

ВЛИЯНИЕ ФОСФОГИПСА В ДЕЙСТВИИ И ПОСЛЕДЕЙСТВИИ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

В. И. Сороко, Г. В. Пироговская, С. С. Хмелевский,
А. С. Лемешевская, Т. В. Гарбузова, И. Н. Некрасова, Д. Г. Переход

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

ВВЕДЕНИЕ

По своему значению сера находится в одном ряду с азотом, фосфором и калием. Она участвует в процессах азотного обмена, синтеза белка, круговороте калия, кальция, магния, повышает содержание хлорофилла. Роль серы возросла в интенсивном высокоурожайном земледелии, так как при низкой урожайности вынос серы компенсируется за счет высвобождения ее из минеральных и органических соединений почвы, а также за счет привнесения с атмосферными осадками. Возросший вынос с высокими урожаями, снижение выбросов серы в промышленности и применение более концентрированных удобрений обусловили научный интерес к изучению агротехнических приемов повышения содержания серы в почве и внесению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры [1–13].

В условиях интенсивного земледелия серосодержащие удобрения рекомендуется вносить на почвах с низкой и средней обеспеченностью серой и, в первую очередь, под требовательные или отзывчивые на ее внесение культуры [2, 3, 6, 10, 12].

Исследователями, изучающими данную проблему, были установлены существенные прибавки урожая зерна бобовых культур от внесения серосодержащих удобрений в почву и некорневых подкормок сульфатами, разработаны параметры почвенной и растительной диагностики питания серой и магнием, позволяющие выявить необходимость внесения серосодержащих удобрений в почву и некорневых подкормок сульфатами [3, 6]. В определенной степени изучено применение серосодержащих удобрений под сахарную свеклу, рапс [8, 11, 12]. Имеются сведения о влиянии видов и доз удобрений на вынос и баланс элементов питания, в том числе и серы, при возделывании капусты белокочанной [13]. Разрабатываются методические подходы к расчету и картированию критических нагрузок серы и азота на экосистемы Беларуси [14], что может быть актуально при высоких дозах внесения мелиорантов, минеральных и органических удобрений.

Предыдущими исследователями установлено, что под культуры, требовательные к сере необходимо ее вносить от 40–60 до 140 кг/га д. в. Сера в почве в основном (75–90 % от общего содержания) находится в органической форме в составе гумуса и других соединений и доступна после минерализации. Процент почв с низким и средним (1 + 2 группа) содержанием серы в почвах республики в последние годы снизился до 90 %, поэтому урожай и качество сельскохозяйственных культур в значительной степени зависит от внесения серосодержащих удобрений.

В мировой практике применяется широкий ассортимент серосодержащих удобрений. В Республике Беларусь, а также в других странах основным серосодержащим удобрением является сульфат аммония (20,5 % азота и 24,0 % серы). Применяются также микроудобрения – марганец сернокислый (14–17 % S), сульфат цинка (11,2 % S), сульфат магния (18,6 % S), разработаны и производятся жидкие формы серосодержащих удобрений для применения в основное внесение и подкормки [2–4, 6, 7, 12]. Из-за высокой стоимости минеральных удобрений вызывают интерес более дешевые источники серы в качестве удобрений для сельскохозяйственных культур. Важным резервом восполнения дефицита серы является фосфогипс (23,4 % S), влияние которого на урожай и качество культур в сравнении с другими серосодержащими удобрениями недостаточно изучено. Также не до конца решены вопросы внесения фосфогипса в условиях хозяйств.

В связи с изменением климата, увеличение засушливых периодов вегетации представляет интерес изучение последствий серы, внесенной с удобрениями, в том числе и с фосфогипсом, на урожай последующих культур.

Исследования, направленные на разработку рациональных приемов внесения фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения с оценкой действия на рост, развитие и урожайность растений, качество продукции в сравнении с промышленными серосодержащими удобрениями (сульфат аммония, сульфоаммофос) приобретают особую актуальность, что и определило цель наших исследований, проведенных на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной и легкосуглинистой почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению сравнительной эффективности серосодержащих удобрений в форме фосфогипса, сульфата аммония и сульфоаммофоса проводились в полевых опытах с пшеницей озимой и рапсом яровым в 2022–2023 гг. на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области) и в опытах с картофелем и тритикале яровой на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве (экспериментальная база им. Котовского Узденского района Минской области). Последствие фосфогипса, вносимого под картофель изучалось на тритикале яровой.

Перед закладкой опытов почва имела следующие агрохимические показатели:

- в опыте с пшеницей озимой сорта Бонанза (2022–2023 гг.): гумус – 2,81 % (среднее по делянкам); кислотность pH_{KCl} – 6,02, P_2O_5 – 516 и K_2O – 273 мг/кг почвы, Ca – 1220, Mg – 107 мг/кг почвы;
- с рапсом яровым сорта Гедемин (2022–2023 гг.): гумус – 2,35 %, кислотность pH_{KCl} – 5,83, P_2O_5 – 518 и K_2O – 367 мг/кг почвы, Ca – 1367, Mg – 138 мг/кг почвы;
- с картофелем сорта Рубин (2022 г.) и яровой тритикале Гелио (2023 г.): гумус – 2,43–2,69 %, pH_{KCl} – 5,39–5,43, P_2O_5 – 239–293 и K_2O – 211–295 мг/кг почвы, Ca – 644–737, Mg – 68–78 мг/кг.

Содержание серы в почве перед закладкой полевых опытов низкое – от 2,6 до 6,2 мг/кг почвы, что в среднем соответствует первой группе (< 6,0) обеспеченности [15].

Исследования проводили согласно существующим методикам по закладке полевых опытов [16,17].

Схемы опытов представлены в таблицах результатов исследований.

