

ПРИМЕНЕНИЕ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

М. В. Рак, Е. Н. Пукалова, С. Г. Кудласевич

*Институт почвоведения и агрохимии,
г. Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

В условиях преобладающих в структуре сельскохозяйственных угодий Беларуси дерново-подзолистых почв внесение удобрений является основным фактором высокой урожайности сельскохозяйственных культур с хорошим качеством продукции, сохранения и повышения почвенного плодородия. Плодородие почв и уровень применения удобрений на современном этапе развития земледелия являются также наиболее важным условием повышения устойчивости растений к неблагоприятным погодным условиям. За счет научно обоснованного применения удобрений на дерново-подзолистых супесчаных и легкосуглинистых почвах формируется около половины продуктивности растений.

Минеральное питание – одно из основных регулируемых факторов, используемых для целенаправленного управления ростом и развитием растений с целью создания высокого урожая хорошего качества. В последние годы в республике в структуре посевных площадей увеличиваются посевы озимого ячменя. Для сбалансированного питания растений озимого ячменя в целях повышения урожайности и качества зерна особенно важен дифференцированный подход к применению макро- и микроудобрений с учетом обеспеченности почвы доступными формами элементов. При возделывании этой культуры по современным технологиям с ростом урожайности озимого ячменя увеличивается вынос элементов минерального питания, включая микроэлементы, усиливается подвижность питательных веществ, что приводит к необходимости изменения состава применяемых удобрений. Получение высоких урожаев озимого ячменя невозможно без создания оптимального уровня питания, и здесь еще много нерешенных проблем, в частности, необходимы определение потребности растений в элементах минерального питания и разработки нормативов выноса макро- и микроэлементов, что позволит снизить затраты на минеральные удобрения при возделывании этой культуры. При этом важно определить влияние разных доз азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на фоне внесения фосфорных и калийных удобрений на урожайность и качество зерна озимого ячменя. Для повышения эффективности азота, фосфора и калия в технологии возделывания озимого ячменя большое значение имеет также внесение микроэлементов.

1. АГРОЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МАКРО- И МИКРОУДОБРЕНИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

Озимые зерновые культуры достаточно требовательны к почвенным условиям. Высокая урожайность озимых зерновых культур обеспечивается при сбалансированном минеральном питании растений. По своему действию на формирование урожайности, затратам и влиянию на плодородие почвы из всех приемов агротехнологий возделывания сельскохозяйственных культур ведущее место занимает система применения удобрений. Озимые зерновые культуры формируют более высокую урожайность на высококультуренных дерново-подзолистых суглинистых и супесчаных, подстилаемых моренным суглинком почвах, с оптимальным уровнем содержания гумуса и подвижных соединений фосфора и калия. В зависимости от уровня окультуренности почвы доля затрат на применение удобрений существенно изменяется. Поэтому при разработке технологий возделывания озимых зерновых культур на высококультуренных дерново-подзолистых почвах важное значение имеет выявление наиболее оптимальных вариантов применения макро- и микроудобрений на основе оценки их агрономической и экономической эффективности. Ниже представлен ряд результатов полевых опытов по оценке эффективности различных вариантов применения удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах.

Исследования по изучению влияния доз и сроков применения азотных, медных, марганцевых и цинковых удобрений на урожайность и качество зерна озимого ячменя сорта Буслик проводились в 2023–2025 гг. в двух полевых опытах. В РУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района проведены исследования на дерново-подзолистой супесчаной почве (pH_{KCl} 5,5–6,2, гумус – 2,0–2,3 %, P_2O_5 – 207–240, K_2O – 199–217, B – 0,3, Cu – 1,4–2,1, Zn – 2,7–3,7, $Mn_{обм.}$ – 1,2–3,0, S – 1,5–3,3 мг/кг почвы).

