

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ
ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ТЯЖЕЛОСУГЛИНИСТЫХ
ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯА.Н. НАЛИУХИН¹, С.П. БИЖАН², Е.Н. СТАРОСТИНА²¹ РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева;
² ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова)

Ввиду важной роли микроэлементов в физиолого-биохимических процессах в растениях изучение новых видов микроудобрений представляет несомненный интерес как в теоретическом, так и в практическом плане. В статье приведены результаты применения микроудобрений в комплексе с минеральными удобрениями под озимую пшеницу сорта Московская 56 и яровой ячмень сорта НУР различной степени окультуренности, полученные в двух длительных полевых опытах на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Московской области. Использование микроэлементного комплекса «Микроэл» на фоне органо-минеральной системы удобрения на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве повышало урожайность озимой пшеницы на 8%, ярового ячменя – на 9%, а использование микроудобрения «Аквамикс-т» повышало урожайность на 21 и 13% соответственно. Внесение цинковых микроудобрений на слабоокультуренной почве на фоне известкования при pH_{KCl} 5,4 способствовало увеличению урожайности зерна озимой пшеницы на 10%, ярового ячменя – на 12% при урожайности на фоне NPK 59,0 и 44,2 ц/га соответственно. При комплексном применении макро- и микроудобрений достоверно повышаются показатели качества зерна: содержание белка, сырой клейковины, массы 1000 зерен.

Ключевые слова: озимая пшеница, яровой ячмень, микроудобрения, урожайность, качество зерна, дерново-подзолистая почва.

Введение

Многочисленными исследованиями установлено, что недостаток микроэлементов отрицательно сказывается на росте и развитии растений, приводит к серьезным нарушениям физиологических функций: белкового и углеводного обмена, а также образования хлорофилла. Все это негативно отражается на продуктивности сельскохозяйственных культур и качестве растениеводческой продукции [4, 5, 14].

Интенсивная система земледелия, внесение высококонцентрированных безбалластных минеральных удобрений приводят к снижению доступных форм микроэлементов в почвах. Так, почвы Центрального региона России в настоящее время отличаются в основном слабой обеспеченностью микроэлементами, особенно подвижным цинком [10].

Повышение урожайности и качества продукции, как показали исследования в полевых опытах [1, 3, 6], достигается при сбалансированном питании растений макро- и микроэлементами. В последнее время достаточно популярным приемом стало

использование внекорневых обработок растений водными растворами комплексных удобрений [2, 13]. Препараты «Аквамикс-т» и «Микроэл» отличаются комплексом водорастворимых микроэлементов в хелатной форме. Преимуществом таких удобрений является возможность совмещения их с обработкой пестицидами [8, 9]. Однако эффективность применения удобрений в сочетании с микроэлементами в зависимости от агрохимических свойств дерново-подзолистой суглинистой почвы изучена недостаточно, тем более при возделывании сортов озимой пшеницы и ярового ячменя интенсивного типа в условиях длительных полевых опытов [11].

Цель исследований: определить эффективность микроэлементных комплексов «Микроэл» и «Аквамикс-т» при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 56 и ярового ячменя сорта НУР в длительных стационарных опытах.

Методика исследований

Исследования проводили в двух длительных полевых опытах, заложенных на ЦОС ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова (Московская область, Домодедовский район) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве.

Почвы отличаются по агрохимической окультуренности: хорошо окультуренная (опыт СШ-2) и слабоокультуренная (опыт СШ-27). Минеральные удобрения применяли ежегодно в форме аммиачной селитры, аммофоса и хлористого калия. Анализы почвы и растений проводили согласно ГОСТам: содержание общего азота в зерне и соломе по Кьельдалю, ГОСТ 13996.4–93; фосфора – по ГОСТ 26657–97, калия – согласно ГОСТ 30504–97. Содержание белка в зерне определяли по ГОСТ 10846–91; натурную массу зерна – по ГОСТ 10840–64; массу 1000 зерен – по ГОСТ 10842–89; сумму поглощенных оснований (по Каппену) – по ГОСТ Р 50682–94; обменную кислотность – по ГОСТ Р 58594–2019; pH_{KCl} – согласно ГОСТ 26423–85; гидролитическую кислотность определяли по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91); подвижный цинк – по методу Крупского и Александровой в модификации ЦИНАО (ГОСТ Р 50687–94); подвижный фосфор и калий (по Кирсанову) – по ГОСТ 54650–2011; подвижный алюминий – по ГОСТ 26485–86.

