

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕРО- И МАГНИЙСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМЫЕ ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ С УЧЕТОМ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ СЕРОЙ И МАГНИЕМ

**И. С. Станилевич, И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин,
В. А. Довнар, Е. С. Третьяков**

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

ВВЕДЕНИЕ

Среди наиболее необходимых элементов, играющих жизненно важную роль в питании сельскохозяйственных культур, сера (S) занимает особое место. Сера принимает участие в важнейших физиологических процессах таких, как фотосинтез и дыхание, углеводный обмен, первичная ассимиляция азота, образование пигментов (хлорофилла и каротиноидов), синтез некоторых витаминов, ферментов, эфирных масел, ряда макроэргических компонентов, является неотъемлемой частью белковой молекулы, содержится в таких аминокислотах, как цистеин, цистин и метионин, витаминах В (тиамин), Н (биотин) [1–5]. В питании растений между азотом и серой существует тесная взаимосвязь. При недостаточном поступлении серы в растения, менее 1:16 по отношению к азоту, тормозится синтез белка и идет накопление нитратов. Одновременный недостаток этих элементов зачастую лимитирует урожайность сельскохозяйственных культур [1, 3, 5]. Питание растений серой в определенной степени может зависеть от содержания магния в почве. Повышенная концентрация магния в почвенном растворе может снижать доступность серы растениям.

Значение магния в питании растений характеризуется тем, что он входит в состав зеленого пигмента листьев хлорофилла и участвует в процессе фотосинтеза [6, 7]. В хлорофилле содержится 2,7 % (по весу) магния, что составляет около 10–30 % общего его содержания в зеленых частях растений. Остальное количество нужно для построения клеток и протоплазмы, регулирования нормального протекания биологических процессов в протоплазме [6, 8]. Магний – полифункциональный элемент питания, так как он выполняет структурообразующую роль, входя в состав органелл, клеток, мембран, клеточных стенок, и выполняет важную функциональную роль в составе около 300 ферментов. Связь этого элемента с деятельностью ферментов в значительной степени определяет его участие в обмене веществ в растениях и в биохимических процессах [9–10]. Недостаток или избыток магния в питательной среде приводит к нарушению биохимических процессов в растениях, тем самым ограничивая урожайность сельскохозяйственных культур и снижая качество продукции [9, 11, 12].

Содержание подвижной серы в дерново-подзолистых почвах колеблется в больших пределах и связано, в основном, с содержанием органических веществ, на

долю которых приходится 70–90 % валового запаса серы. Количество доступных для растений сульфатов зависит от темпов минерализации гумуса, поступления серы с навозом, минеральными удобрениями и осадками. Сокращение поступления серы с осадками, органическими и минеральными удобрениями содержащими серу, привело к снижению запаса этого элемента в почве наполовину. В настоящее время средневзвешенное содержание сульфатной серы в почвах пахотных земель Беларуси составляет 5,85 мг/кг почвы. Недостаток серы не только снижает урожайность и качество растениеводческой продукции, но и уменьшает эффективность использования азота из удобрений растениями.

В связи с использованием для известкования кислых почв доломитовой муки, где содержание MgO около 20 %, наблюдалось долговременное повышение содержания в почве обменных форм магния [13]. За последние 8 лет поддерживаемое известкование проводилось недостаточно на 50–60 % от потребности. Поэтому обозначилось небольшое снижение средневзвешенного содержания обменного магния на пахотных землях на 17 мг, на луговых землях – на 19 мг/кг почвы. В настоящее время средневзвешенное содержание магния составляет в почвах пахотных земель Mg 145 (MgO 242) мг/кг, луговых – 163 (MgO 265) мг/кг. Доля почв с низким содержанием элемента – 5,3 %. Оптимальная и высокая обеспеченность почв магнием наблюдается на 80 % площади пахотных земель и 89,8 % площади луговых земель [14]. Поскольку содержание обменного магния сильно различается по отдельным полям и участкам, на значительной части пахотных земель нарушено соотношение катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+}$ и $K^{+} : Mg^{2+}$, и возделываемые культуры испытывают недостаток или избыток магния для формирования урожайности [15]. Актуальность исследований обусловлена большим диапазоном различий концентрации магния в почвах.

Цель исследований – оценка обеспеченности пахотных земель Беларуси подвижной серой с учётом отзывчивости зерновых культур на серо- и магниесодержащие удобрения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Материалы агрохимического обследования почв за 14 тур (2017–2020 гг.) представлены областными проектно-изыскательскими станциями химизации сельского хозяйства, верифицированы и систематизированы в республиканской электронной базе данных.

