

АГРОХИМИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ  
МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ  
В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИН.В. ГОМАН<sup>1</sup>, И.А. БОБРЕНКО<sup>1</sup>, В.В. ПОПОВА<sup>1</sup>, А.А. ГАЙДАР<sup>2</sup><sup>1</sup> Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина;<sup>2</sup> Омский аграрный центр)

*Исследования о влиянии различных способов применения микроудобрений на урожайность зерна пшеницы яровой и установлении нормативных агрохимических показателей минерального питания проводились на лугово-черноземной почве Омской области. Применялись хелатные микроудобрения (цинковые и медные). Хелатные микроудобрения – это органический комплекс микроэлемента с хелатирующим агентом, в котором микроэлемент свободно усваивается растением. Преимущества хелатных микроудобрений заключаются в повышении доступности микроэлементов, потому что эти соединения целиком поступают в лист при некорневой подкормке или при предпосевной обработке в семена, защите от образования нерастворимых, недоступных микроэлементов, в экономичности расходования. При эксперименте установлено, что применение хелатов цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области является эффективным. Лучшей дозой цинка и меди при предпосевной обработке семян является доза 200 г/т. При некорневой подкормке в фазу кущения лучшая доза хелата цинка составляет 20 г/га, наиболее эффективна подкормка хелатом меди в дозе 10 г/га как менее затратная по количеству вносимого элемента. Оптимизация питания яровой пшеницы применением хелатов цинка и меди способом некорневой подкормки растений в фазу выхода в трубку обеспечила прибавку урожая в среднем от 0,03 до 0,16 т/га зерна (1,4–7,3% к контролю). Эксперименты выявили положительное действие хелата цинка в данную фазу развития на урожайность. При применении 20 г/га цинка была получена наибольшая прибавка урожая, составив 0,14 т/га (в контроле – 2,20 т/га), при применении хелата меди максимальная урожайность была получена при внесении 20 г/га. Для создания 1 т урожая в лучшем варианте  $Zn_{200}$  яровой пшенице потребовалось: N – 35,7 кг;  $P_2O_5$  – 21,9 кг;  $K_2O$  – 22,6 кг; Zn – 47,56 г; Si – 5,91 кг. При обработке  $Si_{200}$  вынос элементов питания составил: N – 33,9 кг;  $P_2O_5$  – 21,8 кг;  $K_2O$  – 22,1 кг; Zn – 54,03 г; Si – 4,80 г. При проведении некорневой подкормки в фазу кущения  $Zn_{20}$  вынос элементов питания 1 т урожая составил: N – 35,4 кг;  $P_2O_5$  – 23,4 кг;  $K_2O$  – 23,4 кг; Zn – 49,7 г; Si – 4,87 г. В варианте  $Si_{10}$  потребовалось: N – 34,3 кг;  $P_2O_5$  – 22,5 кг;  $K_2O$  – 23,6 кг; Zn – 52,9 г; Si – 4,36 г. Проведение некорневой подкормки в фазу выхода в трубку дозой  $Zn_{20}$  характеризовалось следующим выносом 1 т: N – 34,6 кг;  $P_2O_5$  – 25,3 кг;  $K_2O$  – 24,9 кг; Zn – 65,0 г; Si – 5,13 г. При обработке хелатами меди  $Si_{20}$  вынос элементов питания составил: N – 34,7 кг;  $P_2O_5$  – 24,4 кг;  $K_2O$  – 25,9 кг; Zn – 61,1 г; Si – 6,4 г. Коэффициенты использования элемента из почвы (КИП) составили: азота – 87%; фосфора – 8,0; калия – 6,0%; цинка – 7,0%; меди – 2,0.*

**Ключевые слова:** цинк, медь, микроудобрения, хелат, яровая пшеница, урожайность, вынос микроэлементов, коэффициент использования элемента из почвы (КИП), азот текущей нитрификации (Nt, кг/га), Омская область.

## Введение

Оптимизация питания растений, повышение эффективности внесения удобрений в огромной степени связаны с обеспечением оптимального соотношения в почве макро- и микроэлементов, причем это важно не только для роста урожая, но и для повышения качества продукции растениеводства и животноводства [1–3].

Следует учитывать также и то, что новые высокопродуктивные сорта имеют интенсивный обмен веществ, который требует достаточной обеспеченности всеми элементами питания включая микроэлементы. В почвах Омской области черноземного ряда отмечен значительный дефицит подвижных цинка и меди [4–7]. При этом применение микроудобрений оказывает положительное действие на продуктивность культурных растений [8–12].

При возделывании сельскохозяйственных культур по интенсивным технологиям их потребность в микроэлементах повышается, и при этом изменяются коэффициенты использования растениями микроудобрений. Вместе с тем на подвижность микроэлементов, а значит, на их поступление в растения значительное влияние оказывают свойства почвы, применение органических и минеральных удобрений [13, 14].

Цель работы – изучение влияния различных способов применения микроудобрений (хелатов цинка и меди) на урожайность зерна пшеницы яровой и установление нормативных агрохимических показателей минерального питания при возделывании на лугово-черноземной почве в условиях Омской области.

