

## РОЛЬ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЖИЗНИ РАСТЕНИЙ И СОДЕРЖАНИЕ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЦИНКА, МАРГАНЦА И МЕДИ В ПОЧВАХ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ

**А.Х. Куликова**, доктор с.-х. наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»  
8 (8422) 55-95-68, [agroec@yandex.ru](mailto:agroec@yandex.ru)

**Е.А. Черкасов**, директор ФГБУ «САС «Ульяновская»,  
**Б.К. Саматов**, кандидат с.-х. наук, ФГБУ «САС «Ульяновская»  
8 (8422) 46-30-99, [agrohim\\_73@mail.ru](mailto:agrohim_73@mail.ru)

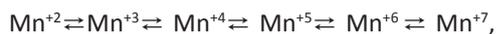
**А.Д. Антошин**, магистрант  
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»  
8 (8422) 55-95-68, [agroec@yandex.ru](mailto:agroec@yandex.ru)

**Ключевые слова:** микроэлементы, подвижные соединения цинка, марганца, меди.

*В работе рассматривается роль микроэлементов в жизни растений и содержание соединений цинка, марганца и меди в почвах Ульяновской области. Показано, что практически все пахотные земли области имеют низкую обеспеченность цинком, 17,6 % площади – марганцем. 98,6 % площади пашни обеспечены доступной медью в средней (20,2 %) и высокой (78,4 %) степени и не нуждаются в медных удобрениях.*

**Введение.** Микроэлементы, к которым относят элементы с содержанием их в сухом веществе растений в пределах 0,01–0,001 %, являются частью общей проблемы минерального питания растений. Известно, что микроэлементы принимают самое активное участие во многих жизненных процессах, происходящих в растениях. Роль их, прежде всего, связана входжением в состав ферментов, при помощи которых осуществляются почти все процессы синтеза и превращения органического вещества. Ниже приводится краткое описание роли марганца, меди и цинка, подвижные соединения которых в почвах Ульяновской области явились объектом наших исследований.

**Марганец.** Физиологическая активность марганца, прежде всего, определяется особенностями строения самого атома данного элемента. Для него возможны разнообразные переходы:



каждый из которых может предопределять то или иное участие элемента в тех или иных окислительно-восстановительных реакциях, жизненно необходимых в растительном и животном организме: фотосинтезе, дыхании, углеводных и белковых обменах и т.д. [1].

Убедительные доказательства участия марганца в процессах фотосинтеза приведены в обзоре [2]. Так, он приводит результаты опытов [3], в которых выявлено прямое участие марганца в фотосинтезе.

Показано восстановление скорости процесса через 20 минут после добавления марганца у дефицитных по этому элементу растений. Установлено участие марганца в системе выделения кислорода при фотосинтезе и в восстановительных реакциях фотосинтеза.

Марганец при нитратном питании растений ведет себя как восстановитель, тогда как при аммиачном – окислитель. Благодаря этому с помощью марганца можно регулировать процессы сахарообразования и синтеза белков [4].

Марганец играет большую роль в активировании многих реакций, в том числе реакций превращения ди- и трикарбоновых кислот, образующихся в процессе дыхания. Предполагается, что он входит в состав фермента, синтезирующего аскорбиновую кислоту; усиливает гидролитические процессы, в результате чего нарастает количество аминокислот; способствует продвижению ассимилянтов, образующихся в процессе фотосинтеза, от листьев к корням и другим органам [5].

В настоящее время известно 23 металлоферментных комплекса, активируемых марганцем, особенно тех, которые принимают участие в гликолизе и цикле Кребса: глюкокиназа, гексокиназа, фосфоглюкокиназа, фосфоглюкомутаза, фосфоглицераткиназа, аденозинкиназа, аргининкиназа, НАД-киназа, дефосфо-КоА-киназа, глутаминсинтетаза, пируватдекарбоксилаза, пируватоксидаза, оксалоацетаткарбоксилаза, изоцитратдегидрогеназа,  $\alpha$ -кетоглутаровая

оксидаза, конденсирующий фермент, дрожжевая фосфатаза, кислая и щелочная фосфатаза, аргиназа, лецитиназа, цистеминдесульфогидраза, дезоксилрибонуклеаза, пирофосфорилаза [2, 5]. Трудно переоценить в этом отношении роль марганца, если учесть, что цикл Кребса является универсальным механизмом в растительном организме.