В качестве общего фона применяли средства защиты растений: гербициды, фунгициды, ретарданты.

Микроудобрение «Микроэл» содержит: Fe – 0,30%; В – 0,15%; Мо – 0,20%; MgO – 1,32%; Mn – 0,31%; Cu – 0,60%; Zn – 1,30%; Со – 0,08%, а также 0,006% никеля; 0,04% лития; 0,001% хрома; 0,009% селена; 0,4% азота и 0,03% калия. Микроэлементный комплекс «Аквамикс-т» содержит: Zn(ЭДТА) – 2,8%; Cu(ЭДТА) – 2,8%; В – 3,4%; Мо – 16,9%; Со – 2,1%. «Аквамикс-т» хорошо изучен на многолетних бобовых травах. На зерновых такие исследования не проводили [7].

На хорошо окультуренной почве (опыт СШ-2) применяли комплекс микроэлементов «Аквамикс-т» (0,120 кг/га) и «Микроэл» (0,2 л/га) для внекорневой подкормки в фазу трубкования растений озимой пшеницы и ярового ячменя при норме расхода рабочего раствора 150 л/га тракторным опрыскивателем. Во втором опыте (СШ-27) применяли цинковые микроудобрения в форме сернокислого цинка (5 кг/га ZnO) как основное удобрение совместно с минеральными удобрениями под предпосевную культивацию.

Схема севооборота для обеих опытов применялась одинаковая: горох на зеленую массу, озимая пшеница, яровой ячмень. Агротехника – общепринятая для Московской области. Дисперсионный анализ данных проводили по методике Б.А. Доспехова. Условия проведения опытов подробно представлены в работах [1, 3, 6].

Результаты и их обсуждение

Окультуренная дерново-подзолистая почва (опыт СШ-2) в период изучения эффективности микроудобрений характеризовалась следующими агрохимическими свойствами: $pH_{KCl} - 5,2-5,6$; гумус – 1,95–2,0% (по Тюрину); подвижные формы фосфора и калия – 212–228 мг/кг (по Кирсанову).

Урожайность и качество зерна озимой пшеницы и ярового ячменя зависели от погодных условий вегетационного периода и применяемых удобрений. Наиболее благоприятные условия для роста и развития растений наблюдались в 2018 г., когда максимальная урожайность достигала 90 ц/га. В 2018–2020 гг. наименьшая урожайность озимой пшеницы (32,6 ц/га) и ярового ячменя (27,5 ц/га) формировалась в варианте без удобрений, в котором применяли только химические средства защиты растений (ХСЗР) (табл. 1).

Таблица 1

Влияние микроэлементного комплекса «Микроэл» на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от системы удобрения на дерново-подзолистой почве (2018–2020 гг.)

Вариант	Озимая пшеница ($N_{120}P_{60}K_{120}$)			Яровой ячмень ($N_{60}P_{60}K_{140}$)		
	урожай, ц/га	прибавка от Микроэла, ц/га	окупаемость 1 кг НРК зерном, кг	урожай, ц/га	прибавка от Микроэла, ц/га	окупаемость 1 кг НРК зерном, кг
Контроль (ХСЗР)	32,6	-	-	27,5	-	-
Фон 1 – МС	59,2	-	8,9	50,8	-	9,3
Фон 1 + «Микроэл»	62,4	3,2	10,0	53,1	2,3	10,2
Фон 2 – ОМС	60,9	-	9,5	51,5	-	10,0
Фон 2 + «Микроэл»	65,6	4,7	11,1	56,4	4,7	11,6
НСР ₀₅	3,0	-	-	2,1	-	-

Примечание. МС – минеральная система; ОМС – органо-минеральная система удобрения.