## Методика исследований

Полевые исследования проводились в 2017–2019 гг. на полях Омского аграрного научного центра. Сорт яровой мягкой пшеницы – Памяти Азиева. Расположение делянок на опытном участке систематическое. Площадь делянок – 16 м<sup>2</sup>. Повторение вариантов в опыте четырехкратное, расположение повторений – в три яруса. Схема приведена в таблице 1, дозы микроэлементов – в граммах действующего вещества на 1 т семян, для проведения некорневой подкормки растений – в граммах действующего вещества на 1 га в форме хелатов. Почва – лугово-черноземная среднemocная среднегумусовая тяжелосуглинистая. Содержание в слое почвы 0–40 см нитратного азота (по Грандваль-Ляжу) составляло  $15,5 \pm 1,9$  мг/кг, в слое 0–20 см подвижного фосфора и калия – соответственно  $228 \pm 17$  и  $338 \pm 12$  мг/кг (по Чирикову), подвижных цинка и меди (в ацетатно-аммонийном буферном растворе с рН 4,8) –  $0,54 \pm 0,08$  и  $0,11 \pm 0,03$  мг/кг. Севооборот трехпольный семеноводческий: пар, пшеница, пшеница. Предшественник – чистый пар, агротехника – общепринятая для зоны. Осенью основная обработка – зяблевая вспашка плугом ПН-4–35 на глубину 20–22 см. Предпосевная обработка почвы заключалась в ранневесеннем бороновании зубowymi боронами в два следа при достижении почвой состояния физической спелости и предпосевной культивации КПС-4 на глубину заделки семян. Посев проводили 25–27 мая, норма высева – 5,5 млн всхожих семян сеялкой ССФК-7. После посева почву прикатывали кольчатыми катками ЗКК-6А. Уборку яровой пшеницы проводили в первой декаде сентября прямым комбайнированием «Неге-125».

Химические анализы проводились на кафедре агрохимии и почвоведения ФГБОУ ВО Омский ГАУ и в лаборатории ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» по стандартным методикам.

## Результаты и их обсуждения

Эксперименты выявили положительное действие хелата цинка при предпосевной обработке семян на урожайность зерна яровой пшеницы. Улучшение питания данной технологией использования хелатов цинка и меди обеспечило увеличение урожайности в среднем за годы исследований от 0,08 до 0,20 т/га зерна (2,3–9,1% к контролю).

Применение цинковых удобрений в дозе 200 г/т позволило сформировать наибольшую прибавку урожая – 0,20 т/га (в контроле урожайность 2,20 т/га). При этом  $Zn_{100}$  и  $Zn_{300}$  увеличивали урожайность на 0,08 и 0,15 т/га соответственно. Использование медных удобрений в дозах 200 г и 300 г/т позволило сформировать практически одинаковые прибавки урожайности 0,14 и 0,15 т/га соответственно, а обработка  $Cu_{100}$  не привела к достоверному увеличению урожайности (0,05 т/га).

Результаты исследований свидетельствуют о том, что применение хелатов цинка и меди при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Омской области является эффективным. Лучшей дозой цинка и меди при предпосевной обработке является 200 г/т семян.

В исследованиях применение некорневой подкормки яровой пшеницы в фазу кущения хелатами цинка и меди обеспечило увеличение урожайности от 0,10 до 0,23 т/га зерна (4,5–10,5% к контролю). Опыты выявили положительное действие некорневой подкормки в фазу кущения хелатом цинка на урожайность зерна. Использование 20 и 30 г/100 га позволило сформировать прибавку урожая: 0,20 и 0,23 т/га соответственно (10,5 и 9,1% к контролю), при этом  $Zn_{10}$  увеличивал урожайность на меньшую величину (0,10 т/га). Лучшей дозой хелата цинка при некорневой подкормке в фазу кущения является 20 г/100 га.

Использование медных удобрений в дозе 10 и 30 г/100 кг позволило создать прибавку урожая на одном уровне, то есть 0,20 т/га (в контроле – 2,20 т/га), а обработка  $Cu_{20}$  сформировала прибавку урожая в 0,17 т/га. Но в целом применение дозы меди 10, 20, 30 г способствовало получению практически одинаковой прибавки. Наиболее эффективной явилась подкормка  $Cu_{10}$  как менее затратная по количеству вносимого элемента.

Оптимизация питания яровой пшеницы применением хелатов цинка и меди способом некорневой подкормки растений в фазу выхода в трубку обеспечила прибавку урожая в среднем от 0,03 до 0,16 т/га зерна (1,4–7,3% к контролю). Эксперименты выявили положительное действие хелата цинка в данную фазу развития на урожайность. Его внесение в дозе 20 г/100 га позволило сформировать наибольшую прибавку урожая – 0,14 т/га (в контроле – 2,20 т/га). При этом  $Zn_{10}$  увеличил урожайность на недостоверную величину – 0,03 т/га. Использование медных удобрений в дозе 20 г/100 кг сформировало увеличение урожайности в 0,16 т/га, а обработка растений  $Cu_{10}$  и  $Cu_{30}$  – в 0,11 и 0,14 т/га соответственно.

Прибавка зерна яровой пшеницы от цинковых и медных удобрений при лучших дозах по урожайности в условиях низкого содержания доступных форм данных элементов в лугово-черноземной почве находилась на одном уровне.

Применение микроудобрений различными способами оказало значительное влияние на вынос элементов питания растениями яровой пшеницы. Вынос азота зерном превышает вынос соломой, а вынос калия и фосфора в большей степени приходится на солому (табл. 2), что подтверждается данными химического состава культуры в уборку.

При анализе потребления микроэлементов растениями можно отметить, что цинк преимущественно выносится зерном, а медь – примерно поровну (табл. 3).