В стационарном полевом опыте в ОАО «Гастелловское» Минского района на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с контрастными уровнями содержания обменного магния проводились исследования в 2020–2023 гг. Исследовали действие серосодержащего удобрения (сульфата аммония) и некорневых подкормок сульфатом магния на урожайность озимых зерновых культур (озимое тритикале и озимая пшеница).

Агрохимические показатели пахотного горизонта почвы были следующими: содержание гумуса (по Тюрину) – 1,8–2,1 %, pH_{KCl} – 5,8–6,0, P_2O_5 (0,2 М HCl) – 530–570 мг/кг почвы, K_2O (0,2 М HCl) – 310–345 мг/кг, Ca (1 М KCl) – 805–1160, Mg (1М KCl) – 45–240 мг/кг, подвижных форм серы – 7–10 мг/кг.

Опыт заложен в двух полях, на каждом из которых создано четыре уровня обеспеченности почвы обменным Mg, которые отражают диапазон различий по

содержанию магния в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси (табл. 1). Содержание катионов (Mg, K, Ca) и их соотношения типичны для среднекультурных дерново-подзолистых пахотных почв.

Высокие уровни содержания обменного Mg на делянке создавались путем внесения быстродействующего удобрения – сульфата магния ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$). Значения 4-х уровней содержания обменного магния определены после агрохимического анализа почвы со всех делянок. С целью выравнивания обменной кислотности, значений pH_{KCl} , поделяночно внесен мел.

Таблица 1

Содержание и соотношение катионов (Ca, Mg, K) в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве опытных полей в ОАО «Гастелловское» (2020–2023 гг.)

Уровень Mg в почве	Содержание в почве катионов, мг·кг ⁻¹			Эквивалентное соотношение катионов	
	Mg	K	Ca	Ca : Mg	K : Mg
2020 г. (Поле № 1)					
I	45	310	1150	15,3	2,1
II	115	315	1057	5,5	0,8
III	160	345	955	3,6	0,6
IV	230	325	840	2,2	0,4
2021 г. (Поле № 2)					
I	53	315	1160	13,2	1,8
II	120	310	1032	5,2	0,8
III	165	335	935	3,6	0,6
IV	240	320	860	2,2	0,4
2022 г. (Поле № 1)					
I	50	327	1010	13,2	1,8
II	110	342	920	5,2	0,8
III	175	370	855	3,6	0,6
IV	225	361	805	2,2	0,4
2023 г. (Поле № 2)					
I	55	394	1135	12,6	2,3
II	120	374	1040	5,2	0,9
III	165	360	930	3,4	0,7
IV	235	345	850	2,2	0,4

Минеральные удобрения под озимые тритикале и пшеницу вносились под предпосевную обработку почвы в виде карбамида, калия хлористого, аммонизированного суперфосфата и сульфата аммония, согласно схеме опыта. Проведена подкормка азотными удобрениями весной в начале активной вегетации. Некорневые подкормки 4%-ым раствором сульфата магния в дозах $Mg_1S_{1,3}$ и $Mg_{1,5}S_2$ на растениях проведены в начале фазы удлинения стебля до отбора растительных образцов.

Закладка опыта, наблюдения, учет урожайности, анализы почвы и растений проведены по соответствующим ГОСТ, ОСТ и методическим указаниям. Статистическая обработка результатов исследований – по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Применение серо- и магнийсодержащих удобрений оказывало существенное влияние на формирование урожайности зерна озимых зерновых культур (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2

Урожайность зерна озимых зерновых культур в зависимости от содержания обменного магния в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве и удобрений

Вариант	Урожайность зерна, ц/га			
	Уровни содержания Mg, мг/кг почвы			
	I	II	III	IV
Озимое тритикале (в среднем за 2020–2021 гг.)				
Контроль	51,9	54,3	58,6	51,7
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	61,7	66,4	68,3	62,6
Фон + Mg _{1,5} S ₂	67,9	71,1	70,7	63,2
Фон + S ₆₀	67,2	70,9	70,6	63,2
Фон + S ₆₀ + Mg _{1,5} S ₂	68,8	71,6	71,0	62,9
НСР ₀₅ варианты 2,30 уровни 1,67				
Озимая пшеница (в среднем за 2022–2023 гг.)				
Контроль	33,6	36,8	41,9	29,1
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₂₀ – фон	53,2	59,9	62,9	53,8
Фон + Mg _{1,5} S ₂	60,7	65,7	66,2	53,2
Фон + S ₆₀	60,8	66,4	66,7	54,1
Фон + S ₆₀ + Mg _{1,5} S ₂	61,8	67,0	67,0	53,2
НСР ₀₅ варианты 2,42 уровни 1,73				

Внесение серы в виде сульфата аммония сопровождалось повышением урожайности исследуемых культур. Наибольшие прибавки получены на первых двух уровнях содержания в почве магния, они составили на озимом тритикале 5,5 и 4,5 ц/га, на озимой пшенице – 7,6 и 6,5 ц/га соответственно.