Серу в опытах вносили под предпосевную культивацию в виде фосфогипса (23,5 % S), сульфата аммония (24 %) и сульфоаммофоса (14 %). В варианте без серы азотные удобрения вносили в виде мочевины. В опыте с пшеницей фосфогипс вносился двумя способами – в один и два срока, в первую и вторую подкормку.

Почвенные образцы отбирали из пахотного горизонта, пробы анализировали в соответствии с общепринятыми методиками:

- гумус – по методу И. В. Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-84);
- обменная кислотность pH_{KCl} – потенциометрический (ГОСТ 26483-85);
- содержание подвижного фосфора – по Кирсанову на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 26207-84);
- содержание подвижного калия – по Кирсанову на пламенном фотометре (ГОСТ 280207-84);
- кальций и магний – на атомно-абсорбционном спектрофотометре;
- содержание серы – по ГОСТ 26490-85;
- отбор проб – ГОСТ 26483-85.

Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили, согласно существующих ГОСТ и ОСТ:

- отбор проб – ГОСТ 18691-83;
- определение азота, фосфора, калия, кальция, магния, серы после мокрого озоления (смесью серной кислоты и перекиси водорода) общепринятыми методами: азот – ГОСТ 13496.4-93 п. 2; фосфор – спектрофотометрически; калий – на пламенном фотометре; кальций – ГОСТ 26570-95; магний ГОСТ 30502-97 – на атомно-адсорбционном спектрофотометре; сера – фотоколориметрическим методом.

Агротехника возделываемых культур общепринятая для Республики Беларусь [18, 19].

Уход за посевами проводили препаратами, внесенными в Государственный реестр [20].

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия 2022–2023 гг. были следующими. При возделывания озимой пшеницы и ярового рапса на легкосуглинистой почве количество выпавших атмосферных осадков в 2022 г. составляло: в апреле – 111,0 мм (257,5 % от среднемноголетних значений), в мае – 74,7 мм (113,5 %), июне – 57,5 мм (72,6 %), июле – 73,1 мм (75,0 %), августе – 4,0 мм (5,6 %). За вегетационный период (апрель–август) количество осадков составило 320,3 мм (89,8 % от нормы). В 2023 г. осадки в апреле были на уровне среднемноголетних значений, май и июнь были засушливыми, в июле–августе выпало 62,5 и 81,2 мм, что составляло 64,1–114,4 % от среднемноголетних значений, а за вегетационный период выпало 214,7 мм (60,2 %).

При возделывании картофеля в 2022 г. на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в апреле выпало 125,3 мм (322,9 % от среднееголетних значений), мае – 55,8 мм (88,9 %), июне – 48,7 мм (64,6 %), июле – 85,7 мм (96,3 %), августе – 29,9 (44,3 %). В целом за апрель-август выпало 345,4 мм (95,2 %) от среднееголетних значений. При возделывании на этой же почве в 2023 г. яровой тритикале май и июнь были засушливыми, в июле-августе выпало 50,6 и 61,8 мм (62,5–94,1 %) и за вегетационный период – 213,8 мм, или 58,9 % от уровня среднееголетних значений.

Урожайность озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в период исследований была высокой и в среднем за два года находилась в пределах: в блоке 1 ($N_{60+40+40+20}$) – от 65,9 до 72,1 ц/га, в блоке 2 ($N_{70+40+40+20}$) – от 68,2 до 73,0 ц/га, при урожайности на контрольном варианте – 44,7 ц/га (табл. 1).

Таблица 1

Урожайность зерна озимой пшеницы на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района, 2022–2023 гг.

Варианты	Внесено серы, кг/га	Урожайность зерна, ц/га (14 % влажности)			Прибавка, от серы ц/га
		2022	2023	среднее	
1. Контроль без удобрений	0	55,6	33,8	44,7	–
блок 1 – $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{160} (N_{60} + N_{40} + N_{40} + N_{20})$					
2. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{60} + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	0	73,7	58,1	65,9	–
4. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{60} (S_{69}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	69	76,6	60,9	68,7	2,8
5. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{60} + N_{40} + N_{40} + N_{20} + Cu$ и Mn (по 50 г/га) в стадию первого узла	69	77,5	63,4	70,5	4,6
8. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{60} (S_{69} - \text{фосфогипс}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	69	75,4	62,2	68,8	2,9
7. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{60} (S_{69}) + Naa_{40} (S_{45,6}) + N_{40} + N_{20}$	114,6	77,7	66,4	72,1	6,2
10. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{60} (S_{69} - \text{фосфогипс}) + N_{40} (S_{45,6} - \text{фосфогипс}) + N_{40} + N_{20}$	114,6	77,9	65,5	71,7	5,8
блок 2 – $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{170} (N_{70} + N_{40} + N_{40} + N_{20})$					
3. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{70} + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	0	76,9	59,4	68,2	–
6. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{70} (S_{80}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	80	79,8	66,1	73,0	4,8
9. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{70} (S_{80} - \text{фосфогипс}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	80	77,9	65,4	71,7	3,5
НСР _{0,5}	–	4,01	3,90	3,96	–

Качество зерна озимой пшеницы оценивалось по содержанию протеина, клейковины, массе 1000 зерен и содержанию элементов питания в зерне (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Влияние удобрений на показатели качества зерна озимой пшеницы
на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве
в ОАО «Гастелловское» Минского района, 2022–2023 гг.**