Минеральная система (МС) и органо-минеральная (ОМС) по своей эффективности были равными и обеспечивали прибавку урожая по сравнению с контролем: озимой пшеницы – на 80%; ярового ячменя – на 91%. Применение комплекса микроэлементов «Микроэл» способствовало дальнейшему повышению урожайности зерновых культур. На фоне минеральной системы удобрения повышалась урожайность: озимой пшеницы – на 5,5%, ярового ячменя – на 5,0%; на фоне органо-минеральной системы удобрения – на 7,8 и 9,1% соответственно. Максимальная урожайность (65,6 и 56,4 ц/га) формировалась при комплексном применении удобрений в сочетании с микроэлементами, что выше контроля в два раза.

В 2021 г. изучали эффективность комплекса микроэлементов «Аквамикс-т». В условиях неблагоприятного вегетационного периода, когда весной выпало избыточное количество осадков, а в фазы цветения и налива зерна они

практически отсутствовали в сочетании с высокой температурой воздуха (30–34 °С), максимальная урожайность составила: озимой пшеницы – 47,1 ц/га, ярового ячменя – 37,0 ц/га (табл. 2). При этом отмечалась также высокая эффективность минеральной и органоминеральной систем удобрения: прибавка в посевах озимой пшеницы составила 52 и 55%, в посевах ярового ячменя – 67% и 68% соответственно.

Таблица 2

Влияние микроудобрения «Аквამикс-т» на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от системы удобрения на дерново-подзолистой почве, 2021 г.

Вариант	Озимая пшеница (N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀)			Яровой ячмень (N ₆₀ P ₆₀ K ₁₄₀)		
	урожай, ц/га	прибавка от Аквამикс-т, ц/га	окупаемость 1 кг НРК зерном, кг	урожай, ц/га	прибавка от Аквамикс-т, ц/га	окупаемость 1 кг НРК зерном, кг
Контроль (ХСЗР)	25,3	-	-	19,3	-	-
Фон 1 – МС	38,4	-	4,4	32,5	-	5,3
Фон 1 + «Аквамикс»	45,3	6,9	6,6	36,8	4,2	7,0
Фон 2 – ОМС	39,0	-	4,6	33,6	-	6,0
Фон 2 + «Аквамикс»	47,1	8,1	7,3	37,0	4,4	7,1
НСР ₀₅	3,6	-	-	2,8	-	-

Относительно высокий эффект получен от применения комплекса микроэлементов «Аквамикс-т». Урожайность озимой пшеницы при этом повышалась на фоне минеральной системы удобрений на 18%, на фоне органо-минеральной – на 21%. Достоверные прибавки урожая отмечали также при возделывании ярового ячменя, которые составляли на обоих фонах около 13%.

Применение изучаемых микроудобрений способствовало увеличению окупаемости удобрений прибавкой зерна в большей мере от применения «Аквамикс-т», когда она повышалась в зависимости от фона удобрений в посевах озимой пшеницы на 50–58%, в посевах ярового ячменя – на 20–32%.

Удобрения, особенно в сочетании с микроэлементами, улучшали показатели качества зерна озимой пшеницы и ярового ячменя (табл. 3). Так при использовании Микроэла в комплексе с удобрениями содержание белка в зерне озимой пшеницы достигало 13,8% при уровне в контроле 11,5%, в зерне ярового ячменя – 12,2% при уровне в контроле 10,2%. Масса 1000 зерен повышалась соответственно на 8,8 и 19%. Такие же показатели качества зерна отмечались и при использовании комплекса микроэлементов «Аквамикс-т». При совместном применении макро- и микроудобрений значительно повышалось содержание сырой клейковины в зерне озимой пшеницы.

Ключевыми факторами, влияющими на эффективность удобрений, являются реакция почвенной среды и обеспеченность почвы доступными формами азота, фосфора и калия [12, 15].

Для определения оптимального сочетания фосфорных и известковых удобрений в 1966 г. на Центральной опытной станции ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова был заложен длительный опыт СШ-27. Почва опыта – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая слабокультуренная, на период закладки опыта характеризовалась сильнокислой реакцией среды (pH_{KCl} 3,9–4,5) и низким содержанием подвижного фосфора (35–56 мг/кг) по Кирсанову. В опыте изучали фосфоритную муку Егорьевского месторождения, суперфосфат двойной, а в последние годы – аммофос; на фонах извести: 1,5 гидrolитической кислотности (Нг) по 0,5 Нг в первых трех ротациях; 2,5 Нг (по 1,0 Нг в первой и третьей, 0,5 Нг в восьмой ротациях). Слабокультуренная дерново-подзолистая почва в период изучения эффективности цинкового микроудобрения в 2019–2021 гг. в результате известкования и систематического применения фосфорных удобрений характеризовалась следующими агрохимическими показателями (табл. 4).

