

14. Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., et al. «Climate-smart agriculture for food security», *Nat. Clim. Change* 4, 1068–1072, 2014. doi: 10.1038/nclimate2437.
15. Litaladio, N., and Castaldi, L. «Potato: the hidden treasure», *J. Food Compos. Anal.* 22, 491–493, 2009. doi: 10.1016/j.jfca.2009.05.002.
16. Nemecek, T., Weiler, K., Plassmann, K., Schnetzer, J., Gaillard, G., Jefferies, D., et al. «Estimation of the variability in global warming potential of worldwide crop production using a modular extrapolation approach», *J. Clean. Prod.* 31, 106–117, 2012. doi: 10.1016/j.jclepro.2012.03.005.
17. Пакудин В.З., Лопатина Л.М. Оценка экологической пластичности и устойчивости сортов сельскохозяйственных культур // *Агробиология*. – 1984. – № 4. – С. 109–112.
18. Розова М.А., Янченко В.И., Мельник В.М. Экологическая пластичность яровой твердой пшеницы в условиях Алтайя. – Барнаул, 2010.
19. Tai G.C. «Genotypic stability analysis and its application to potato regional trials» *Crop Sci.*, V. 11, № 2, pp.184–190, 1971.
20. Timlin, D., Rahman, S. M. L., Baker, J., Reddy, V. R., Fleisher, D., and Quebedeaux, B. «Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature» *Agron. J.* 98, 1195–1203, 2006. doi: 10.2134/agronj2005.0260.
21. Удачин Р.А., Головченко А.П. Методика оценки экологической пластичности сортов пшеницы // *Селекция и семеноводство*. – 1990. – № 5. – С. 2–6.
22. Wolf, S., Marani, A., and Rudich, J. «Effects of temperature and photoperiod on assimilate partitioning in potato plants» *Ann. Bot.* 66, 513–520, 1990. doi: 10.1093/oxfordjournals.aob.a088060.
22. Жученко А.А. Адаптационный потенциал культурных растений (экологические и генетические основы). – Кишинев, 1988.

ECOLOGICAL ADAPTABILITY OF EARLY-RIPENING POTATO VARIETIES IN RUSSIA

V.G. Sychev, *ak. RAS*, I.N. Gasparyan, N.F. Deniskina, O.N. Ivashova

FGFNU VNIIA named after D.N.Pryanishnikov, FGBOU IN RGAU-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

In changing climate conditions, potato cultivation is very important not only from the point of view of providing agricultural products, but also a crop with relatively low carbon dioxide emissions into the atmosphere. Moreover, with an increase in the amount of active temperatures in Russia, it is possible to obtain two harvests of early varieties. The study of varieties with adaptive properties, plasticity and stability is very important. The use of resistant varieties to adverse environmental conditions will increase production efficiency. The studies were carried out in different regions (Moscow and Belgorod regions) using standard technology. Early varieties for the first and second plantings were studied: Meteor, Zhukovsky early, Luck, Bullfinch, Red Scarlet, Riviera. Among the studied varieties, genotypes capable of minimizing the effects of environmental changes due to various genetic mechanisms have been found. At the first planting, the Riviera variety showed the lowest value of variation (14.5) and high homeostaticity (18.2). During the second planting, the Luck variety turned out to be the most resistant to changes in external conditions ($V = 16.3\%$; $Hom = 24.0$). These varieties are the most adapted, and their cultivation will minimize risks and get guaranteed yields.

Keywords: potato, yield, plasticity, stability, adaptability.

УДК 631.4:631.811.7

DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.21

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ СЕРЫ И ПОТРЕБНОСТЬ В СЕРОСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЯХ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ РОССИИ

Н.И. Аканова¹, д.б.н., Т.В. Гребенникова², М.М. Визирская², к.б.н.

¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова»
г. Москва, ул. Прянишникова, 31 А, e-mail: N_Akanova@mail.ru

²ООО «ЕвроХим Трейдинг Рус», г. Москва, e-mail: tatyana.grebennikova@eurochem.ru
e-mail: mariya.vizirskaya@eurochem.ru

Показано, что при разработке системы удобрения для отдельных сельскохозяйственных культур необходимо учитывать условия питания растений серой. Рассмотрены вопросы влияния серосодержащих удобрений на урожай и качество продукции сельскохозяйственных культур в зависимости от содержания серы в почве, типа и разновидности почвы, биологических особенностей выращиваемой культуры. Приведены градации почв по содержанию серы. Установлено, что дефицит серы наблюдается на почвах с низким содержанием гумуса, наибольшее количество серы находится в черноземах, темно-серых лесных почвах. Почвенным мониторингом агрохимической службы МСХ РФ выявлено, что более 89% обследованных пахотных угодий не в полной мере обеспечены подвижной серой. Средневзвешенный показатель содержания серы в почвах близок к минимальному – 6,4 мг/кг, а в ряде регионов достигает 1,5 мг/кг.

Ключевые слова: плодородие, сера, урожайность, баланс серы, серосодержащие удобрения, фосфогипс.

Для цитирования: Аканова Н.И., Гребенникова Т.В., Визирская М.М. Агроэкологическое значение серы и потребность в серосодержащих удобрениях в земледелии России // *Плодородие*. – 2022. – №4. – С. 83–87. DOI: 10.25680/S19948603.2022.127.21.

Основной задачей отечественного сельскохозяйственного производства в современных условиях остаётся повышение продуктивности сельскохозяйственных культур для обеспечения продовольственной безопас-

ности страны. Решение поставленной задачи тесно связано с рациональным применением минеральных удобрений и химических мелиорантов в технологиях, обес-

печивающих их высокую агроэкономическую эффективность и экологическую безопасность [1].

Многолетними отечественными и зарубежными научными исследованиями и практикой земледелия доказано, что обеспеченность почв подвижной серой (S) в целом в земледелии страны существенно ниже, чем основными макроэлементами (NPK). Это может быть существенным фактором, снижающим эффективность удобрений и продуктивность агроценозов. В связи с этим следует уделить особое внимание определению потребности серы в оптимизационном регулировании её содержания в системе удобрения и, в конечном счете, в пахотных почвах [2-6]. Известно, что несоблюдение принципа оптимизации по любому элементу питания ведёт к возникновению обратных связей: снижению урожая и его качества, окупаемости применяемых удобрений, нарушению экологического состояния.

Рассмотрим ежегодную потребность земледелия в серосодержащих удобрениях по двум сценариям – для почв с низким и средним содержанием элемента и для почв только с низкой обеспеченностью [4, 7]. Предложенная градация позволяет определить очередность применения серосодержащих удобрений: минимальные величины учитываются на ближайшую (5-8 лет), более высокие – на отдалённую перспективу.

Ежегодная потребность земледелия РФ в серосодержащих удобрениях приведена ниже.

Обеспеченность почв серой	S, тыс. т
Для агроценозов сельскохозяйственных культур: на почвах с низким и средним содержанием серы	4473,7
на почвах только с низким содержанием серы	2844,3

Содержание подвижной серы в почвах – существенный признак их плодородия. Результаты сплошного и локального мониторинга почв агрохимической службы МСХ РФ свидетельствуют, что содержание серы характеризуется как низкое, средневзвешенный показатель в целом по стране составляет 6,4 мг/кг. Такое положение требует практически повсеместного применения серосодержащих удобрений. Проведенные балансовые расчеты ВНИИА установили дефицит серы в пахотных почвах, а в ряде субъектов РФ выявлены отрицательные показатели. Таким образом, только на ближайшую перспективу для почв с низким содержанием серы ежегодно потребуется 2,8 млн т д.в. серосодержащих удобрений [7, 8].

Фундаментальными исследованиями установлено, что по физиологическому значению в жизни растений сера занимает третье место после азота и фосфора. Среди её важнейших функций в белках – участие в стабилизации трехмерной их структуры и образование связей с кофакторами и простетическими группами [9-10].

