

# СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЗЕРНЕ ЯЧМЕНЯ ПРИ ВНЕСЕНИИ МИКРОУДОБРЕНИЙ В РАЗНЫЕ СЛОИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

**А.Р. Бахитова, В.В. Кидин, д.б.н., РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева**

Приведены экспериментальные данные, полученные на основе вегетационных опытов 2013 и 2015 гг. по влиянию микроэлементов (в сочетании с N, P, K) на урожай зерна ячменя ярового. Дана количественная оценка содержания микроэлементов (Cu, Zn, Mo) в зерне ячменя ярового. На основе химического анализа зерна показаны некоторые особенности потребности микроэлементов при внесении их в пахотный и подпахотный слой дерново-подзолистой почвы.

**Ключевые слова:** ячмень яровой, вегетационный опыт, содержание микроэлементов, урожай зерна.

Средняя урожайность Российских сортов ячменя составляет 2,0 т/га, что ниже общемировой, однако в 2008 г. она увеличилась до 2,5 т/га. В европейской части России, наиболее благоприятной для возделывания культуры, средняя урожайность составляет 3,0-3,2 т/га [4].

В России в последние годы значительно снизилось количество вносимых удобрений. Микроэлементы влияют на передвижение и перераспределение элементов минерального питания в растении, на процесс поглощения растениями элементов питания и проницаемость клеточных мембран. Так, молибден способствует поглощению растениями фосфора за счет участия в метаболизме азота. Улучшает поступление азота также применение меди и бора. Цинк изменяет проницаемость мембран для калия и магния. У растений с дефицитом цинка повышенная концентрация неорганического фосфора [4].

Почвы разной генетической принадлежности, различающиеся по морфологическим и агрохимическим параметрам,

имеют специфические особенности содержания и распределения микроэлементов в пахотном слое, а вместе с тем и характерные закономерности обеспеченности ими [5].

Установлено, что высокие гидрофильность и дисперсность гумусовых кислот в почве обуславливают склонность к образованию внутрикомплексных соединений с поливалентными катионами, в том числе с катионами металлов — микроэлементов, способствуя их передвижению внутрь профиля на значительную глубину [2].

Природа поступления и аккумуляции микроэлементов в пахотном слое разных типов почв неодинакова. В дерново-подзолистых почвах с характерным для них низким уровнем почвенно-грунтовых вод главным фактором, определяющим уровень содержания микроэлементов в гумусовом горизонте, является их биогенная аккумуляция, интенсивность которой зависит от многих признаков, главными из которых являются активность почвенной микрофлоры и скорость разложения органических веществ, гранулометрический состав, количество гумуса, кислотность и др. [5].

Цель исследований - оценить влияние микроэлементов, содержащихся в пахотном и подпахотном слоях дерново-подзолистой почвы, на урожай ячменя. Для этого был проведен химический анализ зерна на содержание микроэлементов.

**Методика.** Опыт проводили в 2013 и 2015 гг. в вегетационном домике и на кафедре Агрономической, биологической химии, радиологии и БЖД РГАУ - МСХА им. К.А. Тимирязева.

Для имитации пахотного и подпахотного горизонтов вегетационные сосуды располагали в два уровня (ставили друг на друга) и герметично соединяли. Дно верхнего сосуда Митчерлиха было вырезано и герметично соединено с нижним сосудом. Для пахотного горизонта использовали только суглинистую почву, а для подпахотного суглинистую и супесчаную дерново-подзолистые почвы. Удобрения вносили в верхний и нижний слои дерново-подзолистой почвы по схеме, состоящей из двух блоков, каждый по 8 вариантов сочетаний удобрений. 8 вариантов в одном блоке с суглинистым нижним (подпахотным) слоем и столько же во втором блоке с супесчаным нижним (подпахотным) слоем. Верхний слой был суглинистым во всем опыте. Каждый вариант состоял из четырех повторностей. Удобрения вносили путем равномерного перемешивания с почвой при набивке сосудов, за 3 дня до посева. Норма высева - 23 растения на сосуд. В вегетационном опыте использовали ячмень яровой сортов Раушан (2013 г.) и Михайловский (2015 г.).