Варианты	Протеин, %			Клейковина, %			Масса 1000 зерен, г
	2022	2023	среднее	2022	2023	среднее	среднее за 2 года
1. Контроль без удобрений	11,6	8,8	10,2	18,0	17,4	17,7	40,3
блок 1 – $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{160} (N_{60} + N_{40} + N_{40} + N_{20})$							
2. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{60} + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	12,9	12,6	12,8	25,3	22,6	24,0	45,6
4. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{60} (S_{69}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	13,8	13,3	13,6	24,9	25,1	25,0	45,3
5. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{60} + N_{40} + N_{40} + N_{20} + Cu$ и Mn (по 50 г/га) в стадию первого узла	14,4	13,6	14,0	27,5	25,1	26,3	48,6
8. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{60} (S_{69} - \text{фосфогипс}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	13,8	13,2	13,5	27,7	24,1	25,9	46,2
7. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{60} (S_{69}) + Naa_{40} (S_{45,6}) + N_{40} + N_{20}$	13,6	12,9	13,3	25,9	23,6	24,8	46,9
10. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{60} (S_{69} - \text{фосфогипс}) + N_{40} (S_{45,6} - \text{фосфогипс}) + N_{40} + N_{20}$	14,7	13,0	13,9	28,2	24,4	26,3	48,6
блок 2 – $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{170} (N_{70} + N_{40} + N_{40} + N_{20})$							
3. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{70} + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	13,6	12,6	13,1	25,6	22,9	24,3	46,0
6. $N_{30}P_{60}K_{130} + Naa_{70} (S_{80}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	14,2	12,9	13,6	27,0	23,9	25,5	45,5
9. $N_{30}P_{60}K_{130} + N_{70} (S_{80} - \text{фосфогипс}) + N_{40} + N_{40} + N_{20}$	14,0	12,9	13,5	28,6	23,7	26,2	46,1
НСР ₀₅	0,69	0,57	0,63	1,51	1,32	1,41	2,41

Исследованиями установлено, что при внесении серы в дозах 69 и 80 кг/га в вариантах с сульфатом аммония и фосфогипсом в первую ранневесеннюю подкормку (в эквивалентных по сере дозах), урожайность зерна пшеницы была в близких пределах (68,7–68,8 и 71,7–73,0 ц/га), а незначительные различия находились в пределах наименьшей существенной разности. Аналогичная закономерность наблюдалась и в вариантах с внесением более высоких доз серы (114,6 кг/га, вар. 7 и 10), где урожайность составила 72,1 и 71,7 ц/га соответственно.

Прибавка зерна пшеницы от внесения 69 кг/га серы на фоне N_{60} в первую подкормку (блок 1) составила в среднем за два года 2,8–2,9 ц/га, при более высокой дозе серы 114,6 кг/га, внесенной в два приема (69 + 45,6), повышалась до 5,8–6,2 ц/га

при НСР = 3,96 ц/га. Внесение дозы серы 80 кг/га в форме фосфогипса и сульфата аммония на фоне N_{70} в первую подкормку (блок 2) обеспечивало тенденцию или достоверную прибавку урожая зерна на уровне 3,5–4,8 ц/га (табл. 1).

Содержание протеина в зерне озимой пшеницы в варианте без внесения удобрений (контроль) в оба года исследований было наименьшим и составляло в среднем 10,2 % (от 8,8 до 11,6 %), с наиболее высоким содержанием в 2022 г. Внесение в опыте удобрений увеличило содержание протеина до 12,8–13,9 %. Серосодержащие удобрения, внесенные в первую или первую и вторую подкормки, способствовали преимущественно увеличению содержания протеина на 0,5–1,2 % (блок 1) или тенденции его увеличения на 0,4–0,5 % (блок 2) по отношению к вариантам без внесения серы. Существенных различий между формами серосодержащих удобрений не отмечалось (табл. 2).

Внесение серосодержащих удобрений повышало содержание клейковины. Увеличение было близким к достоверному или достоверным в зависимости от формы и дозы применяемых удобрений и метеорологических условий. В более благоприятном 2022 г. содержание клейковины варьировало от 24,9 до 28,6 %, с наименьшим содержанием на контроле (18,0 %). Внесение дозы серы S_{69} в форме фосфогипса на фоне карбамида в первую ранневесеннюю подкормку и $S_{114,6}$ (S_{69} и $S_{45,6}$) в первую и вторую подкормки обеспечивало существенное увеличение содержания клейковины в зерне озимой пшеницы – на 2,4–2,9 % (блок 1). Однократное применение фосфогипса (S_{80}) в блоке 2 способствовало увеличению содержания клейковины на 3,0 %, при внесении сульфата аммония в той же дозе (S_{80}) ее содержание увеличивалось в меньшей степени на 1,4 %. В засушливом 2023 г. содержание клейковины в удобренных вариантах было ниже – 22,6–25,1 %, однако влияние серосодержащих удобрений имело такую же закономерность – при дозе серы 69 кг/га увеличивалось содержание клейковины от 22,6 до 24,1–25,1 % (на 1,5–2,5 %) без существенных различий между сульфатом аммония и фосфогипсом. Увеличение дозы серы в форме фосфогипса и сульфата аммония до 114,6 кг/га приводило к тенденции повышения содержания клейковины в зерне на 0,8–1,0 % (от 22,9 до 23,9–23,7 %). В среднем за два года серосодержащие удобрения повысили содержание клейковины на 1,0–2,3 % (табл. 2).

Удобрения оказали влияние на массу 1000 зерен озимой пшеницы, которая различалась по вариантам опыта и находилась пределах от 40,3 (контроль) до 45,3–48,6,0 г (NPK). Следует отметить, что в среднем за два года различия между вариантами с сульфатом аммония и фосфогипсом, внесенных в аналогичных по сере дозах, были статистически не значимы (табл. 2).