В ОАО «Гастелловское» Минского района проведены исследования на дерново-подзолистой высококультуренной легкосуглинистой почве (pH_{KCl} 6,1–6,6, гумус – 2,2–2,4 %, P_2O_5 – 740–766, K_2O – 319–411, B – 0,5–0,6, Cu – 1,9–2,4, Zn – 3,2–4,4, $Mn_{обм.}$ – 1,8–2,0, S – 3,7–4,4 мг/кг почвы).

В полевом опыте на дерново-подзолистой супесчаной почве установлено, что двукратная азотная подкормка озимого ячменя (сорт Буслик) в дозах N_{50+40} и N_{70+50} (в начале активной вегетации и в стадии первого узла) на фоне внесения $P_{75}K_{150}$ повышает урожайность зерна на 18,1 и 22,8 ц/га, содержание белка – на 1,4 и 2,3 % при урожайности 55,1 и 59,8 ц/га соответственно (табл. 1).

Некорневые подкормки озимого ячменя микроудобрениями на фоне минерального питания $N_{90}P_{75}K_{150}$ и $N_{120}P_{75}K_{150}$ повышали урожайность зерна на 4,6–5,7 и 4,1–4,6 ц/га соответственно. Более высокие прибавки урожайности зерна озимого ячменя отмечены при совместном внесении медных и марганцевых удобрений. Так, некорневая подкормка озимого ячменя медью и марганцем в стадии 1-го узла в дозах по 50 г д. в/га на фоне внесения минеральных удобрений в дозах $N_{90}P_{75}K_{150}$ и $N_{120}P_{75}K_{150}$ повышает урожайность зерна на 4,9 и 4,4 ц/га при урожайности 60,0 и 64,1 ц/га соответственно. Двукратное внесение меди и марганца в некорневые подкормки озимого ячменя (осенью в фазе кущения и весной в стадии 1-го узла) в дозах по 50 г д. в/га обеспечивает повышение урожайности зерна на 5,7 ц/га на фоне внесения $N_{90}P_{75}K_{150}$ и на 4,6 ц/га – на фоне $N_{120}P_{75}K_{150}$.

Таблица 1

Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и содержание белка в зерне при возделывании озимого ячменя на супесчаной почве (среднее за 2023–2025 гг.)

Варианты	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка		Содержание белка, %
		ц/га	%	
Без удобрений	23,5	–	–	8,1
$P_{75}K_{150}$ – фон	37,0	–	–	9,3
$N_{90}P_{75}K_{150}$ – фон 1	55,1	18,1	48,8	10,7
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	60,0	4,9	8,8	11,3
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	59,7	4,6	8,3	11,2
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	60,8	5,7	10,4	11,4
$N_{120}P_{75}K_{150}$ – фон 2	59,8	22,8	61,4	11,6
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	64,1	4,4	7,2	12,1
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	63,8	4,1	6,7	12,0
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	64,4	4,6	7,8	12,1
HCP_{05}	2,3			1,1

При возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой высокоокультуренной легкосуглинистой почве двукратная азотная подкормка озимого ячменя в дозах N_{50+40} и N_{70+50} (в начале активной вегетации и в стадии 1-го узла) на фоне внесения $P_{35}K_{90}$ повышает урожайность зерна на 21,8 и 26,7 ц/га, содержание белка – на 0,9 и 1,6 % при урожайности 60,0 и 64,9 ц/га соответственно (табл. 2).

Таблица 2

Влияние макро- и микроудобрений на урожайность и содержание белка в зерне при возделывании озимого ячменя на легкосуглинистой почве (среднее за 2023–2025 гг.)

Варианты	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка		Содержание белка, %
		ц/га	%	
Без удобрений	24,8	–	–	8,8
$P_{75}K_{150}$ – фон	38,2	–	–	9,8
$N_{90}P_{75}K_{150}$ – фон 1	60,0	21,8	57,1	10,7
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	65,7	5,7	9,6	11,1
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	66,3	6,3	10,5	11,1
Фон 1 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	66,7	6,7	11,2	11,4
$N_{120}P_{75}K_{150}$ – фон 2	64,9	26,7	70,0	11,4
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	69,6	4,7	7,2	11,9
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05}Zn_{0,075}$	70,3	5,4	8,3	11,8
Фон 2 + $Cu_{0,05}Mn_{0,05} + Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	71,0	6,1	9,5	12,1
HCP_{05}	2,6			–