При недостатке марганца происходит задержка роста растения и его гибель. У различных видов растений это проявляется по-разному и имеет свои специфические названия. У злаков появляется серая пятнистость, в том числе у овса недостаток марганца обычно наблюдается через 3–4 недели после появления всходов. Характерные повреждения развиваются на втором и третьем листьях, после того, как они достигли нормальной величины. В нижней части этих листьев образуется поперечный участок межжилкового хлороза, а верхушки остаются зелеными. Затем на этих участках появляются неправильной формы серые и светло-коричневые пятна из отмерших тканей. Эти пятна распространяются к середине, что вызывает перегиб листа. Через 5–10 дней лист засыхает. Заболевание усиливается в сухую и жаркую погоду и его часто называют «выгоранием» посевов из-за недостатка влаги [6].

У других злаковых (пшеницы, ячменя, ржи) заболевание менее выражено: листья становятся бледно-зелеными, с белесыми продолговатыми пятнами. У кукурузы на листьях появляются отдельные хлоротичные пятна, в дальнейшем расширяющиеся, что ведет к отмиранию пораженных участков на листьях. У сахарной, кормовой свеклы оно называется пятнистой желтухой и проявляется в виде желтых хлоротичных участков между жилками листьев. Содержание марганца в тканях больных растений уменьшается и составляет лишь 13 мг/кг сухого вещества, тогда как в здоровом листе – 181 мг/кг [4]. При недостатке марганца в почве листья картофеля приобретают желтую окраску с сохранением зеленого цвета и сильно отстают в росте и развитии.

**Медь.** Физиологическая и биохимическая роль меди определяется вхождением её в состав ряда ферментов (прежде всего, окислительных): полифенолоксидазы, лактазы, аскорбиноксидазы и др. Медьсодержащие ферменты осуществляют реакции окисления путем переноса электронов. При этом двухвалентная медь переходит в одновалентную и обратно, т.е. может вести себя то как донор, то как акцептор электронов [7].

Медь играет важную роль в азотном обмене, входя в состав нитритредуктазы, гипонитритредуктазы и редуктазы оксида азота. В результате влияния меди на биосинтез леггемоглобина активность ферментных систем повышается и усиливается процесс связывания молекулярного азота атмосферы и усвоение азота почвы и удобрений [8, 9]. По мнению Г.Я. Жизневской [8], при нормальном протекании процессов биосинтеза нитратредуктазы уровень ее активности *in vitro* может лимитироваться притоком доноров водорода и электронов, что в свою очередь зависит от

интенсивности окислительно-восстановительных процессов. Металлы с переменной валентностью (медь, марганец, кобальт, железо), усиливая интенсивность окислительно-восстановительных процессов, могут оказывать влияние на активность нитратредуктазы.

Важную роль медь играет в нуклеиновом обмене. Она влияет на структуру и функции нуклеиновых кислот, по-видимому, вследствие сильной комплексообразующей ее способности [7]. Ими было исследовано соединение меди с нуклеиновыми кислотами и их предшественниками, измеряя падение скорости окисления аскорбата, катализируемого  $\text{Cu}^{+2}$ . Было выявлено удивительное сродство нуклеиновых кислот и некоторых их предшественников с ионами меди.

Следует отметить, что медь в повышенных концентрациях является токсичным элементом и может вызвать отравление растений, приводящее к снижению активности ряда ферментов и, как следствие – к потере урожая. При этом фитотоксичная концентрация меди, приводящая к снижению урожайности, значительно выше, чем, например, свинца, кадмия, цинка.

**Цинк.** Многообразна роль цинка в растениях, изучению которой посвящены многочисленные работы, большинство из которых опубликовано во второй половине 20-го века и обобщено в монографии В.Г. Сычёва и др. [10].

Прежде всего, цинк является составной частью фермента карбоангидразы, активирующего дыхание. Он регулирует белковый, липоидный, углеводный, фосфатный обмен и биосинтез витаминов и ростовых веществ – ауксинов [4].

Физиологическая роль цинка в растениях тесно связана с его участием в азотном обмене. Недостаток цинка приводит к значительному накоплению небелковых растворимых соединений азота: амидов и аминокислот. У томатов, например, содержание глутамина увеличивалось почти в семь раз, аспаргината почти в 50 раз [11]. Сильно возрастало также суммарное содержание свободных аминокислот (лизин, гистидин, серин, треонин, аспаргиновая кислота, лейцин, валин, пролин и аргинин).