Урожайность маслосемян рапса ярового на легкосуглинистой почве в варианте без внесения серы (вар. 2) в среднем за годы исследований составляла 16,4 ц/га (табл. 4). Внесение серы в дозах 91 и 114 кг/га в виде сульфата аммония и фосфогипса (вар. 3–7) приводило к тенденции или достоверному увеличению урожайности семян рапса на 1,5–3,3 ц/га, по отношению к варианту без ее применения, при этом внесение серы с фосфогипсом в дозах S_{91-114} по эффективности было равноценным действию сульфата аммония, вносимого в эквивалентных дозах серы. Различия в урожайности (0,4–0,9 ц/га) находились в пределах наименьшей существенной разницы ($НСР_{0,5} = 1,65$ ц/га) (табл.3).

Таблица 3

Урожайность семян ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района, 2022–2023 гг.

Варианты	Внесено серы, кг/га	Урожайность зерна, ц/га (8 % влажности)			Прибавка от серы, ц/га
		2022	2023	среднее	
1. Контроль без удобрений	–	13,1	8,4	10,8	–
2. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ (базовый)	–	17,7	15,0	16,4	–
3. Naa ₈₀ (S ₉₁)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀	91	18,2	17,5	17,9	1,5
4. Naa ₁₀₀ (S ₁₁₄)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀	114	19,0	19,3	19,2	2,8
5. Naa ₁₀₀ (S ₁₁₄)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + В (40 г/га) и Мп (50 г/га) в стадию бутонизации	114	19,7	18,8	19,3	2,9
6. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + фосфогипс (S ₉₁)	91	19,1	18,4	18,8	2,4
7. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + фосфогипс(S ₁₁₄)	114	20,3	19,0	19,7	3,3
НСР _{0,5}		1,29	1,94	1,65	–

Влияние фосфогипса и сульфата аммония на качество урожая ярового рапса приведено в таблице 4. Так, в благоприятном 2022 г. внесение серы с сульфатом аммония в дозах 91 и 114 кг/га повышало масличность семян рапса на 0,7–1,0 %. Внесение серы с фосфогипсом в эквивалентных дозах обеспечивало лишь тенденцию увеличения масличности семян. В среднем за два года исследований сульфат аммония повысил масличность семян с 43,6 до 44,3–44,6 % (на 0,7–1,0 %), фосфогипс – до 43,9–44,5 % (0,3–0,9 %) (табл.4).

Таблица 4

Влияние серосодержащих удобрений на качество семян ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района, 2022–2023 гг.

Вариант	Масличность семян, %				Масса 1000 зерен, грамм			
	2022	2023	среднее	± к базовому	2022	2023	среднее	± к базовому
1. Контроль без удобрений	46,8	42,8	44,8	–	5,80	4,61	5,21	–
2. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ (базовый)	46,5	40,6	43,6	–	5,40	4,62	5,01	–
3. Naa ₈₀ (S ₉₁)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀	47,2	41,9	44,6	1,0	5,43	4,90	5,17	0,16
4. Naa ₁₀₀ (S ₁₁₄)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀	47,5	41,0	44,3	0,7	5,53	4,79	5,16	0,15
5. Naa ₁₀₀ (S ₁₁₄)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + В (40 г/га) и Мп (50 г/га) в стадию бутонизации	47,6	40,9	44,3	0,6	5,80	4,92	5,36	0,35
6. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + фосфогипс (S ₉₁)	47,0	42,0	44,5	0,9	5,40	5,06	5,23	0,22
7. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + фосфогипс(S ₁₁₄)	46,6	41,1	43,9	0,3	5,65	4,74	5,20	0,19
НСР _{0,5}	0,60	2,40	1,75	–	0,33	0,28	0,31	–

Масса 1000 семян ярового рапса на контрольном варианте в 2022 г. составляла 5,80 г. Внесение удобрений снижало этот показатель на 0,15–0,40 г. При этом внесение серосодержащих удобрений приводило к тенденции повышения массы 1000 семян на 0,03–0,25 г по отношению к варианту, где сера не вносилась. В 2023 г. наблюдалась тенденция или достоверное повышение массы семян (0,12–0,44 г) и в среднем за два года серосодержащие удобрения повысили массу 1000 семян на 0,15–0,22 г при $HCP_{0,5} = 0,31$ (табл. 4).

Содержание элементов питания в семенах рапса ярового, в первую очередь, азота изменялось при внесении NPK и серосодержащих удобрений. Содержание общего азота в варианте без удобрений составляло в среднем за 2 года 1,61 % и возрастало в вариантах с удобрениями до 1,99–2,10 %. Серосодержащие удобрения обеспечивали тенденцию или достоверное увеличение (на 0,03–0,20 %) содержания общего азота в сравнении с вариантом без серы. Следует отметить, что фосфогипс в дозе S_{114} достоверно увеличил содержание общего азота относительно варианта с сульфатом аммония на 0,17 %. В 2023 г. влияние серосодержащих удобрений на содержание азота прослеживалось в меньшей степени, отмечена лишь тенденция его увеличения. В среднем за два года содержания азота повышалось от 1,99 % до 2,00–2,10 % – на 0,01–0,11 % при $HCP_{0,5} = 0,14$ (табл. 5).

Содержание фосфора изменялось от 1,90 % на контроле до 1,85–2,00 % без значимых различий между вариантами. Другие показатели химического состава семян рапса ярового при внесении удобрений изменялись в следующих пределах: содержание калия – от 1,01 % до 1,14 %, кальция – от 0,35 до 0,41 % (с увеличением от серосодержащих удобрений на 0,03–0,06 %) и магния – от 0,34 до 0,42 % (табл. 5).

Содержание протеина в варианте без удобрений было минимальным – 10,1 %, и достоверно увеличивалось в удобренных вариантах – до 12,4–13,1 %. Внесение в опыте эквивалентных доз серы с фосфогипсом и сульфатом аммония показало равное их влияние на содержание протеина в семенах рапса, разница в 0,4–0,5 % находилась на уровне тенденции (табл. 5).

Таблица 5

Влияние фосфогипса на содержание элементов питания и протеина в семенах рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в ОАО «Гастелловское» Минского района, 2022–2023 гг.