Таблица 1

**Урожайность зерна пшеницы яровой в зависимости от доз  
и способа применения хелатных микроудобрений  
на лугово-черноземной почве (2017–2019 гг.)**

Вариант	Урожайность зерна, т/га				Прибавка	
	2017 г.	2018 г.	2019 г.	Средняя	т/га	%
Контроль	2,45	1,73	2,41	2,20	-	-
Обработка семян, г/т						
Zn <sub>100</sub>	2,53	1,75	2,57	2,28	0,08	3,6
Zn <sub>200</sub>	2,73	1,87	2,62	2,40	0,20	9,1
Zn <sub>300</sub>	2,54	1,81	2,69	2,35	0,15	6,8
Cu <sub>100</sub>	2,51	1,75	2,50	2,25	0,05	2,3
Cu <sub>200</sub>	2,62	1,86	2,54	2,34	0,14	6,4
Cu <sub>300</sub>	2,62	1,90	2,52	2,35	0,15	6,8
Опрыскивание в фазу кущения, г/га						
Zn <sub>10</sub>	2,59	1,86	2,46	2,30	0,10	4,5
Zn <sub>20</sub>	2,75	1,93	2,51	2,40	0,20	9,1
Zn <sub>30</sub>	2,80	1,97	2,52	2,43	0,23	10,5
Cu <sub>10</sub>	2,74	2,08	2,52	2,40	0,20	9,1
Cu <sub>20</sub>	2,82	2,00	2,50	2,37	0,17	7,7
Cu <sub>30</sub>	2,85	2,04	2,52	2,40	0,20	9,1
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га						
Zn <sub>10</sub>	2,60	1,77	2,42	2,23	0,03	1,4
Zn <sub>20</sub>	2,79	1,91	2,52	2,34	0,14	6,4
Zn <sub>30</sub>	2,83	1,96	2,46	2,33	0,13	5,9
Cu <sub>10</sub>	2,58	1,84	2,50	2,31	0,11	5,0
Cu <sub>20</sub>	2,67	1,89	2,52	2,36	0,16	7,3
Cu <sub>30</sub>	2,69	1,89	2,52	2,34	0,14	6,4
НСП <sub>05</sub> т/га	0,11	0,08	0,10			

**Вынос макроэлементов яровой пшеницей  
в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее, 2017–2019 гг.)**

Вариант	Вынос, кг/га									Вынос единиц продукции, кг/т		
	зерно			солома			общий					
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
Контроль	51,7	17,6	12,4	19,2	26,6	32,2	70,9	44,2	44,6	32,2	20,1	20,3
Обработка семян, г/т												
Zn <sub>100</sub>	53,8	22,5	13,4	19,8	28,2	33,3	73,6	50,6	46,7	32,3	22,2	20,5
Zn <sub>200</sub>	62,6	22,0	15,8	23,1	30,5	38,4	85,7	52,5	54,2	35,7	21,9	22,6
Zn <sub>300</sub>	55,5	21,5	14,7	25,6	37,5	43,0	81,1	59,1	57,7	34,5	25,1	24,6
Cu <sub>100</sub>	55,6	20,6	13,8	20,7	28,1	37,6	76,3	48,7	51,3	33,9	21,6	22,8
Cu <sub>200</sub>	56,4	22,5	15,4	22,8	28,6	36,2	79,2	51,1	51,6	33,9	21,8	22,1
Cu <sub>300</sub>	56,4	21,5	15,5	22,0	31,2	37,4	78,4	52,7	53,0	33,4	22,4	22,5
Опрыскивание в фазу кущения, г/га												
Zn <sub>10</sub>	56,4	19,5	13,2	24,5	34,4	43,4	80,8	53,9	56,7	35,1	23,4	24,6
Zn <sub>20</sub>	60,5	21,4	15,6	24,5	34,8	40,5	85,0	56,2	56,1	35,4	23,4	23,4
Zn <sub>30</sub>	58,3	22,3	16,0	22,1	31,2	36,7	80,4	53,4	52,8	33,1	22,0	21,7
Cu <sub>10</sub>	58,1	24,2	16,7	24,2	29,8	39,9	82,3	54,0	56,6	34,3	22,5	23,6
Cu <sub>20</sub>	56,9	23,9	15,6	23,2	30,6	38,5	80,0	54,5	54,1	33,8	23,0	22,8
Cu <sub>30</sub>	58,8	23,6	17,0	27,9	39,4	44,4	86,7	63,1	61,4	36,1	26,3	25,6
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га												
Zn <sub>10</sub>	52,6	19,4	12,8	21,7	30,1	39,1	74,4	49,5	52,0	33,3	22,2	23,3
Zn <sub>20</sub>	55,7	21,4	15,7	25,2	37,7	42,6	80,9	59,2	58,4	34,6	25,3	24,9
Zn <sub>30</sub>	54,3	21,9	15,1	23,8	42,6	42,2	78,1	64,5	57,3	33,5	27,7	24,6
Cu <sub>10</sub>	56,1	21,7	15,8	21,4	35,4	37,1	77,5	57,1	52,9	33,6	24,7	22,9
Cu <sub>20</sub>	55,2	21,6	15,6	26,6	36,0	45,6	81,8	57,7	61,2	34,7	24,4	25,9
Cu <sub>30</sub>	55,9	22,0	14,6	23,0	34,1	42,6	79,0	56,0	57,2	33,7	23,9	24,4