J.V. Possingham [11] отмечал накопление в растениях при недостатке цинка нитратов. В опытах с томатами показано, что оно не связано с ослаблением активности нитратредуктазы. Накопление растворимых соединений азота, по-видимому, связано с нарушениями в синтезе белка. При недостатке цинка нарушаются белковый и углеводный обмен, образование ростовых веществ и хлорофилла, процессы фосфорилирования, поступление в растения макро- и микроэлементов.

При высоких концентрациях он токсичен для живых организмов и является элементом первого класса опасности (высокоопасные вещества). Высокие концентрации его представляют мутагенную и онкогенную опасность [12].

Таким образом, роль микроэлементов в растительном организме многогранна и многообразна. Она, прежде всего, связана с вхождением в состав большого количества ферментов, активизирующих и

**Распределение площади пашни Ульяновской области по степени обеспеченности доступными формами микроэлементов на 01.01.2012 г. (тыс. га/% от общей площади)**

Наименование зоны	Обследованная площадь, тыс. га/% от общей площади	Степень обеспеченности			Средневзвешенное содержание, мг/кг почвы
		низкая	средняя	высокая	
<b>Цинк</b>					
Центральная	323,7/100	320/98,9	3,4/1,0	0,3/01	1,0
Западная	251,2/100	247/98,4	3,9/1,6	0,1/0,04	1,1
Заволжская	359,1/100	356,2/99,2	2,9/0,8	–	1,0
Южная	368,1/100	360,4/97,9	7,4/2,01	0,3/0,08	1,1
<b>Марганец</b>					
Центральная	323,7/100	84,9/26,2	194,2/60	44,6/19,8	13,2
Западная	251,2/100	30,7/12,2	163,8/65,2	56,7/22,6	15,1
Заволжская	359,1/100	17,2/4,8	284,6/79,3	57,3/16,0	15,5
Южная	368,1/100	93,5/25,4	240,6/65,3	34,1/9,3	13,0
<b>Медь</b>					
Центральная	323,7/100	2,9/0,9	64,5/20,0	256,2/79,1	3,2
Западная	251,2/100	2,4/1,0	53,9/21,5	194,9/77,6	3,2
Заволжская	359,1/100	0,4/0,1	15,2/4,2	343,5/95,7	3,4
Южная	368,1/100	12,2/3,3	126,8/34,4	299,1/62,2	3,0

определяющих практически все основные жизненно важные биологические процессы в организме. В связи с этим очевидно, какое большое значение имеют микроэлементы в современной земледелии. Для эффективного их применения очень важно создание нормативной базы содержания, прежде всего, подвижных соединений в почвах с целью научно обоснованного планирования и применения удобрений и изучение новых форм микроудобрений, обеспечивающих наибольший эффект при возможно минимальных затратах получение экологически безопасной продукции.

**Объекты и методы исследований.** Объектами исследований явились почвы сельскохозяйственных земель Ульяновской области. Подвижные формы марганца определены по ГОСТ Р 50685–94, меди – ГОСТ Р 50684–94, цинка – ГОСТ Р 50686–94.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Основным источником микроэлементов для растительного организма служит почва, поэтому крайне важен мониторинг их содержания. Информация о распространении элементов в почвах необходима и для оценки их экологического состояния, так как такие металлы, как медь, цинк, бор, молибден при избыточных концентрациях становятся токсичными для живых организмов.

Одними из основных факторов, определяющих содержание микроэлементов в почвах, являются направленность и интенсивность почвообразующих процессов и материнские породы. При этом подвижные их формы определяются типом почв, харак-

тером почвообразующих пород и растительности, микробиологической активностью почвы, реакцией почвенного раствора и т.д. Содержание микроэлементов в подвижной форме для меди, молибдена, кобальта и цинка составляет около 10 – 15 % их валового содержания в почвах, а для бора 2–4 %.

На территории Ульяновской области по геологическому строению, рельефу, гидрологии, климату, почвенному и растительному покрову выделяются 4 агроландшафтные зоны: Центральная, Западная, Заволжская и Южная (Адаптивно-ландшафтная система земледелия Ульяновской области, 2013). Ниже приведено распределение площади пашни по обеспеченности подвижными соединениями марганца, цинка и меди по соответствующим зонам (таблица). Группировка почв по обеспеченности подвижными микроэлементами проведена по следующей шкале: низкая – Zn < 2,0, Cu < 1,5, Mn < 10 мг/кг; средняя соответственно 2,1 – 5,0, 1,6 – 3,3, 10 – 20 мг/кг; высокая Zn > 5, Cu > 3,3, Mn > 20 мг/кг. Определение меди проводилось в вытяжке 1 н HCl, Zn и Mn – ацетатно-аммонийного буферного раствора с pH 4,8.