Варианты	Содержание, % на сухое вещество					
	N общ.	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Протеин
1. Контроль без удобрений	1,61	1,90	1,01	0,36	0,34	10,1
2. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ (базовый)	1,99	2,00	1,11	0,35	0,41	12,4
3. Naa ₈₀ (S ₉₁)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀	2,00	1,93	1,12	0,38	0,38	12,5
4. Naa ₁₀₀ (S ₁₁₄)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀	2,03	1,88	1,10	0,38	0,38	12,7
5. Naa ₁₀₀ (S ₁₁₄)P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + В (40 г/га) и Мп (50 г/га) в стадию бутонизации	2,06	1,85	1,06	0,62	0,40	12,8
6. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + фосфогипс (S ₉₁)	2,08	1,94	1,11	0,38	0,38	13,0
7. N ₁₀₀ P ₆₀ K ₁₁₀ + N ₄₀ + фосфогипс(S ₁₁₄)	2,10	1,95	1,14	0,41	0,42	13,1
HCP _{0,5}	0,14	0,12	0,08	0,027	0,024	0,83

На дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве фосфогипс вносился под первую культуру звена севооборота (картофель, 2022 г.), а первый год последствия изучался на яровом тритикале (2023) (табл. 7, 9). Схема включала три системы удобрения – минеральную, органическую и органоминеральную с различными формами серосодержащих удобрений (сульфат аммония, сульфоаммофос экстра (17-17-0-16S-CaO) и фосфогипс). Дозы серы вносимые под картофель с удобрениями составили S_{78} и S_{91} кг/га д. в.

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность картофеля на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве приведено в таблице 6. В условиях 2022 г. в зависимости от систем и форм применяемых удобрений, сформировался достаточно высокий урожай клубней: в варианте без удобрений получено 165 ц/га клубней, на минеральной системе удобрения – 189–256 ц/га, на органической – 184–213 ц/га, на органоминеральной – 251–266 ц/га.

Внесение серы в дозе 71 кг/га д. в. с сульфоаммофосом на минеральной системе удобрения, повышало урожай клубней картофеля до 250 ц/га – на 18 ц/га. Применение фосфогипса в такой же дозе (S_{71}) обеспечивало урожайность клубней картофеля в размере 256 ц/га, что свидетельствует об одинаковой эффективности с сульфоаммофосом (табл. 6).

Таблица 6

Влияние серосодержащих удобрений на урожайность клубней картофеля на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района, 2022 г.

Варианты	Урожайность клубней	Прибавка, ц/га	
		к контролю	к NPK ст (вар.3)
1. Контроль без удобрений	165	–	–
Минеральная система удобрения			
2. $N_{20}P_{75}K_{140}$ (базовый)	189	24	–
3. $N_{100}P_{75}K_{140}$ ст	232	67	–
4. $N_{100}P_{75}$ (сульфоаммофос) (S_{71}) + K_{140}	250	85	18
5. $N_{100}P_{75}K_{140}$ ст + фосфогипс (S_{71})	256	91	24
Органическая система удобрения			
6. OY_1 (12 т/га)*	199	34	–
7. OY_1 (12 т/га) + фосфогипс (S_{71})	213	48	14
8. OY_2 (16 т/га)	184	19	–
9. OY_2 (16 т/га) + фосфогипс (S_{71})	200	35	16
Органоминеральная система удобрения			
10. $OY_1 + N_{100}P_{75}K_{140} + \text{фосфогипс}(S_{80})$	260	95	28
11. $OY_1 + N_{100}P_{75}K_{140} + \text{фосфогипс}(S_{91})$	266	101	34
12. $OY_1 + Naa_{80}(S_{91}) + N_{20} + P_{75}K_{140}$	258	93	26
13. $OY_2 + N_{100}P_{75}K_{140} + \text{фосфогипс}(S_{91})$	251	86	19
14. $OY_2 + Naa_{80}(S_{91}) + N_{20} + P_{75}K_{140}$	252	87	20
$HCP_{0,5}$	16,9	–	–

* среднегодовая доза органических удобрений (OY) в пятипольном севообороте.

Фосфогипс, применяемый на органической системе удобрения в дозе S_{71} , повышал урожайность клубней на 14–16 ц/га ($НСР_{0,5} = 16,9$ ц/га).

Внесение фосфогипса (S_{91}) на органоминеральной системе удобрения обеспечило получение урожайности клубней от 251 до 266 ц/га, что равноценно вариантам с сульфатом аммония в эквивалентной дозе (S_{91}) – 252–258 ц/га. Внесение дозы S_{80} в форме фосфогипса (вар. 10) обеспечило урожай на уровне S_{91} – 260 ц/га клубней (табл. 6).

Качество клубней картофеля оценивалось по содержанию крахмала, нитратов, протеина, товарности клубней (табл.7), а также по содержанию основных элементов питания.

Таблица 7

Влияние серосодержащих удобрений на качество клубней картофеля на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района, 2022 г.