**Вынос микроэлементов яровой пшеницей  
в зависимости от применяемых микроудобрений (среднее, 2017–2019 гг.)**

Вариант	Вынос, г/га						Вынос единицей про- дукции, г/т	
	зерно		солома		общий			
	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu
Контроль	61,8	2,66	39,6	3,24	101,5	5,91	46,1	2,68
Обработка семян, г/т								
Zn <sub>100</sub>	49,7	2,33	43,2	7,14	92,9	9,5	40,77	4,15
Zn <sub>200</sub>	68,4	5,98	45,7	8,21	114,1	14,2	47,56	5,91
Zn <sub>300</sub>	56,6	6,74	52,3	10,04	108,9	16,8	46,34	7,14
Cu <sub>100</sub>	62,1	4,97	38,9	5,92	101,0	10,9	44,90	4,84
Cu <sub>200</sub>	86,8	6,46	39,6	4,78	126,4	11,2	54,03	4,80
Cu <sub>300</sub>	66,5	4,37	47,0	5,93	113,5	10,3	48,31	4,38
Опрыскивание в фазу кущения, г/га								
Zn <sub>10</sub>	64,40	6,19	59,0	4,23	123,4	10,4	53,7	4,53
Zn <sub>20</sub>	71,76	6,84	47,5	4,85	119,3	11,7	49,7	4,87
Zn <sub>30</sub>	77,03	6,15	52,3	2,82	129,3	8,96	53,2	3,69
Cu <sub>10</sub>	67,20	6,96	59,7	3,50	126,9	10,5	52,9	4,36
Cu <sub>20</sub>	65,65	11,3	45,9	2,45	111,5	13,7	47,1	5,79
Cu <sub>30</sub>	76,08	7,25	46,6	4,41	122,7	11,6	51,1	4,86
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га								
Zn <sub>10</sub>	70,2	3,21	48,0	2,99	118,2	6,20	53,0	2,78
Zn <sub>20</sub>	79,1	7,89	73,1	4,12	152,2	12,0	65,0	5,13
Zn <sub>30</sub>	82,2	7,22	49,1	3,83	131,4	11,1	56,4	4,74
Cu <sub>10</sub>	70,5	7,18	51,9	4,28	122,3	11,5	53,0	4,96
Cu <sub>20</sub>	72,5	8,61	71,6	6,57	144,1	15,2	61,1	6,43
Cu <sub>30</sub>	61,8	5,66	36,9	4,51	98,70	10,2	42,2	4,35

В контроле вынос 1 т основной продукции с учетом побочной в среднем составил: N – 32,2 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 20,1 кг; K<sub>2</sub>O – 20,3 кг; Zn – 46,1 г; Cu – 2,68 г. Проведение предпосевной обработки семян привело к увеличению выноса макроэлементов единицей урожая. Для создания 1 т урожая в лучшем варианте Zn<sub>200</sub> яровой пшенице потребовалось: N – 35,7 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 21,9 кг; K<sub>2</sub>O – 22,6 кг; Zn – 47,56 г; Cu – 5,91 г. При обработке Cu<sub>200</sub> вынос элементов питания составил: N – 33,9 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 21,8 кг; K<sub>2</sub>O – 22,1 кг; Zn – 54,03 г; Cu – 4,80 г.

При проведении некорневой подкормки в фазу кущения Zn<sub>20</sub> вынос элементов питания 1 т урожая составил: N – 35,4 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 23,4 кг; K<sub>2</sub>O – 23,4 кг; Zn – 49,7 г; Cu – 4,87 г. В варианте Cu<sub>10</sub> потребовалось: N – 34,3 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 22,5 кг; K<sub>2</sub>O – 23,6 кг; Zn – 52,9 г; Cu – 4,36 г.

Проведение некорневой подкормки в фазу выхода в трубку дозой цинка 20 г/га характеризовалось следующим выносом 1 т: N – 34,6 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 25,3 кг; K<sub>2</sub>O – 24,9 кг; Zn – 65,0 г; Cu – 5,13 г. При обработке хелатами меди Cu<sub>20</sub> вынос элементов питания составил: N – 34,7 кг; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 24,4 кг; K<sub>2</sub>O – 25,9 кг; Zn – 61,1 г; Cu – 6,4 г.

Таким образом, затрат микроэлементов на получение 1 т зерна с соответствующим количеством побочной продукции тем больше, чем позднее применялись хелаты.

В течение вегетации растение поглощает подвижные формы макро- и микроэлементов из почвы. При этом микроудобрения способствуют лучшему использованию макроэлементов [14].

Для определения уровня поглощения элементов минерального питания произведен расчет коэффициентов использования элементов из почвенных запасов. Полученные данные свидетельствуют об изменении этих показателей в зависимости от уровня урожая и количества применяемых микроудобрений (табл. 4).

Коэффициент использования элемента из почвы (КИП) рассчитывали по формуле (1):

$$\text{КИП} = \text{Ву}/3, \quad (1)$$

где Ву – вынос элемента биомассой, кг/га; 3 – запас элемента в почве, кг/га.

При определении КИП по азоту необходимо учитывать азот текущей нитрификации, то есть количество N-NO<sub>3</sub>, образующихся в период вегетации растений. Азот текущей нитрификации (N<sub>т</sub>, кг/га) определяется по формуле (2):

$$N_t = N_2 + B - N_1, \quad (2)$$

где N<sub>1</sub> и N<sub>2</sub> – содержание N-NO<sub>3</sub> в слое почвы 0–40 см до посева растений и в период уборки, кг/га; В – вынос азота биомассой урожая, кг/га.

