

7. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizika pochv: antropogennyy faktor. Tom 2. – Suzdal: Izd-vo Vladimirskogo NIISKh, 1997. – Т. 2. – 186 с.

8. Bolotov A.G. Izmerenie temperatury pochv v polevykh usloviyakh // Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy: tez. dokl. II Mezhdunar. konf. (18-19 aprelya 2002 g., Barnaul). – Barnaul: Izd-vo AGU, 2002. – S. 148-150.



УДК 636:631.416.9(571.15)

А.А. Томаровский, С.Ф. Спицына, Г.В. Оствальд
A.A. Tomarovskiy, S.F. Spitsyna, G.V. Ostwald

ЗАПАСЫ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВ КУЛУНДИНСКОЙ ЗОНЫ

TRACE ELEMENT STOCKS IN THE UPPER HORIZONS OF THE KULUNDA ZONE SOILS

Ключевые слова: микроэлементы, медь, молибден, марганец, цинк, кобальт, бор, почвы Кулундинской зоны, подвижные формы микроэлементов, валовое содержание микроэлементов, прирост запасов микроэлементов.

Количество накопленных подвижных форм микроэлементов в почве не всегда благоприятно для питания растений. Склонность к накоплению зависит от таких свойств элемента, как валентность, заряд и радиус иона, нахождение в воде в виде катиона или аниона. Объектами исследований выбраны почвы различных почвенных районов Кулундинской зоны – зоны каштановых почв сухой степи, где каштановые почвы соседствуют либо с темно-каштановыми (Кулундинский район), либо со светло-каштановыми (Славгородский район). Исследовались слои почвы 0-40 см, включающие горизонты А+В и 60-100 см, карбонатный горизонт и почвообразующую породу на содержание в них общих количеств и подвижных форм микроэлементов. Для выявления большей или меньшей дефицитности для растений микроэлементов использовался метод определения соотношений их концентраций в почвах и растениях. В результате исследований установлено, что пахотные зоны Кулундинской зоны Алтайского края характеризуются достаточно высоким приростом запасов валовых количеств микроэлементов в горизонте 0-40 см относительно почвообразующих пород (9,1-38,9%). Приросты запасов подвижных форм наблюдаются только относительно меди, молибдена, марганца и кобальта (42,9-28,9%). Прироста запасов цинка и бора не наблюдается. Особенно высок прирост запасов у марганца. Запасы подвижных форм цинка одновременно с приростом тратились на вынос культурными растениями и на водную миграцию, запасы подвижного бора – на водную миграцию. Оценивая полезность этих запасов для растений по соотношению элементов, можно отметить избыточность в них марганца и кобальта и недостаточность подвижных форм молибдена, цинка и бора. Эти проявления

необходимо учитывать при разработке системы удобрений, включающей микроэлементы.

Keywords: trace elements, copper, molybdenum, manganese, zinc, cobalt, boron, Kulunda zone soils, trace element mobile forms, total trace element content, addition to trace element stocks.

The amount of trace element mobile forms accumulated in soil is not always beneficial for plant nutrition. Accumulation tendency depends on such element properties as valence, ion charge and ionic radius, and being in water as cation or anion. The research targets were the soils of various soil areas of the Kulunda zone – the zone of chestnut soils of dry steppe where chestnut soils are found side by side with either dark-chestnut soils (Kulunda district) or light chestnut soils (Slavgorod district). The soil layers of 0-40 cm including A+B horizons, and 60-100 cm including carbonate horizon and parent rock were studied to determine the total trace element content and the trace element mobile forms. To reveal greater or lesser trace element deficiency for plants, their concentration ratios in soils and plants were determined. It has been found that the arable zones of the Kulunda zone of the Altai Region are characterized by rather high addition to total trace element stocks in the horizon of 0-40 cm as compared to parent rocks (9.1-38.9%). The addition to mobile form stocks is observed only relating copper, molybdenum, manganese and cobalt (42.9-28.9%). There is no addition to the stocks of zinc and boron. The addition to manganese stocks is particularly high. The stocks of zinc mobile forms along with the addition were used up for removal by crop plants and for water migration. The stocks of mobile boron were used up for water migration. The evaluation of the usefulness of these stocks for plants in terms of element ratio revealed the excess of manganese and cobalt, and the deficiency of molybdenum, zinc and boron mobile forms. These research findings should be taken into account when developing fertilizer systems that include trace elements.