Вариант	Крахмал, %	Товарность, %	Нитраты, мг/кг
1. Контроль без удобрений	15,3	78,5	28,6
Минеральная система удобрения			
2. $N_{20}P_{75}K_{140}$	15,3	90,3	53,2
3. $Nm_{100}P_{75}K_{140}$ ст – базовый	15,0	88,5	93,0
4. $N_{100}P_{75}$ (сульфоаммофос) (S_{71}) + K_{140}	15,3	89,7	46,3
5. $Nm_{100}P_{75}K_{140}$ ст + фосфогипс (S_{71})	15,6	89,3	59,7
Органическая система удобрения			
6. OY_1 (12 т/га)	15,0	78,7	106,0
7. OY_1 (12 т/га) + фосфогипс (S_{71})	15,6	88,7	70,1
8. OY_2 (16 т/га)	15,3	79,4	129,5
9. OY_2 (16 т/га) + фосфогипс (S_{71})	15,8	85,0	109,0
Органоминеральная система удобрения			
10. OY_1 + $Nm_{100}P_{75}K_{140}$ + фосфогипс(S_{80})	15,3	89,2	70,7
11. OY_1 + $Nm_{100}P_{75}K_{140}$ + фосфогипс (S_{91})	14,6	92,1	57,0
12. OY_1 + Naa_{80} (S_{91}) + Nm_{20} + $P_{75}K_{140}$	13,8	92,5	80,3
13. OY_2 + $Nm_{100}P_{75}K_{140}$ + фосфогипс (S_{91})	15,4	90,5	67,0
14. OY_2 + Naa_{80} (S_{91}) + Nm_{20} + $P_{75}K_{140}$	14,9	92,0	70,1
$НСР_{0,5}$	0,58	3,2	–
ПДК	–	–	150

Содержание крахмала в зависимости от вариантов опыта изменялось от 13,8 до 15,8 %. На минеральной системе удобрения разные формы серосодержащих удобрений способствовали тенденции или достоверному увеличению содержания крахмала в клубнях картофеля (0,3–0,6 %), без существенных различий между вариантами с сульфоаммофосом и фосфогипсом. На органической системе удобрений (вар. 6–9) фосфогипс обеспечивал тенденцию или достоверное увеличение содержания крахмала – 0,5–0,6 %. На органоминеральной системе внесение фосфогипса (S_{80} и S_{91}) повышало содержания крахмала в клубнях в сравнении с сульфатом аммония (табл. 7).

Товарность клубней на контроле составляла 78,5 %, в удобренных вариантах – от 78,7 до 92,5 %. Внесение серы в форме фосфогипса не оказывало существенного влияния на изменение товарности клубней относительно сульфоаммофоса (вар. 4–5) или сульфата аммония (вар. 10–14) в эквивалентных по сере дозах. Применение фосфогипса (S_{71}) на органической системе удобрений способствовало увеличению товарности клубней на 5,6–10,0 % (85,0–88,7 %).

Содержание нитратов изменялось от 28,6 мг/кг в контрольном варианте до 53,2–129,5 мг/кг в вариантах с удобрениями и не превышало ПДК (ПДК = 150 мг/кг сырой массы клубней) (табл. 7).

Исследования по изучению последствий серосодержащих удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур немногочисленны [21]. В условиях республики рекомендовалось проведение кратковременных опытов с предварительным анализом содержания подвижной (сульфатной) серы в почве, а данные по последствию фосфогипса практически отсутствуют [22].

Последствие фосфогипса (первый год) изучалось в 2023 г. в опыте с яровой тритикале, где фосфогипс вносился под предшествующую культуру (картофель). Урожайность яровой тритикале была достаточно высокой для дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почв: на контроле без удобрений получено 28,4 ц/га зерна, на фоне NPK – 42,4–45,1 ц/га. В первый год последствия не отмечено существенного влияния фосфогипса на урожайность зерна яровой тритикале, прослеживалась лишь тенденция ее увеличения: на 2,7 ц/га – на минеральной системе, на органической – 2,8–2,9 ц/га и 1,9–2,3 ц/га – на органоминеральной системе удобрения при $НСР_{0,5}$ – 3,29 ц/га (табл. 8).

Таблица 8

Влияние последствий фосфогипса (1-й год) на урожайность зерна яровой тритикале на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, 2023 г.

Варианты	Урожайность зерна, ц/га (14 % влажности)	± к базовому
1. Контроль без удобрений	28,4	–
Минеральная система удобрения		
2. $N_{90}P_{60}K_{110}$ ст. – базовый	42,4	–
3. $N_{90}P_{60}K_{110}$ ст. (фосфогипс (S_{71}))	45,1	2,7
Органическая система удобрения (ЗУ)		
4. OY_1 (12 т/га)*	29,4	–
5. OY_1 (12 т/га) (фосфогипс (S_{71}))	32,3	2,9
6. OY_2 (16 т/га)*	29,8	–
7. OY_2 (16 т/га) (фосфогипс (S_{71}))	32,6	2,8
Органоминеральная система удобрения		
8. $OY_1 N_{90}P_{60}K_{110}$ (фосфогипс (S_{80}))	44,3	1,9
9. $OY_1 N_{90}P_{60}K_{110}$ (фосфогипс (S_{91}))	44,7	2,3
10. $OY_1 N_{90}P_{60}K_{110}$ (сульфат аммония (S_{91}))	42,9	0,5
$НСР_{05}$		3,29

* 12 и 16 т/га – среднегодовая доза в пятипольном севообороте

Полученные данные свидетельствуют о необходимости ежегодного внесения серосодержащих удобрений под яровые зерновые, а также под другие сельскохозяйственные культуры на почвах с низким содержанием подвижной серы. В рекомендациях латвийских ученых отмечалось, что серосодержащие удобрения достаточно вносить один раз в 2–3 года [22].

Исследования показали, что фосфогипс в первый год последействия оказывает определенное влияние на качество зерна яровой тритикале. В большей степени это заметно на органической системе удобрения. Так, содержание протеина в зерне тритикале на органической системе удобрений без внесения серы находилось на уровне 11,1–12,5 % (вар.4, 6), на фоне последействия фосфогипса (S_{71}) – 14,5–16,2 % (вар.5, 7), что свидетельствует о благоприятном его влиянии на потребление азота растениями (табл. 9).

На минеральной системе удобрения ($N_{90}P_{60}K_{110}$) последействие фосфогипса отмечается в виде слабовыраженной тенденции увеличения содержания протеина от 17,9 до 18,7 % ($НСР_{0,5} = 1,09$). При органоминеральной системе удобрения также прослеживалась тенденция или достоверное увеличение содержания протеина от 17,9 % в базовом варианте до 18,3–19,6 % (на 0,4–1,7 %).