Таблица 3

Влияние комплекса микроэлементов на показатели качества зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от системы удобрения

Вариант	Озимая пшеница ($N_{120}P_{60}K_{120}$)			Яровой ячмень ($N_{60}P_{60}K_{140}$)		
	масса 1000 зерен, г	сырая клейковина, %	белок, %	белок, %	масса 1000 зерен, г	экстрактивность, %
2018–2020 гг.						
Контроль (ХСЗР)	39,0	17,5	11,5	10,2	40,2	61,4
Фон 1 – МС	41,3	24,2	13,6	11,5	44,6	60,6
Фон 1 + «Микроэл»	42,1	25,6	13,8	11,8	45,5	60,0
Фон 2 – ОМС	41,5	22,8	13,4	11,9	44,0	59,4
Фон 2 + «Микроэл»	42,4	25,0	13,6	12,2	45,3	59,1
НСР ₀₅	1,6	4,8	1,2	1,1	1,8	-
2021 г.						
Контроль (ХСЗР)	33,0	21,8	12,1	9,2	34,9	69,0
Фон 1 – МС	35,8	29,5	13,8	10,4	40,2	68,2
Фон 1 + «Аквамикс-Т»	36,0	30,0	14,0	10,7	42,8	67,5
Фон 2 – ОМС	34,2	30,8	14,1	10,6	40,8	67,8
Фон 2 + «Аквамикс-Т»	36,4	30,9	14,2	10,8	44,8	67,0
НСР ₀₅	1,3	5,2	1,3	1,0	1,7	-

Периодическое известкование по 2,5 Нг (в сумме за первые три ротации севооборота) значительно улучшало физико-химические свойства почвы. Так, степень насыщенности основаниями достигла почти 80%, почва из группы сильнокислых перешла в группу слабокислых. Существенное влияние известкование оказало на содержание подвижного алюминия в почве даже при низких дозах (1,5 Нг в сумме за первые три ротации севооборота), этот показатель снизился в 4 раза по сравнению с фоном НК. Содержание подвижного фосфора в почве существенно повысилось (с 30,1 до 93,0 мг/кг) в результате многолетнего применения фосфорных удобрений.

Таблица 4

Влияние длительного применения удобрений и известкования на агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

Варианты	рН _{КCl}	V, %	Содержание подвижных форм, мг/кг		
			P ₂ O ₅	K ₂ O	Al
Без удобрений	4,0	53	30,1	105,4	45,6
НК	3,8	40	28,0	171,0	130,1
НК + P	4,0	43	85,2	142,0	102,5
НК + P + Zn	-	-	-	-	-
НК + известь 1,5 Нг	4,7	60	27,5	135,0	34,6
НК + известь 1,5 Нг + P	4,8	67	87,5	128,0	32,0
НК + известь 1,5 Нг + P + Zn	-	-	-	-	-
НК + известь 2,5 Нг	5,3	70	40,5	125,0	14,2
НК + известь 2,5 Нг + P	5,5	80	93,0	119,2	10,0
НК + известь 2,5 Нг + P + Zn	-	-	-	-	-
НСП ₀₅	0,3	6,2	13,1	14,6	19,0

Изменение агрохимических свойств почвы сказалось на эффективности цинковых микроудобрений при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя. На сильнокислой почве (рН_{КCl} 4,0) прибавки урожая составили в посевах озимой пшеницы 2,5 ц/га, в посевах ярового ячменя – 2,0 ц/га (табл. 5).

На известкованной почве, особенно по 2,5 Нг, когда значение рН_{КCl} составляло 5,4, эффективность цинкового микроудобрения была значительно выше: прибавки

урожая озимой пшеницы и ярового ячменя составляли 5,4 и 5,1 ц/га соответственно. Максимальная урожайность формировалась при внесении минеральных удобрений в сочетании с цинковыми на известкованной почве большой дозой (по 2,5 Нг) и составила: озимой пшеницы – 64,4 ц/га, ярового ячменя – 49,3 ц/га, что выше уровня контроля без удобрений в 3,1 и 2,5 раза соответственно.