Как показывают данные таблицы, практически на всей площади пашни Ульяновской области наблюдается острый дефицит содержания в почве подвижных соединений цинка. В Центральной агроландшафтной зоне низкая обеспеченность цинком наблюдается на 98,9 % обследованной площади, Западной зоне на 98,4 %, Заволжской – на 99,2 % и Южной зоне на 97,9 % площади пашни. Следует отметить, что выделенные на

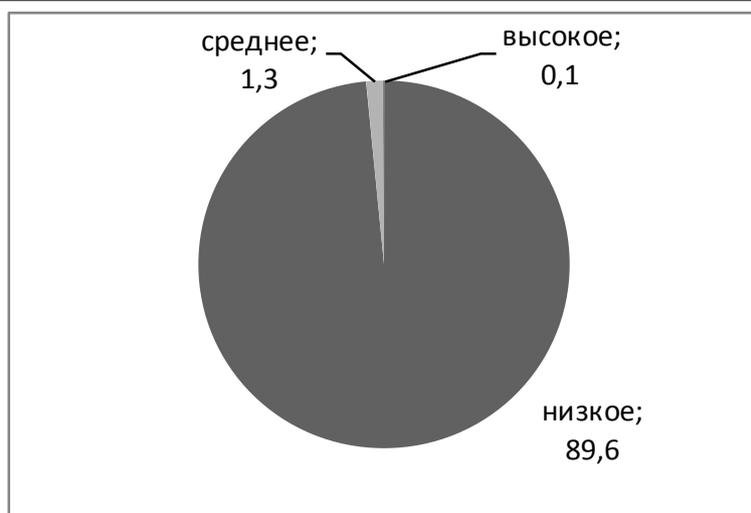


Рисунок 1 – Распределение пахотных почв Ульяновской области, по содержанию подвижного цинка

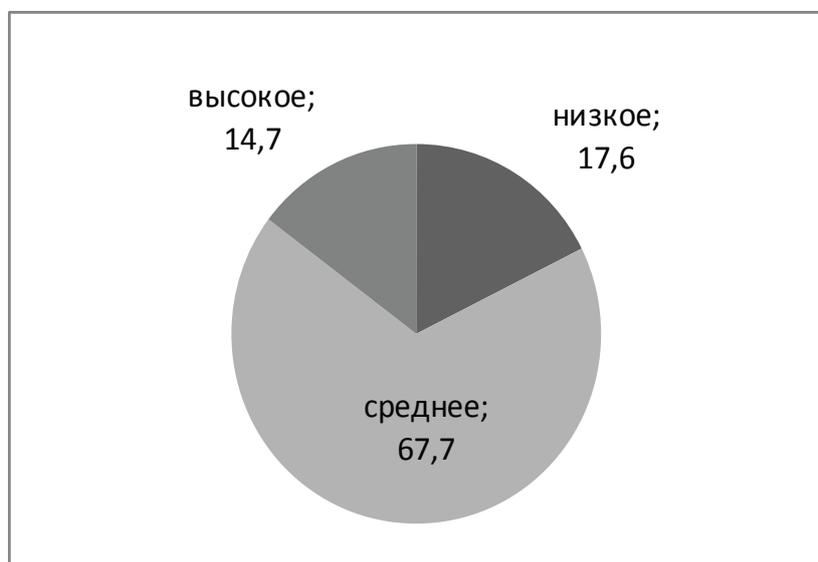


Рисунок 2 – Распределение пахотных почв Ульяновской области, по содержанию подвижного марганца



Рисунок 3 – Распределение пахотных почв Ульяновской области, по содержанию подвижной меди

территории области агроландшафтные зоны, как указывалось выше, отличаются по геологическому строению, рельефу, гидрологии, климату, почвенному и растительному покрову. Несмотря на это, средневзвешенное содержание в пахотном слое подвижных соединений цинка по агроландшафтным зонам мало отличается и составляет 1,0 – 1,1 мг/кг почвы. Последнее свидетельствует о глубоком истощении всех почв области доступным цинком. Следовательно, остро стоит вопрос о применении цинксодержащих удобрений.