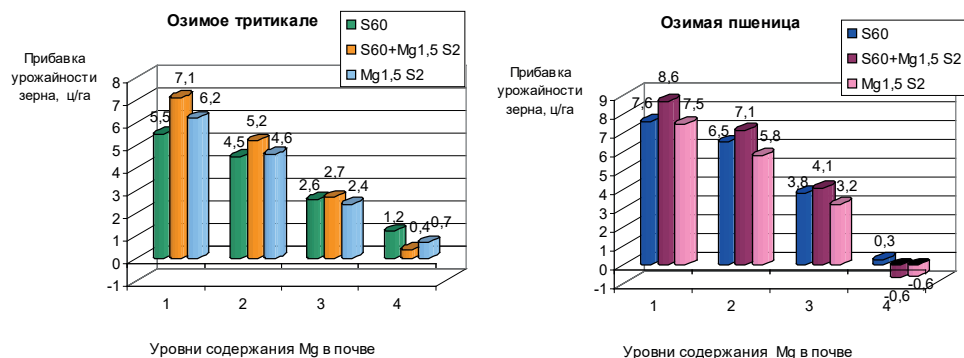


Рис. 1. Прибавки урожайности зерна озимого тритикале и озимой пшеницы от внесения серы и некорневых подкормок сульфатом магния на разных уровнях обеспеченности дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы обменным магнием (1 – Mg в почве 45–53 мг/кг, 2 – 115–120 мг/кг, 3 – 160–165 мг/кг, 4 – 230–240 мг/кг)

Прибавки урожайности зерна от некорневых подкормок раствором сульфата магния были высокими на низком и среднем уровнях содержания обменного магния (Mg 45–120 мг/кг почвы) и подтвердили недостаток магния для питания растений. На повышенном уровне, при содержании Mg 160–165 мг/кг почвы прибавки урожайности зерна были невысокими, но ещё достоверными. Некорневые подкормки сульфатом магния на высоком уровне обеспеченности почвы обменным магнием > 165 мг Mg на кг почвы, равно как и внесение серы в виде сульфата аммония в почву, были неэффективны. Применение некорневой подкормки сульфатом магния в дозе Mg 1,5 кг/га одновременно обеспечивает растения серой в дозе 2,0 кг S на га и прибавку урожайности зерна, соизмеримую с действием дозы S 60 кг/га, при внесении в почву сульфата аммония. Сочетание некорневой подкормки сульфатом магния с внесением S 60 кг/га в почву незначительно повышало прибавку урожайности зерна и не имело статистически значимого преимущества перед одной, непосредственной некорневой подкормкой раствором сульфата магния в дозе Mg_{1,5} S_{2,0}. По мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием эффективность внесения серо- и магниесодержащих удобрений снижалась.

Основным критерием целесообразности применения сульфата магния в качестве серосодержащего удобрения является обеспеченность почвы доступными соединениями серы. В первую очередь сульфат магния следует применять на почвах с низким содержанием серы (менее 6 мг/кг в 1,0н KCl вытяжке), которые по республике занимают 66,7 % площади, затем на среднеобеспеченных (6–12 мг/кг) – 25,8 %. Гродненская и Минская области характеризуются высокой долей площади почв с низким содержанием серы 79,5 % и 71,2 % соответственно. Доля высокообеспеченных почв серой (выше 12 мг/кг) незначительна и составляет 7,5 %. Средневзвешенное содержание подвижной серы в пахотных землях в целом по Беларуси низкое и составляет 5,85 мг/кг почвы (табл. 3). Содержание подвижной серы в почвах Витебской и Гомельской областей не определялось.