При комплексном применении макро- и микроэлементов на известкованной почве существенно улучшались качественные показатели зерна (табл. 6). Так, содержание белка под действием цинка повышалось в зерне озимой пшеницы на 1,4%, ярового ячменя – на 1,5%, сырой клейковины в зерне озимой пшеницы – на 2,5%. При этом масса 1000 зерен озимой пшеницы увеличивалась на 19%, ярового ячменя – на 22%. Отмечалась тенденция повышения качественных показателей зерна при внесении цинкового удобрения.

Таблица 5

Влияние цинковых микроудобрений на урожайность озимой пшеницы и ярового ячменя и на окупаемость минеральных удобрений в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы (2019–2021 гг.)

Вариант	Озимая пшеница (N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀)			Яровой ячмень (N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀)		
	урожай, ц/га	прибавка от цинка, ц/га	окупаемость 1 кг NPK зерном, кг	урожай, ц/га	прибавка от цинка, ц/га	окупаемость 1 кг NPK зерном, кг
pH _{KCl} 4,0 (без извести)						
Контроль (без удобрений)	20,6	-	-	19,5	-	-
NK	21,3	-	-	20,1	-	-
NPK	35,9	-	5,0	30,4	-	4,6
NPK + Zn	38,4	2,5	5,0	32,4	2,0	5,4
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 Нг)						
NK	33,5	-	-	29,7	-	-
NPK	46,3	-	8,6	39,1	-	7,9
NPK + Zn	51,4	5,1	10,0	43,3	4,2	9,9
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 Нг)						
NK	47,1	-	-	37,9	-	-
NPK	59,0	-	12,8	44,2	-	10,3
NPK + Zn	64,4	5,4	14,6	49,3	5,1	12,4
HCP ₀₅	3,7	2,6	-	2,4	2,3	-

Таблица 6

Влияние цинкового микроудобрения на показатели качества зерна озимой пшеницы и ярового ячменя в зависимости от известкования дерново-подзолистой почвы (2019–2021 гг.)

Вариант	Озимая пшеница (N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀)			Яровой ячмень (N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀)		
	белок, %	сырая клейковина, %	масса 1000 зерен, г	белок, %	крахмал*, %	масса 1000 зерен, г
pH _{KCl} 4,0 (без извести)						
Контроль (без удобрений)	12,1	27,0	38,4	9,30	46,2	40,9
NK	12,3	27,6	38,1	9,96	45,1	41,1
NPK	12,6	27,6	41,0	9,95	44,9	44,6
NPK + Zn	12,7	27,7	41,4	10,00	44,7	44,9
pH _{KCl} 4,7 (известь по 1,5 Нг)						
NK	12,7	28,0	41,1	9,66	45,3	44,2
NPK	13,0	28,5	43,0	10,19	45,1	46,5
NPK + Zn	13,2	28,7	43,4	10,35	45,0	47,5
pH _{KCl} 5,4 (известь по 2,5 Нг)						
NK	13,1	28,8	42,4	10,02	45,0	46,7
NPK	13,3	29,3	45,0	10,40	44,5	48,8
NPK + Zn	13,5	29,5	45,8	10,51	44,3	50,1
HCP ₀₅	1,1	1,7	3,6	0,6	4,1	6,2

*Содержание крахмала – среднее за 2019–2020 гг.

Выводы

Проведенные исследования в длительных полевых опытах показали перспективность применения микроэлементных комплексов «Микроэл» и «Аквамикс-г» в комплексе с другими средствами химизации при возделывании зерновых культур интенсивного типа в условиях дерново-подзолистых суглинистых почв Центрального Нечерноземья.

Применение комплекса микроэлементов «Микроэл» на фоне органо-минеральной системы удобрения на окультуренной почве повышает урожайность озимой пшеницы сорта Московская 56 на 8%, ярового ячменя сорта НУР – на 9,1%. Окупаемость минеральных удобрений при этом увеличивается на 9 и 12% соответственно. Применение комплекса микроэлементов «Аквамикс-г» повышает урожайность данных культур на 21 и 13% при увеличении окупаемости на 58 и 32%.