Некорневые подкормки озимого ячменя микроудобрениями на фоне внесения минеральных удобрений в дозе $N_{90}P_{35}K_{90}$ и $N_{120}P_{35}K_{90}$ повышают урожайность зерна на 5,7–6,7 и 4,7–6,1 ц/га соответственно. При этом некорневая подкормка медью и марганцем в стадии 1-го узла в дозах по 50 г д.в./га на фоне внесения минеральных удобрений в дозах $N_{90}P_{75}K_{150}$ и $N_{120}P_{75}K_{150}$ повышает

урожайность зерна на 5,7 и 4,7 ц/га при урожайности 65,7 и 69,6 ц/га соответственно.

Анализ приведенных в таблицах 3 и 4 результатов оценки агроэкономической эффективности применения удобрений показал, что на супесчаной почве двукратная подкормка озимого ячменя азотными удобрениями в дозах N_{50+40} и N_{70+50} (в начале активной вегетации и в стадии 1-го узла) на фоне внесения $P_{75}K_{150}$ обеспечивает прибавку урожайности зерна 18,1 и 22,8 ц/га, прибыль 163 и 185 руб./га при рентабельности 45 и 40 % соответственно (табл. 3). На высокококультуренной легкосуглинистой почве двукратная подкормка озимого ячменя азотными удобрениями в дозах N_{50+40} и N_{70+50} на фоне внесения $P_{35}K_{90}$ обеспечивает прибавку урожайности зерна 21,8 и 26,7 ц/га, прибыль 245 и 274 руб./га при рентабельности 64 и 55 % соответственно.

Таблица 3

**Агроэкономическая эффективность применения азотных подкормок при
возделывании озимого ячменя (среднее за 2023–2025 гг.)**

Варианты	Урожайность	Прибавка	Стоимость прибавки	Общие затраты	Прибыль	Рентабельность, %
	ц/га		руб/га			
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
P ₇₅ K ₁₅₀ – фон	37,0	–	–	–	–	–
Фон + N ₉₀	55,1	18,1	523	360	163	45
Фон + N ₁₂₀	59,8	22,8	659	471	188	40
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва						
P ₃₅ K ₉₀ – фон	38,2	–	–	–	–	–
Фон + N ₉₀	60,0	21,8	630	385	245	64
Фон + N ₁₂₀	64,9	26,7	772	498	274	55

Таблица 4

**Агроэкономическая эффективность применения микроудобрений
при возделывании озимого ячменя (среднее за 2023–2025 гг.)**

Варианты	Урожай- ность	Прибав- ка	Стоимость прибавки	Общие затраты	При- быль	Рента- бель- ность,%
	ц/га		руб/га			
Дерново-подзолистая супесчаная почва						
N ₉₀ P ₇₅ K ₁₅₀ – фон 1	55,1	–	–	–	–	–
Cu _{0,05} Mn _{0,05}	60,0	4,9	142	66	76	115
Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	60,8	5,7	165	102	63	62
N ₁₂₀ P ₇₅ K ₁₅₀ – фон 2	59,8	–	–	–	–	–
Cu _{0,05} Mn _{0,05}	64,1	4,3	124	61	63	103
Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	64,4	4,6	133	94	39	41
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва						
N ₉₀ P ₃₅ K ₉₀ – фон 1	60,0	–	–	–	–	–
Cu _{0,05} Mn _{0,05}	65,7	5,7	165	71	94	132
Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	66,7	6,7	194	109	85	78
N ₁₂₀ P ₃₅ K ₉₀ – фон 2	64,9	–	–	–	–	–
Cu _{0,05} Mn _{0,05}	69,6	4,7	136	64	72	112
Cu _{0,05} Mn _{0,05} + Cu _{0,05} Mn _{0,05}	71,0	6,1	176	105	71	68