Таблица 3

Распределение площади пахотных почв Беларуси по группам содержания подвижной серы

Область	Площадь, га	По группам содержания S, мг/кг, %				Средневзвешенное содержание S, мг/кг почвы
		< 6,0	6,1–12,0	12,1–18,0	> 18,0	
Брестская	724681	47,3	40,8	11,8	0,1	7,0
Гродненская	753042	79,5	18,1	1,5	0,9	5,1
Минская	1050552	71,2	24,0	3,5	1,3	5,1
Могилёвская	780537	66,5	21,9	8,2	3,4	5,7
Беларусь	3308812	66,7	25,8	6,0	1,5	5,8

Обеспеченность пахотных почв доступной растениям серой заметно различается по районам. В Брестской области большинство районов характеризуется средним содержанием подвижной серы в почве от 6 до 10 мг/кг. Средневзвешенное значение по области составляет 7,0 мг/кг почвы. К группе почв с низким содержанием серы менее 6,0 мг/кг относится 5 районов, средневзвешенный показатель в которых составляет: Ганцевичский (5,4 мг/кг), Дрогичинский (4,9 мг/кг), Жабинковский (4,3 мг/кг), Ивановский (5,8 мг/кг), Кобринский (5,5 мг/кг). Доля почв с низким содержанием серы по области составляет 47,3 %, различаясь по районам

от 15,1–17,1 % в Столинском и Пинском районах до 80,4–82,3 % в Жабинковском и Дрогиченском районах (рис. 2, табл. 4).

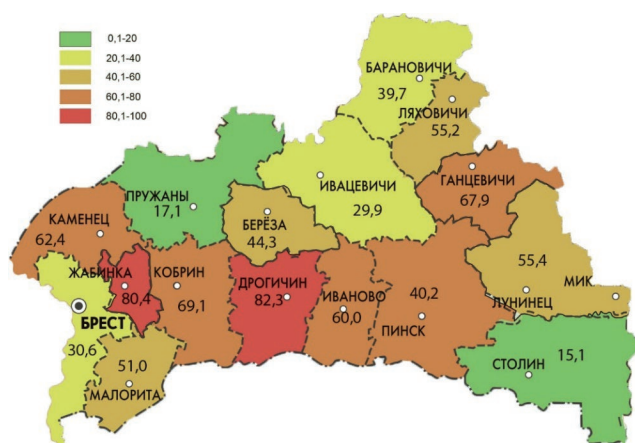


Рис. 2. Распределение доли площади пашни с низким содержанием подвижной серы менее 6 мг/кг почвы по районам Брестской области, %

Таблица 4

Распределение площади пахотных почв Брестской области по группам содержания серы, %

Район	Площадь, га	По группам содержания S, мг/кг, %				Средневзвешенное содержание S, мг/кг почвы
		< 6,0	6,1–12,0	12,1–18,0	> 18,0	
Барановичский	73862	39,7	54,2	6,0	0,1	7,2
Березовский	38341	44,3	47,1	8,6	–	7,0
Брестский	38466	30,6	58,7	10,7	–	7,9
Ганцевичский	19160	67,9	27,9	4,2	–	5,4
Дрогичинский	39205	82,3	14,4	3,3	–	4,9
Жабинковский	27857	80,4	16,0	2,8	0,8	4,3
Ивановский	44873	60,0	37,8	2,1	0,1	5,8
Ивацевичский	52631	29,9	48,6	21,4	0,1	7,9
Каменецкий	60219	62,4	31,3	6,3	–	6,6
Кобринский	54918	69,1	24,2	6,6	0,1	5,5
Лунинецкий	41342	55,4	34,9	9,6	0,1	6,3
Ляховичский	35792	55,2	32,9	11,8	0,1	6,9
Малоритский	27012	51,0	37,4	11,5	0,1	7,0
Пинский	59955	40,2	42,8	16,8	0,2	7,5
Пружанский	71064	17,1	58,4	24,4	0,1	9,2
Столинский	39986	15,1	52,5	31,6	0,8	10,0
Итого	724681	47,3	40,8	11,8	0,1	7,0

В Гродненской области преобладают почвы с низким содержанием серы, доля которых составляет 79,5 % от общей площади пахотных земель. Более 80 % площади пахотных земель с низким содержанием подвижной серы характерно для Волковысского (84,1 %), Дятловского (93,6 %), Зельвенского (87,7 %), Ивьевского

(82,0 %), Кореличского (86,9 %), Лидского (91,3 %), Новогрудского (84,2 %), Слонимского (85,7 %) и Сморгонского (85,7 %) районов (рис. 3, табл. 5). Очевидно, что здесь эффективным приемом будет проведение некорневой подкормки сульфатом магния на посевах озимых зерновых культур, так как практически повсеместно наблюдается острый дефицит серы в почве.