Применение цинковых удобрений на слабоокультуренной почве достоверно повышает урожайность при известковании, особенно когда значение pH_{KCl} достигает 5,4. При комплексном применении макро- и микроэлементов достоверно повышаются качественные показатели зерна: белок, клейковина, масса 1000 зерен.

Библиографический список

1. *Алиев А.М.* Урожайность озимой пшеницы и окупаемость удобрений при длительном применении средств химизации в полевом севообороте / А.М. Алиев, Н.И. Цимбалист, Е.Н. Старостина, Г.А. Ивашенков // *Плодородие*. – 2019. – № 1. – С. 17–20.
2. *Аристархов А.Н.* Оптимизация полиэлементного состава в агросистемах России. Эколого-агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения. – М.: ВНИИА, 2019. – 832 с.
3. *Аристархов А.Н.* Эффективность применения цинковых удобрений под озимую пшеницу / А.Н. Аристархов, Н.А. Кирпичников, В.В. Виноградов // *Плодородие*. – 2019. – № 2. – С. 7–11.
4. *Битюцкий Н.П.* Микроэлементы высших растений. – СПб.: Изд-во Санкт-Петербургского университета, 2011. – 368 с.
5. *Верниченко И.В.* Влияние предпосевной обработки семян пшеницы и тритикале соединениями селена, кремния и цинка на поглощение растениями меченного ^{15}N нитратного азота в стрессовых условиях выращивания / И.В. Верниченко, Л.В. Осипова, П.А. Яковлев, И.А. Быковская, В.А. Литвинский // *Агрохимия*. – 2017. – № 3. – С. 10–19.
6. *Кирпичников Н.А.* Влияние длительного применения удобрений при известковании с использованием цинка на продуктивность полевого севооборота и содержание фосфатов в дерново-подзолистой почве / Н.А. Кирпичников, С.П. Бижан // *Агрохимический вестник*. – 2021. – № 2. – С. 23–26.
7. *Налиухин А.Н.* Эффективность применения микроэлементного комплекса Аквамикс-т при возделывании козлятника восточного в Северной части Нечерноземной зоны / А.Н. Налиухин, Ю.В. Лактионов // *Земледелие*. – 2015. – № 2. – С. 25–27.
8. *Потатуева Ю.А.* Агрохимическая эффективность и перспективы применения минеральных удобрений с микроэлементами: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. – М., 1987. – 30 с.
9. *Сычѳв В.Г.* Интенсификация продукционного процесса растений микроэлементами. Приемы управления / В.Г. Сычѳв, А.Н. Аристархов, А.Ф. Харитоновна. – М.: ВНИИ агрохимии, 2009. – 520 с.
10. *Сычѳв В.Г.* Цинк в агроэкосистемах России: мониторинг и эффективность применения: Монография / В.Г. Сычѳв, А.Н. Аристархов, Т.А. Яковлева. – М.: Изд-во ВНИИ агрохимии, 2015. – 203 с.
11. *Шафран С.А.* Динамика плодородия почв Нечерноземной зоны и ее резервы // *Агрохимия*. – 2016. – № 8. – С. 3–10.
12. *Шильников И.А.* Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия / И.А. Шильников, В.Г. Сычѳв, Н.А. Зеленов, Н.И. Аканова, Л.С. Федотова. – М.: ВНИИА, 2008. – С. 60–180.
13. *Ягодин Б.А.* Микроэлементы в сбалансированном питании растений / Б.А. Ягодин, А.А. Ермолаев // *Химия в сельском хозяйстве*. – 1995. – № 2. – С. 24–26.
14. *Alloway B.J.* Zinc in soil and crop nutrition. Second edition. – IZA and IFA. – Brussels, Belgium and Paris, France, 2008–139 p.
15. *Schachtman D.P.* Phosphorus uptake by plants: from soil to cell / D.P. Schachtman, R.J. Reid, S.M. Ayling // *Plant Physiol.* – 1998. – V. 116. – Pp. 447–453.