Томаровский Алексей Анатольевич, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-12. E-mail: tom486@yandex.ru.

Спицына Светлана Федоровна, д.с.-х.н., проф., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-09. E-mail: tom486@yandex.ru.

Оствальд Галина Викторовна, к.х.н., доцент, зав. каф. химии, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

Tomarovskiy Aleksey Anatolyevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-31. E-mail: tom486@yandex.ru.

Spitsyna Svetlana Fyodorovna, Dr. Agr. Sci., Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: tom486@yandex.ru.

Ostwald Galina Viktorovna, Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Chemistry, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

Введение

Почвы зоны каштановых почв сухой степи характеризуются значительным накоплением валовых количеств микроэлементов, например, меди, марганца и кобальта. Это обусловлено особенностью почвообразующих пород и слабой выщелоченностью профиля от карбонатов. Накопленные в процессе почвообразования количества микроэлементов в верхних горизонтах почв можно считать резервом их в почве с учетом того, какие из них являются дефицитными для растений [1].

Для выявления значимости для растений тех или иных микроэлементов особенно важны знания о подвижных формах микроэлементов в верхних слоях почв, где сосредотачиваются корни культурных растений и идет гумусонакопление.

Благодаря сухости климата и необдуманной деятельности человека почвы этой зоны подверглись ветровой эрозии, что сопровождалось уменьшением гумусового горизонта, снижением содержания в почве гумуса и различных элементов питания. В связи с этим появилась необходимость в знаниях о тех количествах микроэлементов, которые были накоплены в этих почвах в течение почвообразовательного процесса, что дает возможность определить наиболее дефицитные элементы, т.е. те, на которые необходимо уделить особое внимание при разработке системы удобрений, способствующей восстановлению почвенного плодородия. Вопрос о формировании запасов микроэлементов в верхних горизонтах почв Алтайского края, в т.ч. на территории Кулундинской зоны, частично поднимался в некоторых частных исследованиях [2-8]. Но эти исследования были фрагментарными и касались либо зоны колючей степи и лесостепи, либо описания профильного распределения микроэлементов, либо отдельных микроэлементов.

Данное исследование предусматривает выявление особенности поведения отдельных микроэлементов в процессе их накопления в верхних горизонтах почвы с учетом

формирования их соотношения и полезности для растений в отдельных почвенных районах зоны.

Объекты и методы исследований

Объектами исследований были почвы различных почвенных районов Кулундинской зоны – зоны каштановых почв сухой степи, где каштановые почвы соседствуют либо с темно-каштановыми (Кулундинский район), либо со светло-каштановыми (Славгородский район).

Исследовались слои почвы 0-40 см, входящие в их состав горизонты А+В и 60-100 см, включающие карбонатный горизонт и почвообразующую породу, на содержание в них общих количеств и подвижных форм микроэлементов.

Для выявления большей или меньшей дефицитности для растений микроэлементов использовался метод определения соотношений их концентраций в почвах и растениях.

Результаты исследований

Накопление микроэлементов в верхних горизонтах почвы является итогом почвообразовательного процесса, сопровождающегося биогенной аккумуляцией. Элементы, накопленные биогенно в основном за счет растений, перераспределяются по почвенному профилю и по уклону местности. Интенсивность накоплений зависит от индивидуальных свойств элемента, в частности, от склонности их к водной миграции. Она зависит также от наличия барьеров: карбонатного, кислотно-щелочного, окислительно-восстановительного и др. Биогенное накопление элемента за счет растительности, участвующей в почвообразовании, имеет место в основном тогда, когда коэффициенты биологического поглощения достаточно велики. В зоне каштановых почв сухой степи они варьируют: меди – 4,5-6,1, молибдена – 15,8-17,2, марганца – 1,8-2,5, цинка – 10,6-12,2, кобальта – 0,1-0,4, бора – 2,8-4,1. Аккумуляция каждого из микроэлементов в верхних горизонтах почв определяется соотношением процессов выноса

и накопления. Она в отношении конкретного элемента зависит в первую очередь от интенсивности потребления его растениями в соответствии с содержанием в почве подвижных форм. В почве при этом идет группа противоположно-направленных процессов: биогенная аккумуляция элементов, нисходящее и восходящее их движение, разложение органических соединений, гумусообразование, поглощение продуктов распада микроорганизмами, червями и другими живыми организмами.