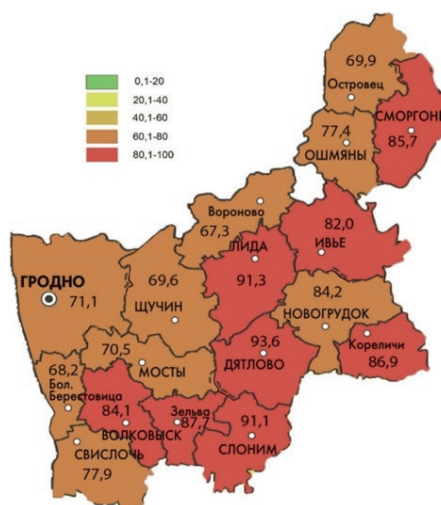


Рис. 3. Доля площади пашни с содержанием подвижной серы менее 6 мг/кг почвы по районам Гродненской области, %

Таблица 5

Распределение пахотных почв Гродненской области по группам содержания подвижной серы, %

Район	Площадь, га	По группам содержания S, мг/кг, %				Средневзвешенное содержание S, мг/кг почвы
		< 6,0	6,1–12,0	12,1–18,0	> 18,0	
Берестовицкий	35087	68,2	29,9	1,0	0,9	6,1
Волковысский	57378	84,1	15,0	0,4	0,5	4,9
Вороновский	50895	67,3	26,8	2,5	3,4	6,9
Гродненский	76786	71,7	26,9	0,6	0,8	6,1
Дятловский	35404	93,6	5,8	0,3	0,3	3,9
Зельвенский	39247	87,7	10,2	1,5	0,6	4,2
Ивьевский	39988	82,0	16,5	0,7	0,8	5,3
Кореличский	42578	86,9	10,2	2,2	0,7	4,4
Лидский	45355	91,3	7,5	1,1	0,1	3,9
Мостовский	38887	70,5	26,6	1,9	1,0	5,6
Новогрудский	41377	84,2	13,3	1,6	0,9	4,2
Островецкий	33619	69,9	27,5	2,1	0,5	5,4
Ошмянский	34519	77,4	20,1	1,7	0,8	5,2
Свислочский	38543	77,9	19,2	1,7	1,2	5,6
Слонимский	48756	91,1	6,7	0,9	1,3	4,1
Сморгонский	36636	85,7	11,6	1,8	0,9	4,3
Щучинский	57988	69,6	26,4	3,0	1,0	5,3
Итого	753042	79,5	18,1	1,5	0,9	5,1

Средневзвешенное содержание подвижной серы в почвах пахотных земель Минской области также низкое и составляет 5,1 мг/кг. Только в двух районах этот показатель незначительно превышает 6 мг/кг в Копыльском (6,5 мг/кг) и Несвижском районе (6,6 мг/кг). Доля площади почв с низким содержанием серы по области составляет 71,2 %, различаясь от 49,4 % в Копыльском районе до 93,9 % в Мядельском. Доля пахотных земель с повышенным и высоким содержанием серы более 12 мг/кг почвы незначительна и занимает 4,8 % площади (рис. 4, табл. 6).

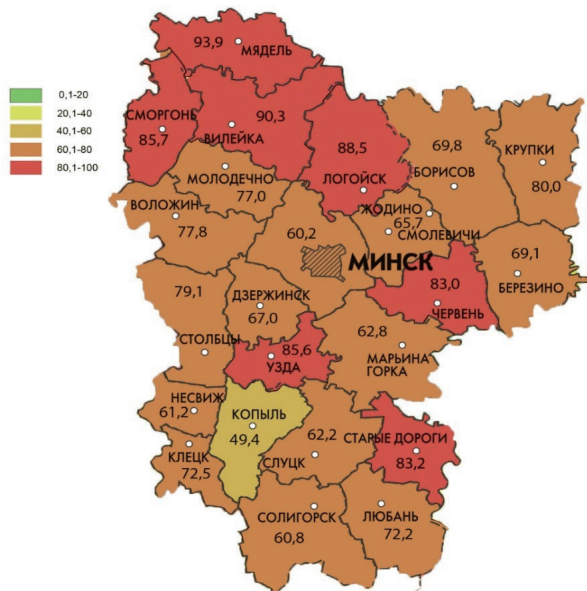


Рис. 4. Доля площади пашни с содержанием подвижной серы менее 6 мг/кг почвы по районам Минской области, %

Таблица 6

Распределение площади пахотных почв Минской области по группам содержания подвижной серы, %