Схематично механизм образования доступной серы в почве можно представить следующим образом: на 1-м этапе за счет солнечного света под воздействием фотохимических реакций происходит деструкция гумусовых веществ почвы, на 2-м – за счет протекания микробиологических процессов сера окисляется до сульфатов. При благоприятных почвенных условиях в течение 13-15 дней элементарная сера на 61% переходит в доступную для растений форму [9].

Имеющиеся в литературе многочисленные данные свидетельствуют о высокой агроэкологической эффективности серных удобрений. От внесения 200-300 кг/га

(в пересчете на элемент S – 40-60 кг/га) фосфогипса или гипса прибавки урожая составляют (ц/га): на дерново-подзолистых почвах сена клевера и люцерны 7-23, зерна ячменя – 1,5-2,5, овса – 1,3, озимой пшеницы – 2-4, брюквы – 25-45, гороха – 1,5-2,5; на серых лесных почвах зерна овса – 2,5-3,0, сена люцерны – 5-10, зелёной массы кукурузы – 70-75, клубней картофеля – 30-35; на чернозёмах – зерна озимой пшеницы – 2,5-4,0, овса – 2,5-4,0, ячменя – 1,5-2,5, гороха – 2,0-2,5. Эффективность серных удобрений на дерново-подзолистых почвах находится в тесной зависимости от формы удобрения. Сульфаты кальция гипса или фосфогипса (ФГ), простого суперфосфата на низкоплодородных почвах эффективнее элементарной серы [6, 11, 12].

Результаты стационарных полевых опытов ВНИИА и почвенного мониторинга агрохимической службы МСХ РФ (табл. 1.) свидетельствуют о высокой эффективности применения фосфогипса, часто превосходящего по действию на урожай элементарную серу. Установлено, что наиболее эффективна смесь, состоящая из 40% фосфогипса – дегидрата и 60% извести (ИМ). При этом наблюдается улучшение качества продукции: увеличение протеина в гороховомсе на 2,6%, сахара в брюкве на 0,9%.

1. Эффективность применения ФГ в смеси с известняковой мукой

Культура	Урожай на контро- ле, ц/га з.е.	Урожай и прибавки от смесей, ц/га з.е.			
		ФГ: ИМ= 40:60 (доза серы 60 кг/га)		ФГ: ИМ= 50:50 (доза серы 90 кг/га)	
		урожай	прибав- ка	урожай	прибав- ка
Дерново-подзолистые почвы					
Овес	25,4	28,0	2,6	30,4	5,0
Многолетние травы	78,5	96,6	22,1	91,5	13,0
Горохо-овсяная смесь	181,1	201,0	20,0	198,0	16,9
Озимая пшеница	43,4	48,2	4,8	47,4	4,0
Кукуруза на з.м.	543,0	580,0	37,0	560,0	17,0
Ячмень	28,9	36,0	7,1	37,0	8,1
Брюква	397,0	427,0	30,0	437,0	40,0
Картофель	165,0	192,0	27,0	207,0	42,0
Черноземы выщелоченные					
Сахарная свекла	256,0	287,0	31,0	290,0	34,0
Овес	32,0	34,4	2,8	39,0	7,0
Горох	10,0	11,9	1,9	14,3	4,3
Черноземы типичные					
Озимая пшеница	48,3	51,0	2,7	51,9	3,6

Урожайность озимой пшеницы при применении серосодержащих удобрений, как в элементарной форме, так и с фосфогипсом достигала 45-55 ц/га с содержанием клейковины в зерне 27-37%. Эффективность нейтрализованного фосфогипса объясняется тем, что он обладает хорошими физико-химическими, мелиорирующими свойствами и содержанием большого ряда элементов питания (кремний, кальций, фосфор, сера и микроэлементы) [13].

Применение серных удобрений, в том числе фосфогипса, сланцевой золы, различных металлургических шлаков и др., в научно обоснованных дозах экологически безопасно. Их положительное влияние связано с тем, что сера, поступая преимущественно в состав белковых соединений растений, увеличивает их количество, улучшая качество растениеводческой продукции [14].