Зная это, КИП по азоту находим по формуле (3):

$$\text{КИП} = \frac{B}{N_1 + N_t}. \quad (3)$$

В контроле коэффициенты использования азота достигали 86,8%, фосфора – 7,87%, калия – 5,68%. Микроэлементы несколько увеличили в лучших вариантах КИП макроэлементов: в вариантах с применением хелатов Cu и Zn коэффициенты использования азота составили 88,9%, фосфора – 11,2%, калия – 7,79%. КИП цинка в контроле составил 7,05%, меди – 2,00%.

Таблица 4

**Коэффициенты использования элементов питания из почвы пшеницей яровой при применении хелатных микроудобрений (Zn, Cu) при возделывании на лугово-черноземной почве (среднее, 2017–2019 гг.), %**

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu
Контроль	86,8	7,87	5,68	7,05	2,00
Обработка семян, г/т семян					
Zn <sub>100</sub>	87,2	9,01	5,95	6,45	5,63
Zn <sub>200</sub>	83,0	9,35	6,91	7,93	8,45
Zn <sub>300</sub>	87,1	10,5	7,35	7,56	9,99
Cu <sub>100</sub>	81,3	8,67	6,54	7,02	6,48
Cu <sub>200</sub>	88,0	9,10	6,58	8,78	6,69
Cu <sub>300</sub>	87,9	9,39	6,75	7,88	6,13
Опрыскивание в фазу кущения, г/га					
Zn <sub>10</sub>	88,2	9,60	7,22	8,57	6,20
Zn <sub>20</sub>	86,8	10,0	7,15	8,28	6,96
Zn <sub>30</sub>	81,9	9,51	6,73	8,98	5,34
Cu <sub>10</sub>	83,9	9,61	7,21	8,81	6,23
Cu <sub>20</sub>	88,1	9,70	6,90	7,75	8,17
Cu <sub>30</sub>	88,9	11,2	7,82	8,52	6,94
Опрыскивание в фазу выхода в трубку, г/га					
Zn <sub>10</sub>	87,3	8,81	6,62	8,21	3,69
Zn <sub>20</sub>	82,2	10,5	7,44	10,6	7,15
Zn <sub>30</sub>	81,7	11,5	7,30	9,12	6,58
Cu <sub>10</sub>	81,6	10,2	6,74	8,50	6,82
Cu <sub>20</sub>	82,4	10,3	7,79	10,0	9,04
Cu <sub>30</sub>	88,0	9,98	7,29	6,86	6,05

Определенные в исследованиях агрохимические нормативы можно использовать для управления питанием яровой пшеницы на основе расчета доз минеральных удобрений и для создания оптимального макроэлементного фона (табл. 5).

**Нормативные агрохимические показатели  
минерального питания пшеницы яровой**

Показатель	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Zn	Cu
КИП, %	87	8,0	6,0	7,0	2,0
Потребление для получения 1 т зерна, кг (NPK), г (Zn, Cu)	35	23	22	50	3,0
Nт, кг/га	54				

Нормативные агрохимические показатели минерального питания пшеницы яровой могут использоваться для расчета доз удобрений на плановую прибавку урожая (4):

$$D = \frac{K_d \cdot H \cdot П}{K_y}, \quad (4)$$

где D – доза удобрений, кг д.в./га; K<sub>д</sub> – коэффициент действия удобрений, указывающий на отклонение фактического содержания элемента питания в почве от оптимального; H – норма расхода элемента питания на получение 1 т основной продукции с учетом побочной; K<sub>у</sub> – коэффициент использования элемента питания из удобрений.

Расчет доз удобрений на плановый урожай (ПУ) возможен по формуле (5):

$$D = \frac{ПУ \cdot H - C \cdot K_p}{K_y}, \quad (5)$$

где C – содержание элемента питания в слое почвы 0–20, кг/га; K<sub>п</sub> – коэффициент использования элементов питания из почвы.

При определении дозы азотных удобрений используется формула (6):

$$D = \frac{ПУ \cdot H - (C + N_t) \cdot K_p}{K_y}, \quad (6)$$

где N<sub>т</sub> – азот текущей нитрификации, кг/га.

Приведенные формулы апробированы при удобрении более 40 сельскохозяйственных культур в условиях Западной Сибири и Казахстана [14–17].

### Выводы

Микроудобрения в хелатной форме, благодаря высокой доступности микроэлементов и скорости усвоения растениями пшеницы, позволили сформировать урожайность: при обработке семян на уровне от 2,28 до 2,40 т/га прибавка зерна составила от 2,3 до 9,1%; при некорневой подкормке в фазу кущения от 2,3 до 2,43 т/га прибавка зерна – от 4,5 до 10,5%; в фазу выхода в трубку от 2,23 до 2,36 т/га прибавка составила от 1,4 до 7,3%. Применение микроудобрений различными способами оказало значительное влияние на вынос элементов питания растениями яровой пшеницы. Вынос азота зерном превышает вынос соломой, а вынос калия и фосфора в большей степени приходится на солому, что подтверждено нашими исследованиями.

Определенные в исследованиях агрохимические нормативы можно использовать для управления питанием яровой пшеницы, а также корректировать дефицит питания, возникающий по мере развития культуры.