**1. Содержание микроэлементов в дерново-подзолистой почве и дозы внесенных микроудобрений**

Микроэлемент	2013 г.			Удобрение (соль)	Доза удобрения, мг/кг почвы	Микроэлемент	2015 г.			Удобрение (соль)	Доза удобрения, мг/кг почвы
	А <sub>пах.</sub> суглинистый 0-20 см	А <sub>2В</sub> суглинистый 20-40 см	А <sub>2В</sub> супесчаный 20-40 см				А <sub>пах.</sub> суглинистый 0-20 см	А <sub>2В</sub> суглинистый 20-40 см	А <sub>2В</sub> супесчаный 20-40 см		
Cu	2,3	0,11	0,07	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	10	Cu	0,52	0,24	0,16	CuSO <sub>4</sub> ·5H <sub>2</sub> O	2,3
Mo	0,030	0,020	0,016	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	5	Mo	0,008	0,010	0,005	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> ·2H <sub>2</sub> O	2,4
Zn	11,6	1,56	1,4	ZnSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O	20	Zn	10,5	2,5	1,6	Не вносили	

Содержание микроэлементов в дерново-подзолистой почве определяли до закладки опыта, вносили микроудобрения в виде химических солей (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O) (табл. 1).

Сбор и учет урожая осуществляли в фазе полной спелости. Анализ зерна ячменя проводился согласно методам, разработанным производителями оборудования. Содержание микроэлементов в зерне и подвижных микроэлементов в почве (Cu, Zn, Mo) определяли методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «КВАНТ-З.ЭТА-1».

Пробоподготовка включала в себя минерализацию зерна в мuffleной печи SNOL Term по ГОСТ 26929-86 «Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения токсичных элементов» с последующим растворением золы в азотной кислоте для анализа микроэлементов.

**Результаты и их обсуждение.** Вегетационный опыт выявил различия в урожае ячменя под влиянием внесенных удобрений (табл. 2).

В 2013 г. максимальный урожай ячменя сорта Раушан получен в сосудах с внесением полного минерального удобрения (NPK) и с внесением микроэлементов (Cu, Zn, Mo) и полного минерального удобрения.

Причем влияние удобрений было одинаковым при внесении их как в пахотный суглинистый, так и подпахотный суглинистый горизонты. Однако в вариантах с подпахотным супесчаным слоем урожай был несколько выше, независимо от внесения в верхний или нижний слой почвы.

По вариантам в 2015 г. существенные различия в урожайности ячменя ярового сорта Михайловский были выявлены уже на контроле. Контрольный вариант без внесения удобрений в случае супесчаного подпахотного слоя превышал кон-

трольный вариант суглинистого подпахотного слоя на 1,8 г/сосуд. Внесение микроэлементов на фоне полного минерального удобрения не повлияло на урожай по сравнению с полным минеральным удобрением без микроэлементов в пахотном слое. Но внесение полного минерального удобрения как с микроэлементами, так и без них в подпахотный суглинистый слой несколько повысило урожай ячменя.

В вариантах с супесчаным подпахотным слоем урожай ячменя мало отличался от варианта без удобрений, а внесение полного минерального удобрения с микроэлементами и без них в супесчаный подпахотный горизонт вызвало некоторое снижение урожая.

## 2. Урожай ячменя ярового, г/сосуд

Вариант опыта	Сорт Раушан, 2013 г.		Сорт Михайловский, 2015 г.	
	1-й блок	2-й блок	1-й блок	2-й блок
	A <sub>пах.</sub> суглинок A <sub>2</sub> B суглинок	A <sub>пах.</sub> суглинок A <sub>2</sub> B супесь	A <sub>пах.</sub> суглинок A <sub>2</sub> B суглинок	A <sub>пах.</sub> суглинок A <sub>2</sub> B супесь
Удобрения внесены в пахотный горизонт				
Без удобрений	11,4±1,1	15,0±1,1	12,0±0,0	21,5±0,5
РК	9,7±2,7	15,4±1,3	14,3±1,0	21,0±1,0
НРК	10,9±2,0	17,0±1,4	18,3±1,5	20,0±1,5
НРК+микроэлементы	12,4±1,6	16,5±2,6	16,3±1,3	21,0±0,5

## 3. Содержание микроэлементов (Cu, Zn, Mo) в зерне ячменя ярового, мг/кг сухой массы

Слой внесения удобрений	Вариант опыта	2013 г.			2015 г.		
		Zn	Cu	Mo	Zn	Cu	Mo
A <sub>пах.</sub> суглинок 0-20 см	1. Без удобрений	8,4	0,20	0,11	0,9	0,20	0,57
	2. РК	11,7	0,40	0,11	1,5	0,48	0,57
	3. НРК	17,5	0,40	0,24	23,6	0,69	1,21
	4. НРК+Zn, Cu, Mo	20,3	1,10	0,23	19,8	1,05	1,23
A <sub>2</sub> B суглинок 20-40 см	5. РК	12,8	0,50	0,12	0,9	0,29	0,63
	6. НРК	18,3	0,50	0,17	22,9	0,31	0,45
	7. РК+N в пахотн.	19,7	0,50	0,19	22,1	0,44	0,65
	8. НРК+Zn, Cu, Mo	24,7	0,60	0,27	24,5	0,60	0,53
A <sub>пах.</sub> суглинок 0-20 см	9. Без удобрений	17,2	0,50	0,15	2,9	0,47	0,43
	10. РК	12,9	0,50	0,13	2,1	0,33	0,67
	11. НРК	16,9	0,60	0,21	17,6	0,45	1,46
	12. НРК+Zn, Cu, Mo	23,2	1,20	0,25	22,1	1,00	1,63
A <sub>2</sub> B супесь 20-40 см	13. РК	11,0	0,25	0,10	3,4	0,18	0,63
	14. НРК	18,5	0,70	0,17	15,5	0,53	0,83
	15. РК+N в пахотн.	20,8	0,70	0,15	13,4	0,44	1,12
	16. НРК+Zn, Cu, Mo	21,8	1,60	0,31	19,1	1,53	0,65