Район	Площадь, га	По группам содержания S, мг/кг, %				Средневзвешенное содержание S, мг/кг почвы
		< 6,0	6,1–12,0	12,1–18,0	> 18,0	
Березинский	44984	69,1	28,2	2,4	0,3	5,0
Борисовский	52324	69,8	26,1	4,0	0,1	5,1
Вилейский	51322	90,3	8,3	1,1	0,3	3,4
Воложинский	53814	77,8	18,6	3,1	0,5	4,1
Дзержинский	43228	67,0	25,5	5,0	2,5	5,9
Клецкий	37731	72,5	21,6	3,6	2,3	5,4
Копыльский	78081	49,4	43,4	6,0	1,2	6,5
Крупский	44696	80,0	17,0	1,9	1,1	4,1
Логойский	44110	88,5	9,9	1,5	0,1	3,5
Любанский	41011	72,2	21,2	5,3	1,3	5,3
Минский	60561	60,2	33,5	5,6	0,7	5,6
Молодечненский	40671	77,0	18,2	3,6	1,2	5,0

Продолжение таблицы 6

Район	Площадь, га	По группам содержания S, мг/кг, %				Средневзвешенное содержание S, мг/кг почвы
		< 6,0	6,1–12,0	12,1–18,0	> 18,0	
Мядельский	26497	93,9	4,7	0,9	0,5	3,1
Несвижский	49755	61,2	24,9	8,6	5,3	6,6
Пуховичский	52836	62,8	34,2	1,3	1,7	5,6
Слуцкий	77937	62,2	31,7	4,3	1,8	5,7
Смолевичский	45736	65,7	31,0	3,0	0,3	5,3
Солигорский	50563	60,8	36,8	2,4	–	5,6
Стародорожский	26913	83,2	13,9	2,4	0,5	4,3
Столбцовский	48251	79,1	14,9	3,0	3,0	4,9
Узденский	31375	85,6	9,9	1,7	2,8	4,2
Червенский	48157	83,0	14,3	2,1	0,6	4,4
Итого	1050552	71,2	24,0	3,5	1,3	5,1

В Могилевской области также преобладают пахотные земли с низким содержанием подвижной серы. Средневзвешенное содержание подвижной серы в почвах различается по районам от 2,5–2,6 мг/кг в Быховском, Горецком, Дрибинском до 10,4–13,0 мг/кг в Славгородском, Осиповичском, Чериковском. Доля площади почв с низким содержанием серы в 9 районах превышает 95 % от общей площади пашни. Острый дефицит серы наблюдается в Быховском (99,1 %), Горецком (99,8 %), Дрибинском (99,1 %), Климовичском (98,5 %), Костюковичском (97,7 %), Краснопольском (95,5 %), Круглянском (99,9 %), Могилевском (96,5 %), Хотимском (99,2 %) районах Могилевской области (рис. 5, табл. 7).

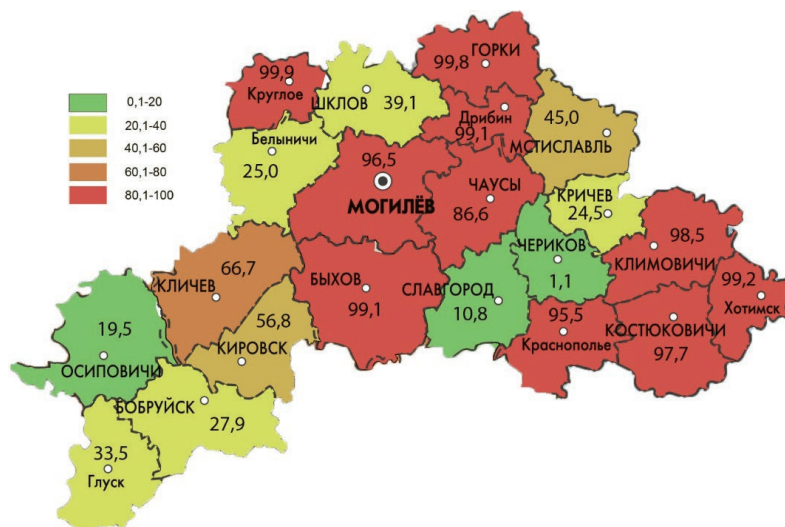


Рис. 5. Доля площади пашни с содержанием подвижной серы менее 6 мг/кг почвы по районам Могилевской области, %

Распределение площади пахотных почв Могилевской области по группам содержания подвижной серы, %