Что касается обеспеченности пахотных почв области марганцем, в целом она значительно благоприятна: 67,7 % обследованной площади имеют среднюю обеспеченность и 14,7 % - высокую. Тем не менее, 17,6 % почв обеспечены марганцем в низкой степени. Анализ содержания его по агроландшафтным зонам области (таблица) показал, что лучше всего подвижным марганцем обеспечены почвы Заволжской зоны: почвы с низким содержанием его составляют всего 4,8 %, тогда как в Южной и Центральной зонах они превышают 25 % (соответственно 25,4 и 26,2 %). Высокая степень обеспеченности марганцем наблюдается в Западной зоне, особенно в Сурском районе, где таковые почвы составляют почти четверть площади пашни.

Поведение марганца в почве исключительно сложное и зависит от многих факторов. Он входит в состав ряда минералов, в которых он присутствует в виде ионов  $Mn^{+2}$ ,  $Mn^{+3}$ ,  $Mn^{+4}$  (вады, псиломеланы, вернадий, пиромозит, манганит): вады, псиломеланы  $[(R_1Mn)O \cdot mMnO_2 \cdot nH_2O]$ , вернадий  $(MnO_2 \cdot nH_2O)$ , пиролюзит  $(MnO_2)$ , манганит  $(Mn_2O_3 \cdot H_2O)$ . Чаще всего в породообразующих силикатных минералах встречается его окисленное состояние  $+2$ .

При выветривании горных пород соединения Mn окисляются, а образующиеся оксиды вновь осаждаются и концентрируются во вторичных минералах. Поскольку марганец обладает переменной валентностью, растворимость его соединений (а следовательно, доступность) в значительной степени определяется окислительно-восстановительными условиями (Eh) и от соотношения последней с реакцией среды (pH).

Так, соединения окисленных высоковалентных форм марганца ( $Mn^{+4}$ ) при Eh = 300 – 400 мв обладают низкой миграционной способностью в нейтральной и слабокислой среде. Однако восстановленные его формы ( $Mn^{+2}$ ) при Eh от +100 до –100 мв отличаются достаточно высокой растворимостью и мобильностью [13]. Сказанное о важности окислительно-восстановительных условий в трансформации и миграции элементов с переменной валентностью касается и меди.

Важнейшими минералами, в состав которых входит медь, являются халькозит ( $Cu_2S$ ), халькопирит ( $CuFeS_2$ ), малахит  $(Cu(OH)_2CO_3$ ), простые и сложные сульфиды ( $CuS$ ). При выветривании они легко освобождают ионы меди, особенно в кислой среде. Поэтому медь считается одним из наиболее подвижных металлов в гипергенных процессах. Однако катионы меди в разных окислительно-восстановительных условиях могут также легко осаждаться во вторичные соли как сульфиды ( $CuS$ ), карбонаты ( $CuCO_3$ ) и гидроксид ( $Cu(OH)_2$ ).

При этом при pH ниже 5,5 она подвижна, а выше – выпадает в осадок в виде гидроокиси. По видимому, средняя и высокая обеспеченность медью почв Ульяновской области в том числе объясняется тем, что около половины площадей сельскохозяйственных угодий имеют кислую реакцию среды.

Практически не нуждаются в медных удобрениях почвы Центральной, Западной и Южной зоны. И только 3,3 % площади Южной агроландшафтной зоны имеют низкую обеспеченность медью, где значительные площади карбонатных почв. В целом по Ульяновской области на 01.01.2012 г. низкое содержание подвижного цинка имеют 98,6 % обследованной площади сельскохозяйственных угодий, марганца 17,6 % и меди 1,4 %; средне обеспечены соответственно 1,3; 67,7 и 20,2 % пашни. Только 0,1 % почв пашни обеспечены доступным цинком в высокой степени, тогда как марганцем – 14,7 % и меди – 78,4 % (рисунки 1 – 3).

**Закключение.** Таким образом, анализ содержания в почвах Ульяновской области подвижных соединений цинка, марганца и меди показал:

– практически на всей площади пашни сельскохозяйственных угодий Ульяновской области наблюдается острый дефицит содержания подвижного цинка в пахотном слое. Низкую обеспеченность данным элементом (менее 2 мг/кг) имеют 98,6 % обследованной площади;

– 67,7 % обследованной площади имеют среднюю (10,1 – 20,0 мг/кг) и 14,7 % - высокую (20 мг/кг) степень обеспеченности марганцем. 17,6 % почв обеспечены марганцем в низкой степени (менее 10,0 мг/кг);

– почвы области практически в медных удобрениях не нуждаются, так как 98,6 % площади их обеспечены медью в средней (20,2 %) и высокой (78,4 %) степени.