## 4. Кратность увеличения содержания микроэлементов в зерне по сравнению с контрольными вариантами

Внесение микроэлемента		2013 г.			2015 г.		
		Zn	Cu	Mo	Zn	Cu	Mo
A <sub>пах.</sub> суглинок	+	2,4	5,5	2,1	21,6	5,3	2,1
A <sub>2</sub> B суглинок	-						
A <sub>пах.</sub> суглинок	-	2,9	3,0	2,5	26,7	3,0	0,9
A <sub>2</sub> B суглинок	+						
A <sub>пах.</sub> суглинок	+	1,3	2,4	1,7	7,7	2,1	3,8
A <sub>2</sub> B супесь	-						
A <sub>пах.</sub> суглинок	-	1,3	3,2	2,1	6,7	3,3	1,5
A <sub>2</sub> B супесь	+						

Содержание молибдена в зерне максимально увеличилось в 2,5 раза при внесении в суглинистый подпахотный слой почвы. Внесение в пахотные слои в обоих случаях (суглинистый и супесчаный подпахотный слои) было несколько меньше - в 2,1 и 1,7 раз соответственно.

В 2015 г. прослеживалась аналогичная зависимость в кратности увеличения цинка и меди в зерне ячменя. Однако на содержание молибдена выявилось большее влияние пахотного слоя почвы. Кратность увеличения была наибольшей при внесении в пахотный суглинистый горизонт при супесчаном подпахотном горизонте. Немного меньшим было увеличение содержания молибдена в зерне при внесении его в суглинистый пахотный слой при суглинистом подпахотном - в 2,1 раза.

В 2015 г. цинковые удобрения не применяли. Однако, выявились существенные различия в содержании цинка в зерне при применении только фосфорно-калийных или азотно-

## Удобрения внесены в подпахотный горизонт

РК	12,3±1,6	14,4±1,3	13,8±0,8	20,0±0,0
НРК	11,9±2,8	15,6±2,9	17,5±1,3	19,5±1,5
НРК (N в пахотный)	10,2±1,3	17,1±3,0	19,0±1,5	18,5±1,5
НРК+микроэлементы	11,9±1,3	16,0±1,3	18,5±2,0	15,5±1,5

Микроэлементный состав зерна ячменя был неоднородным по годам, по вариантам и по внесению удобрений в супесчаный или суглинистый подпахотный слой почвы (табл. 3).

Внесение микроэлементов в пахотный и подпахотный горизонты оказывало различное влияние на их содержание в зерне ячменя.

В 2013 г. значительное увеличение содержания цинка в зерне наблюдалось при внесении его в суглинистый подпахотный и в суглинистый пахотный слои, в 2,9 и 2,4 раза соответственно. А при супесчаном подпахотном слое содержание цинка в зерне увеличилось, независимо от горизонта внесения, всего в 1,3 раза (табл. 4).

Влияние меди в 2013 г. было максимальным при внесении в пахотный суглинистый слой - больше в 5,5 раза. При этом гранулометрический состав подпахотного слоя оказал равноценное влияние на содержание меди в зерне, оно увеличилось в 3,0 раза. Минимальное увеличение наблюдалось при внесении в пахотный суглинистый горизонт при подпахотном супесчаном.

фосфорно-калийных солей, или азотно-фосфорно-калийных солей с микроэлементами.

Фосфорно-калийные соли повышали содержание цинка в зерне незначительно - в 1,6 раза при внесении в пахотный слой и суглинистом подпахотном. При внесении в супесчаный подпахотный слой содержание цинка в зерне повысилось в 1,2 раза.

Применение азота, фосфора и калия в сочетании с медью и молибденом и без них вызвало значительное увеличение содержания цинка в зерне - в 23-25 раз при внесении в суглинистый пахотный и суглинистый подпахотный слои. В случае с супесчаным подпахотным слоем увеличение содержания цинка составило всего 6,9 и 5,4 раза (внесение в суглинистый пахотный и супесчаный подпахотный слои соответственно).