На супесчаной почве некорневая подкормка озимого ячменя медными и марганцевыми удобрениями в дозах $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}$ на фоне внесения $\text{N}_{90}\text{P}_{75}\text{K}_{150}$ и $\text{N}_{120}\text{P}_{75}\text{K}_{150}$ обеспечивает прибавку урожайности зерна 4,9 и 4,3 ц/га, прибыль 76 и 63 руб/га при рентабельности 115 и 103 % соответственно (табл. 4). На высокоокультуренной легкосуглинистой почве некорневая подкормка озимого ячменя микроудобрениями в дозах $\text{Cu}_{0,05}\text{Mn}_{0,05}$ на фоне внесения $\text{N}_{90}\text{P}_{35}\text{K}_{90}$ и $\text{N}_{120}\text{P}_{35}\text{K}_{90}$ обеспечивает прибавку урожайности зерна 5,7 и 4,7 ц/га, прибыль 94 и 72 руб/га при рентабельности 132 и 112 % соответственно.

2. ВЫНОС МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ С УРОЖАЕМ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ

Эффективность удобрений обеспечивается при внесении их по научно обоснованной системе. При разработке системы удобрения большое значение имеет вынос элементов питания урожаем сельскохозяйственных культур. С повышением продуктивности посевов, а следовательно, и отчуждения элементов питания урожаем пропорционально возрастает необходимость применения удобрений с целью компенсации их дефицита в почве.

Для оценки эффективности применения удобрений при возделывании озимого ячменя важное значение имеет химический состав основной и побочной продукции, поскольку внесенные удобрения оказывают значительное влияние на поступление элементов минерального питания в растения, чем определяют как уровень урожайности, так и качество получаемой продукции.

Для формирования урожая зерна и соломы озимого ячменя в разной степени использовались питательные вещества. По содержанию в зерне озимого ячменя макроэлементы располагаются в порядке убывания: $\text{N} > \text{K} > \text{P} > \text{S}$, микроэлементы – $\text{Zn} > \text{Mn} > \text{Cu}$. В соломе озимого ячменя макроэлементы по степени снижения их содержания образуют следующий ряд: $\text{K} > \text{N} > \text{S} > \text{P}$, микроэлементы – $\text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cu}$.

Содержание меди в зерне озимого ячменя в среднем составляет 1,5–2,7, марганца – 5,6–8,2, цинка – 7,4–11,0 мг/кг сухой массы. Под влиянием комплексного внесения меди и марганца содержание микроэлементов в зерне повышалось на 10,1–12,3 %. Накопление цинка в зерне от некорневой подкормки озимого ячменя цинковым удобрением увеличилось на 12,8–17,8 %.

При возделывании озимого ячменя по современным технологиям с ростом урожайности увеличивается вынос элементов минерального питания, включая микроэлементы, усиливается подвижность питательных веществ, что приводит к необходимости изменения состава применяемых удобрений. Общий вынос элементов минерального питания основной и побочной продукцией растений – достаточно динамичная величина, которая зависит не только от биологии растений, но и от типа почв, уровня получаемых урожаев и интенсивности применения агрохимических средств. В связи с вышеизложенным возникает необходимость определения потребности растений в элементах минерального питания и разработки нормативов выноса макро- и микроэлементов озимым ячменем, что позволит снизить затраты на минеральные удобрения при возделывании этой культуры.

Исходя из экспериментальных данных урожайности зерна и соломы озимого ячменя, химического состава основной и побочной продукции рассчитан общий и удельный вынос элементов питания урожаем озимого ячменя.

При оценке общего и удельного выноса установлено, что за период вегетации с урожаем озимого ячменя в большей мере отчуждается азот и калий и сравнительно меньше – фосфор, кальций, магний и сера. Из микроэлементов с урожаем ячменя больше выносятся марганца, меньше – цинка, а самое низкое значение характерно для меди.