Для выявления накопления микроэлементов в почвах Кулундинской зоны рассмотрим данные о валовом их содержании в слоях почв 0-40 и 60-100 см. Судя по данным таблицы 1, общие запасы микроэлементов в слоях почв 0-40 см Кулундинской зоны превышают запасы в слое почвы 60-100 см в почвенном районе широкого распространения темно-каштановых почв: меди – на 15%; молибдена – на 12,5; марганца – на 28,6; цинка – на 33,3; кобальта – на 9,1%. Накопления валового бора не наблюдается.

Общие запасы микроэлементов в почвенном районе широкого распространения светло-каштановых почв в слоях почвы 0-40 см превышают запасы в слое 60-100 см: меди – на 20,0%; молибдена – на 10,0; марганца – на 16,7; цинка – на 38,9; кобальта – на 15,4%. Накопления валового бора не наблюдается.

Наше предыдущее исследование [8] выявило, что различий в содержании валового бора в горизонтах А, В и С этих почв не наблюдается. Это свидетельствует о незначительной вероятности его биогенного накопления в гумусовом горизонте относительно почвообразующей породы.

Накопление в верхних горизонтах изучаемых почв подвижных форм микроэлементов является наиболее важным итогом почвообразовательного процесса. Исследования показали, что накопление запасов подвижных форм микроэлементов в слоях почв 0-40 см по сравнению с почвообразующей породой более значимо, чем валовых количеств (табл. 2).

Судя по данным таблицы 2, в слоях почв 0-40 см подвижных форм накапливается: меди – на 42,9-60%; молибдена – на 42,9-50,0; марганца – 233,3-289; кобальта – 50%. Подвижные формы цинка и бора относительно почвообразующих пород в слоях почвы 0-40 см здесь не накапливаются.

Низкая интенсивность накопления в верхних горизонтах каштановых почв подвижных форм цинка связана с его большой значи-

мостью для метаболизма растений. Это отражено в очень высоком коэффициенте биологического поглощения (КПБ) и со значительным поглощением его всеми культурами [7]. Отсутствие накопления подвижного бора в верхних горизонтах каштановых почв связано с его высокой миграционной способностью, что отражено в высоких коэффициентах его водной миграции в этой зоне [8].

Количество накопленных подвижных форм микроэлементов в почве не всегда благоприятно для питания растений. Оно не всегда соответствует потребности растений, даже если в формировании этих запасов значительную роль играли растения, участвующие в почвообразовании на фоне процессов накопления других геохимических процессов, таких как рН, окислительно-восстановительные условия, илистая фракция др. Склонность к накоплению зависит от таких свойств элемента, как валентность, заряд и радиус иона, нахождение в воде в виде катиона или аниона. Полезность накопления тех или иных микроэлементов можно определить через соотношение их количеств в почве и в растениях (табл. 3). Вопросами изучения соотношений микроэлементов в почвах и растениях на территории Алтайского края занимались несколько исследователей [9-12].

В основу данного исследования была положена идея Г.Я. Ринькиса и В.Ф. Ноллендорф (1982): брать для анализа в качестве стандарта соотношение элементов в почве и соотношение их в растениях [9]. В исследованиях в качестве стандартов мы взяли соотношения микроэлементов в естественной растительности почвенных районов Кулундинской зоны (табл. 3).

Анализ соотношений запасов количеств накопленных валовых микроэлементов в слое 0-40 см (табл. 3) показал, что относительно меди значительно превышают стандарт соотношения, соответствующие местной естественной растительности по марганцу и кобальту в обоих исследуемых районах. Соотношения запасов валовой меди и цинка по районам не очень сильно отличаются.

Анализ данных таблицы 4 показал, что в запасах слоя почв 0-40 см относительно меди в том и другом почвенном районах наблюдаются значительный избыток подвижных форм марганца, кобальта и недостаток молибдена. Подвижные цинк и бор в слое 0-40 см не накопились, т.к. были использованы растениями для выноса, а водой – для миграции.