### Библиографический список

1. *Аристархов А.Н.* Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России / А.Н. Аристархов, Н.Н. Бушуев, К.Г. Сафонова // *Агрохимия*. – 2012. – № 9. – С. 26–40.
2. *Болдырев Н.К.* Использование нормативных показателей в методе листовой диагностики для расчета норм удобрений на запланированный урожай пшеницы // *Агрохимия*. – 1982. – № 2. – С. 105–113.
3. Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В.Г. Сычев и др. – М., 2009. – 520 с.
4. *Azarenko Yu.A.* Assessing the Fund of Strongly Bound and Mobile Forms of Zinc in the soils of agrocenoses in the forest-steppe and steppe zones of the Omsk Irtysh Land / Yu.A. Azarenko // *Annals of Biology*. – 2019. – 35 (1). – P. 67–72.
5. *Азаренко Ю.А.* Закономерности содержания, распределения, взаимосвязей микроэлементов в системе почва-растение в условиях юга Западной Сибири: Монография / Ю.А. Азаренко. – Омск: Вариант-Омск, 2013. – 232 с.
6. *Азаренко Ю.А.* Цинк в почвах агроценозов Омского Прииртышья и эффективность применения цинковых удобрений / Ю.А. Азаренко, Ю.И. Ермохин, Ю.В. Аксенова // *Земледелие*. – 2019. – № 2. – С. 13–17.
7. *Красницкий В.М.* Эколого-агрохимические аспекты распространения содержания меди в почвах Омской области / В.М. Красницкий, А.Г. Шмидт, А.А. Цырк // *Плодородие*. – 2019. – № 3 (108). – С. 56–58.
8. *Попова В.И.* Оптимизация применения микроудобрений под озимую пшеницу / В.И. Попова // *Россия молодая: передовые технологии – в промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 48–50.
9. Efficiency of foliar feeding with zinc and copper chelates of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysh region / I.A. Bobrenko, V.V. Popova, N.V. Goman, A.A. Gaidar // *Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector*. – 2019. – V. 393. – P. 232–235.
10. Improving Competitiveness of the Wheat Production within the Siberian Region (in Terms of the Omsk region) / I.A. Bobrenko, O.V. Shumakova, N.V. Goman, Y.I. Novikov, V.I. Popova, O.A. Blinov // *Journal of Advanced Research in Law and Economics*. – 2017. – V. VIII. – Is. 2 (24). – P. 426–436.
11. Эффективность некорневой подкормки хелатами микроэлементов при возделывании яровой пшеницы на лугово-черноземной почве / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова, Ю.В. Аксенова // *Земледелие*. – 2020. – № 5. – С. 31–34.
12. *Гоман Н.В.* Влияние предпосевной обработки семян хелатами микроэлементов на урожайность зерна яровой пшеницы / Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, В.В. Попова // *Агрохимический вестник*. – 2020. – № 6. – С. 38–42.
13. Влияние некорневой подкормки хелатами микроэлементов на урожайность яровой пшеницы при возделывании на лугово-черноземной почве / В.В. Попова, Н.В. Гоман, И.А. Бобренко, А.А. Гайдар // *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*. – 2020. – № 8. – С. 57–64.

14. Гайсин И.А. Хелатные микроудобрения: практика применения и механизм действия: Монография / И.А. Гайсин, В.М. Пахомова; Казанский ГАУ. – Йошкар-Ола, 2014. – 344 с.

15. Ермохин Ю.И. Диагностика питания растений: Учебное пособие / Ю.И. Ермохин, М.А. Склярова. – Омск: Изд-во Омского ГАУ, 2016. – 114 с.

16. Попова В.И. Оптимизация применения микроудобрений при возделывании озимой пшеницы в условиях южной лесостепи Западной Сибири: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Омск, 2018. – 173 с.

17. Болдышева Е.П. Диагностика и оптимизация микроэлементного питания озимой ржи на лугово-черноземной почве Западной Сибири: Дис. ... канд. с.-х. наук. – Омск, 2018. – 167 с.

## AGROCHEMICAL REGULATORY INDICATORS OF MINERAL NUTRITION OF SPRING WHEAT IN THE FOREST STEPPE OF WESTERN SIBERIA

N.V. GOMAN<sup>1</sup>, I.A. BOBRENKO<sup>1</sup>, V.V. POPOVA<sup>1</sup>, A.A. GAIDAR<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin;

<sup>2</sup>Omsk Agrarian Center)