EFFICIENCY OF APPLICATION OF MICROFERTILIZERS WHEN GROWING CEREAL CROPS ON HEAVY LOAM SODDY-PODZOLIC SOILS IN THE CENTRAL REGEON OF THE NON-CHERNOZEM ZONE

A.N. NALIUKHIN¹, S.P. BIZHAN², E.N. STAROSTINA²

(¹ Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy;

² D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry)

In view of the important role of microelements in the physiological and biochemical processes in plants, the study of new types of microfertilizers is of undoubted interest, both in theoretical and practical terms. The possibility of using microelement complexes together with chemical and biological plant protection products makes it possible to combine the terms of their use and increase the biological effectiveness of preparations. At the same time, the effectiveness of microfertilizers largely depends on the degree of soil cultivation, which served as the basis for this research. The paper presents the results of the use of microfertilizers in combination with mineral fertilizers for winter wheat of the Moskovskaya 56 variety and spring barley of the NUR variety, obtained in two long-term field experiments on soddy-podzolic heavy loamy soil of the Moscow Region. The use of the microelement complex "Microel" against the background of an organo-mineral fertilizer system on well-cultivated soddy-podzolic soil increased the yield of winter wheat by 8%, spring barley – by 9%, and the use of microfertilizer "Aquamix-t" – by 21% and 13% respectively. The introduction of zinc microfertilizers on poorly cultivated soil against the background of liming at pH_{KCl} 5.4 contributed to an increase in the yield of winter wheat by 10%, spring barley – by 12% with a yield against the background of NPK of 5.90 t/ha and 4.42 t/ha, respectively. With the complex use of macro- and microfertilizers, grain quality indicators significantly increase: the content of protein, crude gluten, and the weight of 1000 grains.

Key words: winter wheat, spring barley, microfertilizers, yield, grain quality, sod-podzolic soil.

References

1. Aliyev A.M., Tsimbalist N.I., Starostina Ye.N., Ivashenkov G.A. Urozhaynost' ozimoy pshenitsy i okupayemost' udobreniy pri dlitel'nom primeneniі sredstv khimizatsii v polevom sevooborote [Yield of winter wheat and the payback of fertilizers with long-term use of chemicals in the field crop rotation] // Plodorodiye. 2019; 1: 17–20. (In Rus.).
2. Aristarkhov A.N. Optimizatsiya polielemen tn ogo sostava v agrosistemakh Rossii. Ekologo-agrokhimicheskaya otsenka sostoyaniya defitsita, ryezervov, sposobov i sryedstv yego ustranyeniya [Optimization of polyelement composition in agricultural systems of Russia. Ecological and agrochemical assessment of the state of deficiency, r reserves, methods and means of its elimination]. – M.: VN IIA, 2019: 832. (In Rus.).
3. Aristarkhov A.N., Kirpichnikov N.A., Vinogradov V.V. Effektivnost' primeneniya tsinkovykh udobreniy pod ozimuyu pshenitsu [Efficiency of using zinc fertilizers for winter wheat] // Plodorodiye. 2019; 2: 7–11. (In Rus.).
4. Bityutskiy N.P. Mikroelementy vysshikh rasteniy [Trace elements of higher plants]. – SPb.: Izd-vo S. – Peterb. un-ta, 2011: 368. (In Rus.).
5. Vernichenko I.V., Osipova L.V., Yakovlev P.A., Bykovskaya I.A., Litvinskiy V.A. Vliyaniye predposevnoy obrabotki semyan pshenitsy i tritikale soyedineniyami selena, kremniya i tsinka na pogloshcheniye rasteniyami mechennogo ¹⁵N nitratnogo azota v stressovykh usloviyakh vyrashchivaniya [Influence of presowing treatment of seeds of wheat and triticale with selenium, silicon and zinc compounds on the absorption of ¹⁵N-labeled nitrate nitrogen by plants under stressful growing conditions] // Agrokimiya. 2017; 3: 10–19. (In Rus.).
6. Kirpichnikov N.A., Bizhan S.P. Vliyaniye dlitel'nogo primeneniya udobreniy pri izvestkovanii s ispol'zovaniyem tsinka na produktivnost' polevogo sevooborota i sodержaniye fosfatov v dernovo-podzolistoy pochve [The influence of long-term use of fertilizers