Выявленные закономерности распределения площади пашни сельскохозяйственных угодий по содержанию Zn, Mn и Cu необходимо учитывать при разработке оптимальных систем удобрения сельскохозяйственных культур в области.

### **Библиографический список:**

1. Удельнова, Т.М. Соединения марганца в растениях и их возможное участие в реакциях фотосинтеза: автореф. дисс. ... канд. биол. наук: 06.01.04 / Т.М. Удельнова. – М., 1969. 24 с.
2. Школьник, М.Я. Микроэлементы в жизни растений / М.Я. Школьник. – Л.: Изд-во «Наука», 1974. – 324 с.
3. Arnon, D.L. Chloroplasts and photosynthesis Brookhaven fumposia in Biol., 1958. – P. 181–181
4. Сатаров, Г.А. Микроэлементы и урожайность сельскохозяйственных культур / Г.А. Сатаров. – Ульяновск: Агро, 2009. – № 12. – С. 26–29.

5. Ягодин, Б.Я. Проблема микроудобрений в земледелии СССР / Б.Я. Ягодин // Агрохимия. – 1981. – № 10. – С. 90–95
6. Магницкий, К.П. Диагностика потребности растений в удобрениях / К.П. Магницкий. – М.: Московский рабочий, 1972. – 272 с.
7. Frieden E. The biochemistry of copper. *Scient. Amer.*, 1968. 5: 103
8. Жизневская, Г.Я. Медь, молибден и железо в азотном обмене бобовых растений / Г.Я. Жизневская. – М.: Изд-во Наука, 1972. – 335 с.
9. Ягодин, Б.Я. Агрохимия / Б.Я. Ягодин, П.М. Смирнов, А.В. Петербургский. – М.: Агропромиздат, 1989. – 639 с.
10. Сычев, В.Г. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В.Г. Сычев, А.Н. Аристархов, А.Ф. Харитонов, В.П. Толстоусов, Н.К. Ефимова, Н.Н. Бушуев. – М.: 2009. – 520 с.
11. Possingham J.V. The effect of mineral nutrition on the content of the amino acid and amides in tomato plants, J. A composition of the effects of deficiencies of copper, zinc, manganese, iron and molybdenum. *Austr. J. Biol. Sci.*, 1956. 9, 4:539.
12. Соколов, О.А. Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды / О.А. Соколов, В.А. Черников, С.В. Лукин. – Белгород: Константа, 2008. – 188 с.
13. Ковда, В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, Н.Г. Зырин. – М., 1973. – 281 с.

## ROLE OF MICROCELLS IN LIFE OF PLANTS AND SODER-ZHANIE OF MOBILE COMPOUNDS OF ZINC, MANGANESE I COPPER IN SOILS OF THE ULYANOVSK REGION

A.N. Kulikova, E.A. Cherkasov, B. K. Samatov, A.D. Antoshin

**Keywords:** *microcells, mobile compounds of zinc, manganese, copper.*

*In work the role of microcells in lives of plants and the content of compounds of zinc, manganese and copper in soils of the Ulyanovsk region is considered. It is shown that practically all arable lands of area have low supply of zinc, 17,6% of the area – manganese. 98,6% of the area of an arable land are provided with available copper in average (20,2%) and high (78,4%) to degree and don't need copper fertilizers.*

УДК 631.45

## ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЛОДРОДИЯ ПОЧВ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ ЗА 2009–2013 ГГ.

**А.Х. Куликова**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина»  
тел. 8 (8422) 55-95-68, [agroec@yandex.ru](mailto:agroec@yandex.ru)

**Е.А. Черкасов**, директор ФГБУ «САС «Ульяновская»

**Б.К. Саматов**, кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБУ «САС «Ульяновская»  
тел. 8 (8422) 46-30-99, [fgysas@mv.ru](mailto:fgysas@mv.ru)

**Ключевые слова:** *Плодородие, подвижные соединения фосфора и калия, гумус, реакция почвенного раствора*

*Работа посвящена изучению изменений показателей плодородия почв сельскохозяйственного назначения (содержание гумуса, подвижные соединения фосфора и калия, реакция почвенного раствора) в среднем за последний 5-летний период и в отдельных хозяйствах Ульяновской области.*