Проведенный статистический анализ (Excel) показал положительную корреляционную связь для всех определяемых в опыте микроэлементов между их содержанием в зерне и величиной урожая в 2013 г.: для цинка  $r = 0,28$ , меди -  $0,46$ , молибдена  $r = 0,17$ . В 2015 г. была выявлена отрицательная корреляционная связь между содержанием меди в зерне и урожайностью зерна ячменя ( $r = -0,03$ ), что можно объяснить более высоким содержанием меди в дерново-подзолистой почве. Корреляционная связь между содержанием цинка и молибдена была примерно одинаковой:  $r = 0,28$  и  $0,26$  соответственно.

Несмотря на то, что урожай ячменя был выше при внесении макро- и микроэлементов в подпахотный супесчаный слой почвы, чем в пахотный суглинистый или подпахотный суглинистый, на содержание микроэлементов в зерне ячменя

оказывал влияние также гранулометрический состав подпахотного слоя почвы.

Цинк усваивался в равной степени как из пахотного суглинистого, так и из подпахотного суглинистого слоев. При этом если подпахотный слой более легкого гранулометрического состава, то усвоение его снижается как в пахотном, так и в подпахотном слоях, независимо от горизонта внесения удобрения. Внесение только фосфорно-калийных удобрений не оказывает существенного влияния на потребление цинка растениями ячменя.

Медь в большем количестве усваивается при её внесении в пахотные слои почвы, причем влияние супесчаного подпахотного слоя скорее отрицательное. При наличии супесчаного подпахотного слоя медь из пахотного слоя усваивалась в меньшей степени.

Меньшее потребление молибдена из подпахотного слоя можно объяснить как особенностями развития корневой системы ячменя, большая часть которой находится в пахотном слое почвы, так и меньшей потребностью в молибдене в более поздние фазы роста, когда заканчивается период интенсивного потребления питательных веществ.

Значение молибдена для растения связано с его влиянием на азотный обмен. В составе фермента нитратредуктазы молибден участвует в усвоении растениями нитратов и их дальнейшем включении в состав азотсодержащих органических веществ. Растения потребляют азот наиболее интенсивно до

фазы колошения, в дальнейшем происходит его перераспределение из листьев и стебля в зерно.

Результаты вегетационного опыта выявили некоторые особенности потребления ячменем микроэлементов из разных слоев дерново-подзолистого почвенного профиля, что следует учитывать при его возделывании. Необходимы дальнейшие исследования в полевых опытах по оценке влияния микроэлементов, содержащихся в слоях почвы, на накопление микроэлементов в хозяйственной части продукции.

#### *Литература*

1. Журбицкий З.И. Теория и практика вегетационного метода. - М.: Наука, 1968. - 260 с. 2. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. - Санкт-Петербург, 2008. 3. МУК 4.1.986-00 Методика выполнения измерений массовой доли свинца и кадмия в пищевых продуктах и продовольственном сырье методом электротермической атомно-абсорбционной спектроскопии. - М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. - 34 с. 4. Кидин В.В. Основы питания растений и применения удобрений. Ч. 2. (Микроэлементы). - М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева, 2011. - 336 с. 5. Панасин В. И. Микроэлементы и урожай / Предисл. Б. А. Ягодина. — Калининград: Калининградское кн. изд-во, 2000. - 276 с. 6. Практикум по агрохимии / В.В.Кидин, И.П. Дерюгин, В.И. Кобзаренко и др. /Под ред. В.В. Кидина. — М.: КолосС, 2008. - 599 с. 7. Репко Н.В., Подоляк К.В., Смирнова Е.В., Острожная Ю.В. Статистические исследования мирового производства зерна ячменя // Научный журнал КубГАУ. — 2015. - № 106. - С. 1062-1070.

### **THE CONTENT OF MICROELEMENTS IN BARLEY GRAIN AT THE APPLICATION OF MICRONUTRIENTS TO DIFFERENT LAYERS OF SODDY-PODZOL SOIL**

***A.R. Bakhitova, V.V. Kidin, Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy,  
ul. Pryanishnikova 6., Moscow, 127550 Russia, E-mail: timakad2014@gmail.com***

*The effect of microelements (in combination with N, P, K) on the yield of spring barley (Hordeum vulgare) was studied in pot experiments in 2013 and 2015. The contents of microelements (Cu, Zn, Mo) in spring barley grain were determined. Chemical analysis showed some features of microelement uptake under the application of fertilizers in the plow and subsurface layers of soddy-podzolic soil.*

*Keywords: spring barley, pot experiment, microelement contents, grain yield.*