- during liming with the use of zinc on the productivity of field crop rotation and the content of phosphates in soddy-podzolic soil] // *Agrokhimicheskiy vestnik*. 2021; 2: 23–26. (In Rus.).
7. *Naliukhin A.N., Laktionov YU.V.* Effektivnost' primeneniya mikroelementnogo kompleksa Akvamiks-t pri vozdeleyvanii kozlyatnika vostochnogo v Severnoy chasti Nechernozomnoy zony [Effectiveness of the use of the Aquamix-t microelement complex in the cultivation of eastern goat's rue in the northern part of the Nonchernozem zone] // *Zemledeliye*. 2015; 2: 25–27. (In Rus.).
 8. *Potatuyeva YU.A.* Agrokhimicheskaya effektivnost' i perspektivy primeneniya mineral'nykh udobreniy s mikroelementami [Agrochemical efficiency and prospects for the use of mineral fertilizers with trace elements]. – Avtoref. diss.d.s.-kh. n. – M.: Moskva, 1987: 30. (In Rus.).
 9. *Sychov V.G., Aristarkhov A.N., Kharitonova A.F.* Intensifikatsiya produktsionnogo protsessa rasteniy mikroelementami. Priomy upravleniya [Intensification of the production process of plants with microelements. Management techniques]. M.: VNIi agrokhimii, 2009: 520. (In Rus.).
 10. *Sychov V.G., Aristarkhov A.N., Yakovleva T.A.* Tsink v agroekosistemakh Rossii: monitoring i effektivnost' primeneniya [Zinc in Russian agroecosystems: monitoring and application efficiency]. – M.: VNIi agrokhimii: 203.
 11. *Shafran S.A.* Dinamika plodorodiya pochv Nechernozemnoy zony i yeye rezervy [Dynamics of soil fertility in the Non-chernozem zone and its reserves] // *Agrokhiimiya*, 2016; 8: 3–10. (In Rus.).
 12. *Shil'nikov I.A., Sychov V.G., Zelenov N.A., Akanova N.I., Fedotova L.S.* Izvestkova niye kak faktor urozhaynosti i pochvennogo plodorodiya [Liming as a factor in productivity and soil fertility]. – M.: VNIiA, 2008: 60–180. (In Rus.).
 13. *Yagodin B.A., Yermolayev A.A.* Mikroelementy v sbalansirovannom pitanii raste niy [Trace elements in a balanced plant nutrition] // *Khimiya v sel'skom khozyaystve*, 1995; 2: 24–26. (In Rus.).
 14. *Alloway B.J.* Zinc in soil and crop nutrition. Second edition. – IZA and IFA. – Brussels, Belgium and Paris, France, 2008: 139.
 15. *Schachtman D.P., Reid R.J., Ayling S.M.* Phosphorus uptake by plants: from soil to cell // *Plant Physiol*, 1998; 116: 447–453.

Налиухин Алексей Николаевич, д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (127550, Российская Федерация, г. Москва, ул. Прянишникова, 6; e-mail: naliuhin@yandex.ru; тел.: (499) 976–16–60).

Бижан Сергей Петрович, канд. с.-х. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Прянишникова, 31А; e-mail: kzuek@yandex.ru; тел.: (963) 601–02–05).

Старостина Елена Николаевна, старший научный сотрудник ФГБНУ «ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова» (127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Прянишникова, 31А; e-mail: 89653811932@mail.ru; тел.: (965) 381–19–32).

Alexey N. Naliukhin, DSc (Ag), Professor, Head of the Agronomic, Biological Chemistry and Radiology Department, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Russia, Moscow, Pryanishnikova Str., 6; phone: (499) 976–16–60); e-mail: naliuhin@yandex.ru).

Sergey P. Bizhan, Ph.D. (Ag), Senior Researcher Accosiate, D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry (127434, Moscow, Pryanishnikov Str., 31A; phone: (963) 601–02–05; e-mail: kzuek@yandex.ru).

Elena N. Starostina, Senior Researcher Accosiat, D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry (127434, Moscow, Pryanishnikov Str., 31A; phone: (965) 381–19–32; e-mail: 89653811932@mail.ru).