Таким образом, при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной почве удельный вынос элементов питания урожаем в среднем составляет: азота – 22,2 кг, фосфора – 6,9, калия – 28,9, кальция – 3,4, магния – 5,7, серы – 3,4 кг, меди – 3,7 г, цинка – 13,2, марганца – 28,5 г на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы. На дерново-подзолистой легкосуглинистой почве удельный вынос соответственно составляет: азота – 21,8 кг, фосфора – 8,6, калия – 40,8, кальция – 3,5, магния – 4,8, серы – 4,7 кг, меди – 5,0 г, цинка – 18,1, марганца – 24,6 г на 1 т зерна с соответствующим количеством соломы (табл. 5). Разработанные нормативы выноса макро- и микроэлементов будут реализованы в сельскохозяйственных организациях республики при разработке системы удобрения озимого ячменя.

Таблица 5

Удельный вынос элементов питания с урожаем озимого ячменя

N общ.	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	Cu	Zn	Mn
кг/т						г/т		
Дерново-подзолистая супесчаная почва								
22,2	6,9	28,9	3,4	5,7	3,4	3,7	13,2	28,5
Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва								
21,8	8,6	40,8	3,5	4,8	4,7	5,0	18,1	24,6

3. ДОЗЫ И СРОКИ ВНЕСЕНИЯ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ОЗИМОГО ЯЧМЕНЯ НА СУПЕСЧАНОЙ И ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВАХ

На основании экспериментальных данных полевых и лабораторных исследований разработана система применения азотных, медных и марганцевых удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и высококультуренной легкосуглинистой почвах. В таблице 6 приведены дозы и сроки подкормок озимого ячменя азотными, медными и марганцевыми удобрениями. При возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах рекомендуется двукратная подкормка азотными удобрениями в дозах N_{50–70} (весной в начале вегетации) и N_{40–50} (в стадии 1-го узла) на фоне внесения расчетных доз фосфорных и калийных удобрений. Более высокая агроэкономическая эффективность некорневых подкормок озимого ячменя микроэлементами достигается при использовании двух элементов в сочетании Cu_{0,05}Mn_{0,05} кг д. в/га. Медные и марганцевые удобрения в некорневую подкормку озимого ячменя вносятся в стадии 1-го узла (ДК 31). В период вегетации озимо-

го ячменя обязательным приемом должно быть внесение ретардантов и защита растений от болезней.

Таблица 6

Дозы и сроки внесения удобрений при возделывании озимого ячменя на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах

Дозы удобрений, кг д. в/га	Формы удобрений	Сроки применения
$N_{22}P_{75}K_{120}^*$ $N_{11}P_{35}K_{90}^{**}$	Суперфосфат аммонизированный, хлористый калий	Под предпосевную культивацию
N_{50-70}	КАС	Весной в начале вегетации
N_{40-50}	Карбамид	В стадии 1-го узла
$Cu_{0,05}Mn_{0,05}$	Микроудобрения с содержанием меди и марганца в хелатной форме	Некорневая подкормка в стадии 1-го узла (ДК 31) в вечернее время. Расход рабочего раствора 200 л/га

Расчетные дозы фосфорных и калийных удобрений: * – супесчаная почва; ** – высокоокультуренная легкосуглинистая почва.

Рабочий раствор готовится непосредственно перед проведением некорневой подкормки растений путем разведения концентрата микроудобрений водой. При выборе оптимального срока проведения некорневой подкормки следует учитывать погодные условия. Не рекомендуется опрыскивание на сырые или покрытые росой листья, а также в условиях интенсивного солнечного освещения. Опрыскивание посевов растворами микроудобрений лучше проводить в вечернее время или в пасмурную погоду.

THE USE OF MACRO- AND MICRO FERTILIZERS IN WINTER BARLEY CULTIVATION TECHNOLOGY ON SOD-PODZOLIC SOILS

M. V. Rak, E. N. Pukalova, S. G. Kudlasevich

Summary

The recommendations provide agroeconomically justified doses, combinations and timing of application of nitrogen, copper, manganese and zinc fertilizers for the cultivation of winter barley on sod-podzolic sandy loam and light loamy soils, providing increased yield and product quality.