Таблица 9

Влияние последействия фосфогипса на качество зерна яровой тритикале, 2023 г.

Варианты	Содержание, %					
	Нобщ.	P_2O_5	K_2O	Ca	Mg	Протеин
1. Контроль без удобрений	2,22	0,76	0,79	0,03	0,08	13,9
Минеральная система удобрения						
2. $N_{90}P_{60}K_{110}$ ст.	2,87	0,85	0,79	0,04	0,09	17,9
3. $N_{90}P_{60}K_{110}$ ст. (фосфогипс (S_{71}))	3,00	0,63	1,04	0,04	0,09	18,7
Органическая система удобрения (ЗУ)						
4. OY_1 (60 т/га)*	1,78	0,90	0,75	0,02	0,09	11,1
5. OY_1 (60 т/га) (фосфогипс (S_{71}))	2,32	0,75	0,76	0,03	0,08	14,5
6. OY_2 (80 т/га)*	2,00	0,75	0,70	0,03	0,07	12,5
7. OY_2 (80 т/га) (фосфогипс (S_{71}))	2,60	0,73	0,89	0,04	0,07	16,2
Органоминеральная система удобрения						
8. $OY_1 N_{90}P_{60}K_{110}$ (фосфогипс (S_{80}))	3,09	0,99	1,16	0,05	0,12	19,3
9. $OY_1 N_{90}P_{60}K_{110}$ (фосфогипс (S_{91}))	2,92	0,71	0,88	0,04	0,08	18,3
10. $OY_1 N_{90}P_{60}K_{110}$ (сульфат аммония (S_{91}))	3,14	0,89	1,05	0,05	0,10	19,6
$НСР_{0,5}$	0,17	0,05	0,06	0,003	0,01	1,09

* среднегодовая доза в пятипольном севообороте

Таким образом, последействие фосфогипса на качество зерна яровой тритикале значительно прослеживалось на органической системе без внесения NPK. При минеральной и органоминеральной системе удобрения наблюдалась лишь тенденция увеличения урожайности и содержания протеина в зерне тритикале, что указывает на необходимость ежегодного внесения серосодержащих удобрений, в том числе и фосфогипса (S_{70} – S_{90}) под зерновые культуры на почвах с низким содержанием серы.

ВЫВОДЫ

В ходе исследований на дерново-подзолистой легкосуглинистой и рыхлосупесчаной почвах установлено, что применение фосфогипса в качестве серосодержащего удобрения в технологии возделывания сельскохозяйственных культур (озимой пшеницы, рапса, картофеля и яровой тритикале) на низкообеспеченных серой почвах (3–6 мг/кг) оказывало равнозначное с сульфатом аммония влияние на урожайность и качество полученной продукции:

– доза серы 69 и 80 кг/га под озимую пшеницу в форме фосфогипса и сульфата аммония обеспечила на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве увеличение урожайности зерна от 65,9–68,2 ц/га (базовые без серы) до 68,8–73,0 ц/га, с тенденцией улучшения качества зерна по содержанию протеина и клейковины. Увеличение дозы серы до 114,6 кг/га, внесенной в два приема (69 + 45,6), обеспечило достоверную прибавку зерна (5,8–6,2 ц/га) с увеличением содержания протеина от 12,8 до 13,3–13,9 ц/га, клейковины – от 24,0 до 24,8–26,3 % и тенденцией увеличения массы 1000 зерен от 45,6 до 46,9–48,6 г, при несущественных различиях между формами серосодержащих удобрений;

– внесение фосфогипса под рапс яровой в дозе S_{91} и S_{115} при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве обеспечивало одинаковую с сульфатом аммония урожайность (18,8–19,7 и 17,5–19,3 ц/га) с равноценными показателями качества маслосемян (содержание масла – 44,3–44,6 и 43,9–44,3 %, масса 1000 семян – 5,20–5,23 и 5,16–5,17 г). Доза $S_{114,6}$ применяемых серосодержащих удобрений не имела преимуществ перед дозой S_{91} ;

– фосфогипс, внесенный под картофель (S_{71}), обеспечивал на минеральной системе удобрения получение равных с сульфаммофосом прибавок урожайности клубней (18–24 ц/га.). Прибавки от внесения доз S_{91} и S_{80} в форме фосфогипса и сульфата аммония на органоминеральной системе удобрения также находились в близких пределах – от 19 до 34 ц/га клубней;

– последствие фосфогипса (S_{71} – S_{91}) на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве обеспечило тенденцию увеличения урожайности ярового тритикале (от 1,9 до 2,9 ц/га) и улучшения показателей качества зерна.

Следует отметить, что эффективность высоких доз серы зависит не только от степени отзывчивости культур, но также и от уровня урожайности. Так, на озимой пшенице с высоким уровнем урожайности (65,9–73,0 ц/га) из применяемых доз (S_{69} , S_{80} и $S_{114,6}$) более эффективной дозой была $S_{114,6}$. При невысоком уровне урожайности рапса, более требовательного к сере по сравнению с пшеницей, дозы S_{91} и $S_{114,6}$ были равноценны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богдевич, И. М. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур: сборник научных трудов / И. М. Богдевич, Т. М. Германович // Почвоведение и агрохимия. – 1998. – Вып. 30. – С. 141–146.
2. Применение новых форм жидких азотно-серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.] // Институт почвоведения и агрохимии; Светлогорскхимволокно. – Минск, 2012. – 31 с.
4. Богдевич, И. М. Динамика обеспеченности магнием и серой пахотных почв

Беларуси и отзывчивость гороха на магний и серосодержащие удобрения / И. М. Богдевич, Ю. В. Путятин, И. С. Станилевич // Плодородие почв и эффективное применение удобрений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 22–25 июня 2021 г., в 2 ч. / НАН Беларуси, Институт почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК Беларуси, 2021. – Ч. 2. – С. 18–22.