*The authors studied the influence of different methods of using micronutrient fertilizers on the yield of spring wheat grain and established standard agrochemical indicators of mineral nutrition on the grassland-chernozem soil of the Omsk region. Use was made of helated micronutrient fertilizers (zinc and copper). Chelated micronutrient fertilizers are an organic complex of a microelement with a chelating agent, in which the microelement is freely absorbed by the plant. The advantages of chelated micronutrient fertilizers are an increase in the availability of trace elements, because these compounds are entirely supplied to the leaf during foliar feeding or during pre-sowing treatment of seeds, protection against the formation of insoluble, inaccessible, economical consumption. The experiment established that the use of zinc and copper chelates in the cultivation of spring wheat in the forest-steppe conditions of the Omsk region is effective. The best rate of zinc and copper for pre-sowing seed treatment is 200 g/t. For foliar top dressing in the tillering phase, the best rate of zinc chelate is 20 g/ha, the most effective top dressing is copper chelate at a rate of 10 g/ha, as it is less expensive in terms of the amount of the applied product. Optimizing spring wheat nutrition by using zinc and copper chelates by foliar feeding of plants in the phase of stemming provided an average increase in yield from 0.03 to 0.16 t/ha of grain (1.4–7.3% compared to control). Experiments revealed a positive effect of zinc chelate in this phase of the yield development, when zinc was used at a rate of 20 g/ha, the greatest yield increase was obtained 0.14 t/ha (2.20 t/ha in control), when using copper chelate the maximum yield was obtained at a rate of 20 g/ha. To obtain a ton of yield in the best version of Zn<sub>200</sub>, spring wheat required: N – 35.7 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 21.9 kg, K<sub>2</sub>O – 22.6 kg, Zn – 47.56 g, Cu – 5.91 kg. When treating Cu<sub>200</sub>, the removal of nutrients amounted to: N – 33.9 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 21.8 kg, K<sub>2</sub>O – 22.1 kg, Zn – 54.03 g, Cu – 4.80 g. When carrying out foliar top dressing in the tillering phase of Zn<sub>20</sub>, the removal of nutrients from a ton of crop yield amounted to: N – 35.4 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 23.4 kg, K<sub>2</sub>O – 23.4 kg, Zn – 49.7 g, Cu – 4.87 g; in the Cu<sub>10</sub> variant it was required: N – 34.3 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 22.5 kg, K<sub>2</sub>O – 23.6 kg, Zn – 52.9 g, Cu – 4.36 g. Foliar dressing in the booting phase at a rate of Zn<sub>20</sub> was characterized by the following per-ton removal: N – 34.6 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 25.3 kg, K<sub>2</sub>O – 24.9 kg, Zn – 65.0 g, Cu – 5.13 g, treatment with copper chelates Cu<sub>20</sub>, the removal of nutrients amounted to: N – 34.7 kg, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 24.4 kg, K<sub>2</sub>O – 25.9 kg, Zn – 61.1 g, Cu – 6.4 g. The element utilization coefficients from the soil (EUC) accounted for: nitrogen – 87%, phosphorus – 8.0%, potassium – 6.0%, zinc – 7.0%, copper – 2.0%.*

**Key words:** zinc, copper, micronutrient fertilizers, chelate, spring wheat, yield, removal of microelements, element utilization coefficient from the soil (EUC), nitrogen of current nitrification (Nt, kg/ha), Omsk region.

## References

1. *Aristarkhov A.N.* Prioritety primeneniya razlichnykh vidov, sposobov i doz mikroudobreniy pod ozimye i yarovye sorta pshenitsy v osnovnykh prirodno-sel'skokhozyaystvennykh zonakh Rossii [Priorities for the use of various types, methods and application rates of micronutrient fertilizers for winter and spring wheat varieties in the main natural and agricultural zones of Russia] / A.N. Aristarkhov, N.N. Bushuyev, K.G. Safonova // *Agrokimiya*. 2012; 9: 26–40. (In Rus.)
2. *Boldyrev N.K.* Ispol'zovanie normativnykh pokazateley v metode listovoy diagnostiki dlya rascheta norm udobreniy na zaplanirovannyi urozhay pshenitsy [Use of standard indicators in the method of leaf diagnostics for determining fertilizer rates for the planned wheat harvest] // *Agrokimiya*. 1982; 2: 105–113. (In Rus.)
3. Intensifikatsiya produktsionnogo protsessa rasteniy mikroelementami. Priemy upravleniya [Intensification of the plant production process with microelements. Control methods] / Sychev V.G. [et al.]. – M., 2009: 520. (In Rus.)
4. *Azarenko Yu.A.* Assessing the Fund of Strongly Bound and Mobile Forms of Zinc in the soils of agrocenoses in the forest-steppe and steppe zones of the Omsk Irtysh Land // *Annals of Biology*. 2019; 35 (1): 67–72.
5. *Azarenko Yu.A.* Zakonomernosti sodержaniya, raspredeleniya, vzaimosvyazey mikroelementov v sisteme pochva-rasteniy v usloviyakh yuga Zapadnoy Sibiri: monografiya [Regularities of the content, distribution, relationships of microelements in the soil-plant system in the south of Western Siberia: monograph] / Yu.A. Azarenko. – Omsk: Variant-Omsk, 2013: 232. (In Rus.)
6. *Azarenko Yu.A.* Tsink v pochvakh agrotsenozov Omskogo Priirtysh'ya i effektivnost' primeneniya tsinkovykh udobreniy [Zinc in the soils of agrocenoses of the Omsk Priirtysh region and the effectiveness of the use of zinc fertilizers] / Yu.A. Azarenko Yu.I. Ermokhin, Yu.V. Aksenova // *Zemledelie*. 2019; 2: 13–17. (In Rus.)
7. *Krasnitskiy V.M.* Ekologo-agrokhimicheskie aspekty rasprostraneniya sodержaniya medi v pochvakh Omskoy oblasti [Ecological and agrochemical aspects of the distribution of copper content in soils of the Omsk region] / V.M. Krasnitskiy, A.G. Shmidt, A.A. Tsyrik // *Plodorodie*. 2019; 3(108): 56–58. (In Rus.)
8. *Popova V.I.* Optimizatsiya primeneniya mikroudobreniy pod ozimuyu pshenitsu [Optimization of the use of microfertilizers for winter wheat] / V.I. Popova // *Rossiya molodaya: peredovye tekhnologii – v promyshlennost'*. 2013; 3: 48–50. (In Rus.)
9. Efficiency of foliar feeding with zinc and copper chelates of spring soft wheat in the conditions of the southern forest-steppe of the Omsk Irtysh region / I.A. Bobrenko, V.V. Popova, N.V. Goman, A.A. Gaidar // *Advances in Social Science, Education and Humanities Research. The Fifth Technological Order: Prospects for the Development and Modernization of the Russian Agro-Industrial Sector*. 2019; 393: 232–235.
10. Improving Competitiveness of the Wheat Production within the Siberian Region (in Terms of the Omsk region) / I.A. Bobrenko, O.V. Shumakova, N.V. Goman, Y.I. Novikov, V.I. Popova, O.A. Blinov // *Journal of Advanced Research in Law and Economics*. 2017; V. VIII; 2(24): 426–436.
11. Effektivnost' nekornevoy podkormki khelatami mikroelementov pri vozdeystvovanii yarovoy pshenitsy na lugovo-chernozemnoy pochve [Efficiency of foliar feeding with chelates of microelements in the cultivation of spring wheat on the grassland-chernozem