Таблица 1

Запасы микроэлементов в верхних горизонтах почв Кулундинской зоны

Показатели	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Валовое содержание, мг/кг						
Темно-каштановые, каштановые почвы						
0-40 см	23	0,9	900	40	12	45
60-100 см	20	0,6	700	30	11	45
Светло-каштановые, каштановые почвы						
0-40 см (I)	15	1,1	700	25	15	20
60-100 см (II)	10	1,0	600	18	13	27
Запасы микроэлементов (валовое содержание), кг/га, в слоях почвы						
Темно-каштановые, каштановые почвы						
0-40 см (I)	92	3,6	3600	160	48	180
60-100 см (II)	80	3,2	2800	120	44	180
Светло-каштановые, каштановые почвы						
0-40 см	48	4,4	2800	100	60	80
60-100 см	40	4,0	2400	72	52	100
Прирост запасов микроэлементов (кг/га), % в слоях почв 0-40 см по сравнению с почвообразующими породами						
Темно-каштановые, каштановые почвы						
Δ(I-II), кг/га	12	0,4	800	40	4	-
Δ(I-II), %	15	12,5	28,6	38,3	9,1	-
Светло-каштановые, каштановые почвы						
Δ(I-II), кг/га	8,0	0,4	400	28	8	-
Δ(I-II), %	20,0	10,0	16,7	38,9	15,4	-

Таблица 2

Запасы подвижных форм микроэлементов в верхних горизонтах почвы Кулундинской зоны

Показатели	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Темно-каштановые, каштановые почвы						
0-40 см	4,0	0,1	70	0,8	2,0	0,5
60-100 см	2,5	0,07	18	1,0	1,4	0,5
Светло-каштановые почвы, каштановые почвы						
0-40 см	3,0	0,06	60	0,6	2,1	0,6
60-100 см	2,1	0,04	18	0,9	1,4	0,6
Запасы подвижных форм микроэлементов						
Темно-каштановые, каштановые почвы						
0-40 см (I)	16	0,40	280	3,2	8,0	2,0
60-100 см (II)	10	0,28	72	4,0	5,6	2,0
Светло-каштановые почвы, каштановые почвы						
0-40 см (I)	12,0	0,24	240	2,4	8,4	2,4
60-100 см (II)	8,4	0,16	72	3,6	5,6	2,4
Прирост запасов подвижных форм микроэлементов (кг/га), % в слоях 0-40 см по сравнению со слоями 60-100 см						
Темно-каштановые, каштановые почвы						
Δ(I-II), кг/га	6	0,12	208	-	2,8	-
Δ(I-II), %	60	42,9	289	-	50,	-
Светло-каштановые почвы, каштановые почвы						
Δ(I-II), кг/га	3,6	0,08	168	-	2,8	-
Δ(I-II), %	42,9	50	233,3	-	50,0	-

Таблица 3

Соотношение прироста запасов микроэлементов в слое 0-40 см в почвах Кулундинской зоны

Показатели	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Темно-каштановые, каштановые почвы						
Прирост запасов микроэлементов в слое 0-40 см, кг/га (ΔZ)	12	0,4	800	40	4	-
Соотношения прироста запасов	1	0,03	66,7	3,3	0,3	-
Соотношения в естественной растительности	1	0,10	10	2,9	0,04	8
Содержание в естественной растительности, мг/кг	7	0,7	70	20	0,3	-
Светло-каштановые почвы, каштановые почвы						
Прирост запасов микроэлементов в слое 0-40 см, кг/га (ΔZ)	8	0,4	400	28	8	-
Соотношения прироста запасов	1	0,05	50,0	3,5	0,3	-
Содержание в естественной растительности, мг/кг	4	0,4	50	18	0,2	4
Соотношения в естественной растительности	1	0,1	12,5	4,5	0,05	-

Таблица 4

Соотношение прироста запасов подвижных форм микроэлементов в слое 0-40 см в почвах Кулундинской зоны

Показатели	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Темно-каштановые, каштановые почвы						
Прирост подвижных форм в слое 0-40 см, кг/га (ΔZ)	6	0,12	208	-	2,8	-
Соотношения прироста запасов	1	0,02	34,7	-	0,47	-
Соотношения в естественной растительности	1	0,1	10	2,9	0,04	-
Светло-каштановые почвы, каштановые почвы						
Прирост подвижных форм в слое 0-40 см, кг/га (ΔZ)	3,6	0,08	168	-	2,8	-
Соотношения прироста запасов	1	0,02	46,7	-	0,8	-
Соотношения в естественной растительности	1	0,1	12,5	4,5	0,05	-

Заключение

Пахотные почвы Кулундинской зоны Алтайского края характеризуются достаточно высоким приростом запасов валовых количеств микроэлементов в горизонте 0-40 см относительно почвообразующих пород (9,1-38,9%). Приросты запасов подвижных форм наблюдаются только относительно меди, молибдена, марганца и кобальта (42,9-28,9%). Прироста запасов цинка и бора не отмечено. Особенно высок прирост запасов у марганца. Запасы подвижных форм цинка одновременно с приростом тратились на вынос культурными растениями и на водную миграцию, запасы подвижного бора — на водную миграцию.

