russian)
6. Bashkin V.N., Evstafieva E.V., Snakin V.V. et al. Biogeochemical bases of ecological rationing. Moscow: Nauka, 1993, 304 p. (in Russian)
7. Bityutskii N.P. Microelements of higher plants. St. Petersburg: Publishing house of St. Petersburg University. 2011. 368 p. (in Russian)

8. GOST 27997-88. Vegetable forages. Methods for the determination of manganese. Moscow: Standard Publishing House. 7 p. (in Russian)
9. GOST 27998-88. Vegetable forages. Methods for the determination of iron. Moscow: Standard Publishing House. 10 p. (in Russian)
10. GOST R 50682-94. Soil. Determination of mobile compounds of manganese by the method of Peive and Rinkis in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 14 p. (in Russian)
11. GOST R 50683-94. Soil. Determination of mobile compounds of copper and cobalt by the method of Krupsky and Alexandrova in the modification of CINAO. Moscow: Publishing house of standards, 1994. 19 p. (in Russian)
12. GOST 50684-94. Soil. Determination of mobile compounds of copper by the method of Peive and Rinkis in the modification of CINAO. Moscow: Publishing house of standards, 1994. 14 p. (in Russian)
13. GOST 50687-94. Soil. Determination of mobile cobalt compounds by the method of Peive and Rinkis in the modification of CINAO. Moscow: Publishing house of standards, 1994. 16 p. (in Russian)
14. GOST R 50685-94. Soil. Determination of mobile compounds of manganese by the method of Krupsky and Alexandrova in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 12 p. (in Russian)
15. GOST R 50886-94. Soil. Determination of mobile compounds of zinc by the method of Krupsky and Alexandrova in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 16 p. (in Russian)
16. GOST R 50688-94. Soil. Determination of mobile boron compounds by the method of Berger and Truog in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 16 p. (in Russian)
17. GOST R 50689-94. Soil. Determination of mobile compounds of molybdenum by the Grigg method in the modification of CINAO. Moscow: Standard Publishing. 14 p. (in Russian)
18. GOST 30692-2000. Forage, mixed fodder, feed forage. Atomic absorption method for determination of copper, lead, zinc and cadmium content. Minsk. 2000. 14 p.
19. Grachev A.D. Influence of trace elements on the metabolism of sheep in the conditions of the Kulunda steppe, *Microelements in the biosphere and their application in agriculture and medicine in Siberia and the Far East: Dokl. III Sibirsk. Conf., July 1-4, 1969, Omsk-Ulan-Ude, 1971. pp. 355-357.*
20. Dobrovolsky V.V. Selected works. Geochemistry of soils and landscapes. Moscow: Scient. peace. 2009. 758 p. (in Russian)
21. Il'in V.B. Biogeochemistry and agrochemistry of the trace elements (Mn, Cu, Mo, B) in the south of the Western Siberia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 1973. 390 p. (in Russian)
22. Il'in V.B. Heavy metals and non-metals in the soil-plant system. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences. 2012. 220 p. (in Russian)
23. Il'in V.B., Syso A.I. Microelements and heavy metals in soils and plants of Novosibirsk region. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2001. 229 p. (in Russian)
24. Kabata-Pendias A., Pendias H. Microelements in soils and plants. Moscow: Mir. 1989. 439 p.
25. Kashin V.K., Ubugunov L.L. Accumulation Features of Microelements in Wheat Grain in Western Transbaicalia, *Agrochimiya*, 2012, No 4, p. 68-76. (in Russian)
26. Kovalsky V.V. Geochemical ecology. M.: Nauka. 1974. 297 p. (in Russian)
27. Methodological recommendations for the determination of standards for the ratio of macro- and microelements in plants through the ISOD system, Moscow, 1989, 80 p. (in Russian)
28. *World reference base of soil resources 2014. International soil classification system for soil diagnostics and creation of soil map legends. Correction. and additional. version 2015. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO and Moscow State University, 2017, 203 p.*
29. Orlova E.D., Pykhtareva E.G. Microelements in soils and plants of Omsk region and application of microfertilizers, Omsk: OmGAU, 2007, 76 p. (in Russian)
30. Protasova N.A., Shcherbakov A.P. The microelements (Cr, V, Ni, Mn, Zn, Cu, Co, Ti, Zr, Ga, Be, Sr, Ba, B, I, Mo) in Chernozems and Gray forest soils of the Central Chernozem region, Voronezh: Voronezh. State. Univ., 2003, 368 p. (in Russian)
31. Siromlya T.I. Using 5 M HNO₃ to study chemical elements in soils of the south of West Siberia, *III Kovalevsk youth readings "Soil is a resource of ecological and food security": materials scientific conf. (Novosibirsk, September 26-30, 2016), Tomsk, 2016, p. 284-290.* (in Russian)
32. Syso A.I. Patterns of distribution of chemical elements in soil-forming rocks and soils of Western Siberia. Novosibirsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2007, 277 p. (in Russian)
33. Adriano D.C. Trace elements in the terrestrial environment. New York, Berlin, Heidelberg. Springer-Verlag. 2001, 868 p.
34. Il'in V.B., Syso A.I., Baidina N.L., Konarbaeva G.A., Cherevko A.S. Background concentrations of heavy metals in soils of southern Western Siberia, *Eurasian Soil Science*, 2003, V. 36, No 5, p. 494-500.
35. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. 548 p.
36. Trace elements in soils. Editor: Peter S. Hooda. Wiley. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. 2010. 596 p.
37. Vodyanitskii Y.N. Mineralogy and geochemistry of manganese, *Eurasian Soil Science*, 2009, V. 42, No 10, p. 1170-1178.

Received 15 September 2017; accepted 11 May 2018;
published 23 June 2018.

About author:

Azarenko Yuliya A. – Candidate of Agricultural Sciences, of Soil Science and Agrochemistry Chair of the Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Omsk, Russia), azarenko.omgau@mail.ru

The author read and approved the final manuscript



The article are available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).