soil] / N.V. Goman, I.A. Bobrenko, V.V. Popova Yu.V. Aksenova // Zemledelie. – 2020; 5: 31–34. (In Rus.)

12. *Goman N.V.* Vliyanie predposevnoy obrabotki semyan khelatami mikroelementov na urozhaynost' zerna yarovoy pshenitsy [Influence of pre-sowing seed treatment with chelates of microelements on the grain yield of spring wheat] / N.V. Goman, I.A. Bobrenko, V.V. Popova // Agrokhimicheskiy vestnik. 2020; 6: 38–42. (In Rus.)

13. Vliyanie nekornevoy podkormki khelatami mikroelementov na urozhaynost' yarovoy pshenitsy pri vozdeleyvanii na lugovo-chernozemnoy pochve [Influence of foliar feeding with chelates of microelements on the spring wheat yield when cultivated on the grassland- chernozem soil] / V.V. Popova, N.V. Goman, I.A. Bobrenko, A.A. Gaydar // Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; 8: 57–64. (In Rus.)

14. *Gaysin I.A.* Khelatnye mikroudobreniya: praktika primeneniya i mekhanizm deystviya: monografiya [Chelated microfertilizers: application practice and mechanism of action: monograph] / I.A. Gaysin, V.M. Pakhomova. – Kazanskiy GAU. – Yoshkar-Ola, 2014: 344.

15. *Ermokhin Yu.I.* Diagnostika pitaniya rasteniy: uchebnoye posobie [Diagnostics of plant nutrition: study manual] / Yu.I. Ermokhin, M.A. Sklyarova. – Omsk: Izd-vo Omskiy GAU, 2016: 114. (In Rus.)

16. *Popova V.I.* Optimizatsiya primeneniya mikroudobreniy pri vozdeleyvanii ozimoy pshenitsy v usloviyakh yuzhnoy lesostepi Zapadnoy Sibiri: dis. ... kand. s.-kh. nauk [Optimization of the use of micronutrients in the cultivation of winter wheat in the southern forest-steppe of Western Siberia: PhD (Ag) thesis] / V.I. Popova. – Omsk, 2018: 173. (In Rus.)

17. *Boldysheva E.P.* Diagnostika i optimizatsiya mikroelementnogo pitaniya ozimoy rzhii na lugovo-chernozemnoy pochve Zapadnoy Sibiri: dis. ... kand. s.-kh. nauk [Diagnosing and optimizing the microelement nutrition of winter rye on the grassland-chernozem soil in Western Siberia: PhD (Ag) thesis] / E.P. Boldysheva. – Omsk, 2018: 167. (In Rus.)

**Гоман Наталья Викторовна**, декан, канд. с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, Российская Федерация, г. Омск, Институтская площадь, 1; e-mail: nv.goman@omgau.org; тел.: (905) 943–21–86).

**Бобренко Игорь Александрович**, заведующий кафедрой агрохимии и почвоведения, д-р с.-х. наук, ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, Российская Федерация, г. Омск, Институтская площадь, 1; e-mail: bobrenko67@mail.ru; тел.: (950) 338–09–00).

**Попова Валентина Владимировна**, ст. преподаватель, ФГБОУ ВО Омский ГАУ (644008, Российская Федерация, г. Омск, Институтская площадь, 1; e-mail: vv.popova@omgau.org; тел.: (913) 971–18–97).

**Гайдар Александр Анатольевич**, заведующий лабораторией первичного семеноводства Омский АНЦ, канд. с.-х. наук (644008, Российская Федерация, г. Омск, проспект Королева, 26; e-mail: aa.gaydar@bk.ru; тел.: (950) 786–51–01).

**Natalia V. Goman**, Dean, PhD (Ag), Associate Professor, Omsk State Agrarian University (644008, Russian Federation, Omsk, Institutskaya Sq., 1, nv.goman@omgau.org, (905) 943–21–86).

**Igor A. Bobrenko**, Head of the Department of Agrochemistry and Soil Science, DSc (Ag). Omsk State Agrarian University (644008, Russian Federation, Omsk, Institutskaya Sq., 1, bobrenko67@mail.ru, (950) 338–09–00).

**Valentina V. Popova**, Senior Lecturer, Omsk State Agrarian University (644008, Russian Federation, Omsk, Institutskaya Sq., 1, vv.popova@omgau.org, (913) 971–18–97).

**Aleksandr A. Gaidar**, Head of the Laboratory of Primary Seed Production, Omsk Agricultural Research Center, PhD (Ag) (644008, Russian Federation, Omsk, Koroleva Ave., 26, aa.gaydar@bk.ru, (950) 786–51–01).