5. Полторацнев, М. С. Эффективность азотного серосодержащего удобрения NS 30:7 при возделывании ярового рапса в Северной Европе / М. С. Полторацнев, Т. В. Гребенникова // Земледелие. – 2015. – № 8. – С. 37–38.

6. Гилязов, М. Ю. Вариабельность химического состава урожая яровой пшеницы в зависимости от серосодержащих удобрений и погодных условий / М. Ю. Гилязов, И. Р. Сулейманов, И. М. Надршин // ФГБОУ ДПОС «Татарский институт переподготовки кадров агробизнеса». – Казань, 2015. – Вып. 9: Проблемы развития аграрного сектора в условиях экономических санкций, импортозамещения: вопросы стратегии и тактики. – С. 360–366.

7. Богдевич, И. М. Урожайность и качество зерна гороха в зависимости от условий минерального питания магнием и серой на дерново-подзолистых суглинистых почвах / И. М. Богдевич, И. С. Станилевич, Ю. В. Путятин // Почвоведение и агрохимия. – 2021. – № 1(66). – С. 91–105.

8. Докшин, Я. В. Влияние хлор- и магний-серосодержащих удобрений на продуктивность картофеля / Я. В. Докшин // Агрэколагічныя асновы прымянення ўдобраў у савярэньным зямледэліі: матэрыялы 48-й Міждунар. науч. конф. моладых учыных, спецыялістаў-агрэхімікаў і экалягоў, Москва, 24 апр. 2014 г. / Фэдеральнае агеьтства навучных арганізацыяў, Вьсеросыйскі навучна-ісьсьледавальскі інстытут агрэхіміі ім. Д. Н. Прынішнікова. – Москва, 2014. – С. 69–72.

9. Применение серосодержащих удобрений под сахарную свеклу / В. П. Курганский [и др.] // Состояние и пути развития производства сахарной свеклы в Республике Беларусь: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск, 2003. – С. 110–115.

10. Захарова, Д. Продуктивность и показатели качества зерна яровой пшеницы в зависимости от предпосевной обработки семян серосодержащими соединениями / Д. Захарова, В. Смывалов // Главный агроном. – 2016. – № 9. – С. 14–17.

11. Диапазон оптимального уровня содержания обменного магния в дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах и эффективность серосодержащих удобрений при возделывании кукурузы / О. М. Таврыкина [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2014. – № 1(52). – С. 268–278.

12. Курганская, С. Д. Влияние микроэлементов и серы на рост и развитие растений ярового рапса / С. Д. Курганская, С. П. Кукреш // Приемы повышения плодородия почв, эффективности удобрений и средств защиты растений: материалы Международной научно-практической конференции. – Горки, 2003. – Ч. 2. – С. 179–181.

13. Мишук, О. Л. Влияние магния и серы на урожайность и качество семян ярового рапса на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.04. Агрохимия / О. Л. Мишук // НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию, РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 21 с.

14. Степура, М. Ф. Влияние видов и доз удобрений на вынос и баланс элементов питания капусты белокочанной / М. Ф. Степура, Т. В. Матюк, И. П. Добровольская // Овощеводство: сб. науч. тр. / Национальная академия наук Беларуси, РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству», РУП «Институт овощеводства». – Минск, 2008. – Т. 13. – С. 208–212.

15. Сенько, А. С. Методические подходы к расчету и картированию критических нагрузок азота и серы на экосистемы Беларуси / А. С. Сенько, Н. А. Лысухо, В. С. Зубрицкий // Природные ресурсы: межведомственный бюллетень. – 2004. – № 4. – С. 83–92.

16. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.]; Ин-т почвоведения и агрохимии; под ред. В. В. Лапа. – 2-е изд. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 260 с.

17. Методические указания по проведению регистрационных испытаний макро-, микроудобрений и регуляторов роста растений в посевах сельскохозяйственных культур в Республике Беларусь / В. В. Лапа [и др.]; РУП «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 2008. – 36 с.

18. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 6-е изд. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.

19. Современные ресурсосберегающие технологии производства растениеводческой продукции в Беларуси: сб. науч. мат. / НПЦ НАН Беларуси по земледелию – Минск: ИВЦ Минфина, 2007. – 448 с.

20. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных, комовых и технических растений: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, Науч. практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; под общ. ред. В. Г. Гусакова, Ф. И. Привалова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2022. – 531 с.

20. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь. – Минск: Промкомплекс, 2020. – 742 с.

21. Применение серных удобрений: рекомендации / Управление НТИ МСХ Латвийской ССР. – Рига, 1980. – 11с.

22. Применение серосодержащих удобрений на дерново-подзолистых почвах Белоруссии: рекомендации. – Минск: Ураджай, 1988. – 17 с.

IMPACT AND AFTEREFFECT OF PHOSPHOGIPS ON THE YIELD AND QUALITY OF AGRICULTURAL CROPS

**V. I. Saroka, G. V. Piragouskaya, S. S.Khmelevskij,
A. S. Lemeshevskaya, T. V.Garbuzova, I. N. Nekrasova, D. G. Perekhod**

Summary

The article presents the data on the influence of various forms of sulfur-containing mineral fertilizers (phosphogips. Sulphurammophos, ammonium sulphate) on productivity and grain quality of winter wheat. And spring rape, potato tubers and spring triticale (seeds) growing on podzoluvisol loamy sand soil. And sod-podzolic light loamy soil. Impact and aftereffect of phosphogips were established (found).

Поступила 21.05.24