Район	Площадь, га	По группам содержания S, мг/кг, %				Средневзвешенное содержание S, мг/кг почвы
		< 6,0	6,1–12,0	12,1–18,0	> 18,0	
Белыничский	36126	25,0	50,9	19,9	4,2	9,2
Бобруйский	39761	27,9	63,0	7,5	1,6	7,8
Быховский	45409	99,1	0,8	0,1		2,5
Глусский	18942	33,5	56,2	9,8	0,5	7,7
Горецкий	65267	99,8	0,2	–	–	2,6
Дрибинский	31369	99,1	0,5	0,4		2,6
Кировский	38734	56,8	23,6	8,2	11,4	7,2
Климовичский	37466	98,5	1,3	–	0,2	2,7
Кличевский	28783	66,7	28,0	3,2	2,1	5,5
Костюковичский	27550	97,7	1,6	0,7	–	3,0
Краснопольский	13312	95,5	4,2	0,3	–	2,9
Кричевский	25771	24,5	58,6	16,0	0,9	8,7
Круглянский	28313	99,9	0,1	–	–	3,3
Могилевский	76828	96,5	3,1	0,3	0,1	2,8
Мстиславский	57589	45,0	29,4	19,1	6,5	7,9
Осиповичский	23923	19,5	45,4	11,6	23,5	10,8
Славгородский	27350	10,8	60,0	22,9	6,3	10,4
Хотимский	25563	99,2	0,4	0,1	0,3	2,8
Чаусский	46402	86,6	6,1	6,5	0,8	4,7
Чериковский	21027	1,1	42,9	52,6	3,4	13,0
Шкловский	65052	39,1	36,5	14,2	10,2	8,5
Итого	780537	66,5	21,9	8,2	3,4	5,7

Для уменьшения дефицита серы необходимо использовать в качестве источника азота под посев озимых зерновых культур сульфат аммония или проводить некорневые подкормки растений раствором сульфата магния.

ВЫВОДЫ

Проведены исследования по изучению эффективности применения серо- и магнийсодержащих удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве с разной обеспеченностью почвы обменным магнием в 2020–2023 гг. В модельных полевых опытах созданы четыре уровня обеспеченности дерново-подзолистых легкосуглинистых почв обменными формами Mg (1M KCl) в диапазоне от низкого 45–55 до высокого 225–240 мг/кг почвы, при соответствующем эквивалентном соотношении $Ca^{2+} : Mg^{2+}$, от 15,3 до 2,2. Другие агрохимические свойства (pH_{KCl} , содержание гумуса, подвижных форм фосфора и калия) были близки к оптимальным параметрам. Созданные уровни отражают типичный диапазон различий по содержанию обменного магния и соотношений катионов $Ca^{2+} : Mg^{2+} : K^+$ в дерново-подзолистых суглинистых почвах Беларуси.

При среднем содержании подвижной серы S 7–10 мг/кг почвы, на первых двух уровнях содержания обменного магния ($Mg < 120$ мг/кг почвы) получены существенные

прибавки урожайности зерна озимой пшеницы 5,8–7,5 ц/га и озимого тритикале 4,6–6,2 ц/га от некорневых подкормок растений 4%-ым раствором сульфата магния. Некорневая подкормка обеспечивает растения одновременно серой в дозе S 2 кг/га и магнием в дозе Mg 1,5 кг/га. Примерно такие же прибавки урожайности зерна 6,5–7,8 ц/га пшеницы и 4,5–5,5 ц/га тритикале получены от внесения серы в почву, S 60 кг/га, в форме сульфата азота.

По мере повышения обеспеченности почвы обменным магнием эффективность применения серо- и магниесодержащих удобрений снижалась. Некорневые подкормки сульфатом магния на высоком уровне обеспеченности почвы обменным магнием > 165 мг Mg на кг почвы, равно как и внесение серы в виде сульфата аммония в почву были неэффективны.