Оценивая полезность запасов микроэлементов для растений по их соотношению, можно отметить избыточность в почвах подвижных форм марганца и кобальта и недостаточность подвижных форм молибдена, цинка и бора. Эти проявления необходимо учитывать при разработке системы удобрений, включающей микроэлементы.

Библиографический список

1. Yilmaz A., Ekiz H., Torun B., et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils // J. Plant Nutr. – 1997. – Vol. 20 (4-5). – P. 461-471.

2. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В., Третьяков М.Е. Поведение микроэлементов в системе материнская порода-почва на примере черноземов выщелоченных лесостепи и колючей степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (128). – С. 44-47.

3. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Распределение микроэлементов в генетических горизонтах каштановых почв сухой степи и южных черноземов засушливой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (138). – С. 58-64.

4. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Утрата микроэлементов из почвы при дефляции в условиях зоны сухой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 43-48.

5. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В., Поскребкава О.Г. Сбалансированность питания растений микроэлементами на территории колючей степи и лесостепи Алтайского // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 1 (123). – С. 38-41.

6. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Поведение молибдена в системе почва-растения на территории Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (112). – С. 53-57.

7. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Зависимость содержания цинка в растениях от его содержания в почвах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 9 (107). – С. 20-23.

8. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Поведение бора в системе почва-растение на территориях сухой засушливой и умеренно-засушливой степи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 11 (133). – С. 30-36.

9. Ринькис Г.Я., Ноллендорф В.Ф. Сбалансированное питание растений макро- и микроэлементами. – Рига, 1982. – 202 с.

10. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов в южной части Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – 389 с.

11. Ткаченко Т.Н. Поведение и взаимодействие микроэлементов в системе почва-растения на территории Приобского плато Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Барнаул, 2000. – 18 с.

12. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Проявление синергизма и антагонизма между ионами меди, цинка и марганца при поступлении их в растения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 29-32.

References

1. Yilmaz A., Ekiz H., Torun B., et al. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils // J. Plant Nutr. – 1997. – Vol. 20 (4-5). – P. 461-471.

2. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V., Tretyakov M.E. Povedenie mikroelementov v sisteme materinskaya poroda – pochva na primere chernozemov vshchelochennykh lesostepi i kolochnoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 6 (128). – S. 44-47.

3. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Raspredelenie mikroelementov v geneticheskikh gorizontakh kashtanovykh pochv sukhoy stepi i yuzhnykh chernozemov zasushlivoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 4 (138). – S. 58-64.

4. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Utrata mikroelementov iz pochvy pri deflyatsii v usloviyakh zony sukhoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 11 (145). – S. 43-48.

5. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V., Poskrebkova O.G. Sbalansirovanost pitaniya rasteniy mikroelementami na territorii kolochnoy stepi i lesostepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstven-

nogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 1 (123). – S. 38-41.

6. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Povedenie molibdena v sisteme pochva-rasteniya na territorii Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 2 (112). – S. 53-57.

7. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Zavisimost sodержaniya tsinka v rasteniyakh ot ego sodержaniya v pochvakh Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 9 (107). – S. 20-23.

8. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Povedenie bora v sisteme pochva-rastenie na territoriyakh sukhoy zasushlivoy i umerenno-zasushlivoy stepi // Vestnik

Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 11 (133). – S. 30-36.

9. Rinkis G.Ya., Nollendorf V.F. Sbalansirovannoe pitanie rasteniy makro- i mikroelementami. – Riga, 1982. – 202 s.

10. Ilin V.B. Biogeokhimiya i agrokhimiya mikroelementov v yuzhnoy chasti Zapadnoy Sibiri. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 389 s.

11. Tkachenko T.N. Povedenie i vzaimodeystvie mikroelementov v sisteme pochva-rasteniya na territorii Priobskogo plato Altayskogo kraya: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 2000. – 18 s.

12. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Proyavlenie sinergizma i antagonizma mezhdru ionami medi, tsinka i margantsa pri postuplenii ikh v rasteniya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 10 (120). – S. 29-32.