Основным критерием целесообразности применения некорневых подкормок посевов озимых зерновых культур раствором сульфата магния или применения других серосодержащих удобрений, является обеспеченность почвы доступными соединениями серы. В первую очередь серосодержащие удобрения следует применять на почвах с низким содержанием сульфатной серы (менее 6 мг/кг в 1,0н KCl вытяжке). Применение серосодержащих удобрений эффективно и на среднеобеспеченных серой полях и участках (S 6–12 мг/кг почвы). Однако следует исключить применение серосодержащих удобрений на почвах с высоким содержанием обменного магния, 5 и 6 группы обеспеченности (Mg > 180 мг/кг почвы). В настоящее время в каждом сельскохозяйственном предприятии Беларуси имеются актуальные материалы агрохимического обследования почв, позволяющие определить потребность в применении серосодержащих удобрений и выделить те поля и участки посевов озимых зерновых культур, где окупаемость удобрений прибавкой урожайности зерна будет наиболее высокой. В целом по Беларуси 2/3 площади пахотных почв характеризуются очень низким содержанием подвижной серы с различием по районам от 15,1 % (Столинский район) – до 99,9 % (Круглянский район).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристархов, А. Н. Агрохимия серы / А. Н. Аристархов. – М.: ВНИИА, 2007. – 272 с.
2. Панасин, В. И. Сера и урожай / В. И. Панасин, В. Д. Слобожанинова, Н. В. Лопатина. – Калининград: Изд-во «КГТ», 1990 – 150 с.
3. Нортон, Р. Значение серы в питании растений / Р. Нортон, Р. Миккелсен, Т. Дженсен; перевод с англ. В. В. Носов // Питание растений. – 2004. – № 3. – С. 2–5.
4. Ceccotti, S. Plant nutrient sulphur: a global review of crop requirements, supply and environmental impact on nutrient balance / S. Ceccotti, D. Messick // *Nrw. J. Agr. Sci.* – 1994. – P. 7–25.
5. Stewart, M. Pay attention to sulfur / M. Stewart // *Plant Nutrition Today* – 2017 Issue 2, № 2.
6. Магницкий, К. П. Магниевые удобрения / К. П. Магницкий – Москва: Государственное изд-во сельскохозяйственной литературы, 1952. – 111 с.
7. Spectrum Analytic, 2010. Magnesium Basics [Electronic resource]. – Mode of access: http://spectrumanalytic.com/support/library/ff/Mg_Basics.htm. – Date of access: 20.12.2023.

8. Богдевич, И. М. Магниевые удобрения на дерново-подзолистых почвах: аналитический обзор / И. М. Богдевич, О. Л. Ломонос; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 2009. – 40 с.
9. Магниевые удобрения в интенсивном земледелии (обзорная информация) / В. В. Прокошев [и др.]. – М.: ВНИИТЭИ-Агропром, 1987. – 52 с.
10. Шкляев, Ю. Н. Магний в жизни растений / Ю. Н. Шкляев. – М.: Наука, 1981. – 95 с.
11. Кулаковская, Т. Н. Почвенно-агрохимические основы получения высоких урожаев / Т. Н. Кулаковская. – Минск, 1978. – С. 227–232.
12. Sакmak, I. Magnesium: a forgotten element in crop production / I. Sакmak, A. M. Yazici // Better Crops. – Vol. 94 (2010, № 2). – P. 23–25.
13. Клебанович, Н. В. Известкование почв Беларуси / Н. В. Клебанович, Г. В. Васильюк. – Минск: БГУ, 2003. – 322 с.
14. Агрохимическая характеристика почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь (2017–2020 гг.) / И. М. Богдевич [и др.]; под общ. ред. И. М. Богдевича; Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2022. – 276 с.
15. Диагностика магниевого питания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич [и др.] // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграрных наук. – № 2. – 2016. – С. 34–42.

THE YIELD RESPONSE OF WINTER CEREALS TO SULFUR AND MAGNESIUM CONTAINING FERTILIZERS WITH REGARD TO MOBILE SULFUR AND EXCHANGEABLE MAGNESIUM SUPPLY OF PODZOLUVISOL LOAMY SOIL

**I. S. Stanilevich, I. M. Bogdevitch, Yu. V. Putyatin,
V. A. Dovnar, Ye. S. Tretiakov**

Summary

The effect of S60 applied to soil as ammonium sulfate and the foliar spray of 4 % magnesium sulfate solution had been studied in the model field experiment with medium mobile S 7–10 ppm and four different levels of exchangeable Mg supply. The grain yield responses to the tested fertilizers were sufficient only on the low and medium content of Mg (45–120 ppm) in soil. Application of S60 to soil resulted with yield increase 0,76–0,65 t of wheat and 0,55–0,45 t of triticale. The same level of crop response was noted after foliar spray of magnesium sulfate: 0,75–0,58 t of wheat and 0,55–0,45 t of triticale. The assessment of mobile sulfur supply of arable soil in regions and district of Belarus has been done according to the data of 14 cycle of Soil Survey (2017–2020). In genera 2/3 of the area of arable soils in Belarus is characterized by a very low content of mobile sulfur with a difference by region from 15,1 % (Stolinsky district) to 99,9 % (Kruglyansky district).

Поступила 20.05.24