Сера в почвах содержится в основном в двух формах: органической (75-90%) и минеральной (10-25%). Среди органических соединений серы выделяют три группы: 1-я – включает органические соединения серы, которые восстанавливаются до H_2S йодистоводородной кислотой. Сера в этих соединениях непосредственно не связана с углеродом и находится в форме органических сульфатов, холинсульфатов, сульфифенолов и сульфатированных полисахаридов. Этими соединениями представлено более 50% серы в составе гумуса большинства типов почв [7].

Ко 2-й группе относятся соединения, которые восстанавливаются до неорганических сульфидов в щелочной среде и представлены в основном серосодержащими аминокислотами – цистином и метионином, в составе которых доля серы составляет 10-20% общего её содержания в гумусе.

К 3-й группе относят соединения, которые не вошли в первые две группы органических соединений серы. В этих соединениях сера непосредственно связана с углеродом, и её содержание достигает 30-40% запаса в гумусе.

В минеральной форме сера содержится в почвах в составе различных минералов и соединений: основные почвенные сульфаты – гипс $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ и ангидрид $CaSO_4$, основные сульфиды – FeS_2 и FeS [10, 11]. Значительное количество сульфатов щелочных металлов и магния содержится в дренированных и засоленных почвах, в болотных почвах преобладают сульфиды и иногда элементарная сера [15].

Количество минеральной серы в почвах пополняется за счёт минерализации органической серы. Интенсивность процесса сульфификации находится в тесной зависимости от биологической активности почв, влажности, кислотности, их воздушного и температурного режимов, а также от соотношения C:S. Существенно ниже интенсивность минерализации органической серы (почти в 2 раза) в сравнении с неорганической и составляет при $t = 20^\circ C$ 1,6-2,7 кг/га серы в неделю [15, 16].

Для оценки обеспеченности почв серой в агрохимической службе МСХ РФ руководствуются группировкой по содержанию сульфатной серы (табл. 2).

2. Группировка почв по содержанию сульфатной серы (в 1н. KCl)

Группа почв	Уровень содержания серы в почве	Содержание серы (S), мг/кг	
		Дерново-подзолистые и серые лесные почвы	Чернозёмы выщелоченные и оподзоленные
1	Низкий	< 6,0	<12,0
2	Средний	6,1-12,0	12,0-20,0
3	Высокий	>12,0	>20,0

Результаты мониторинга почв по содержанию сульфатной серы показывают, что в целом более 35% обследованных площадей пахотных почв остро нуждаются в применении под все культуры серосодержащих удобрений, 42% (средняя обеспеченность почв серой) площади почв требует внесения серосодержащих удобрений под наиболее требовательные к сере культуры. Средневзвешенное содержание подвижной серы в различных типах и разновидностях почв Российской Федерации колеблется от 3,0 до 12,8 мг/кг почвы [7, 9, 15]. Крайне мало подвижной серы (3,0-4,2 мг/кг почвы) в пашне обыкновенных, типичных и карбонатных чернозёмов Воронежской, Курской, Тамбовской, Волгоград-

ской областей, Краснодарском крае и в южных чернозёмах Волгоградской области. Среднее содержание подвижной серы на уровне 6,5-8,5 мг/кг почвы выявлено в дерново-подзолистых почвах Тверской, Калининградской областей, выщелоченных южных чернозёмах и каштановых почвах Пензенской, Белгородской, Ростовской, Волгоградской областей и Ставропольского края. Достаточной обеспеченностью подвижной серой (> 12,0 мг/кг почвы) характеризуются подзолистые почвы Новгородской области, дерново-подзолистые почвы Вологодской и Московской областей, а также солонцеватые почвы Ставропольского края [15, 17].

Таким образом, во многих регионах низкое содержание подвижной серы в почвах может быть ограничивающим фактором эффективности других видов минеральных удобрений и получения стабильных высоких урожаев и хорошего качества сельскохозяйственной продукции.

Серосодержащие удобрения можно получать на базе сульфатов. Минеральные удобрения комбинируют как с элементарной серой, так и с её сульфатными и другими серосодержащими формами. В ассортимент серных удобрений входят суперфосфат, сульфат аммония, сульфаты-нитраты аммония, сульфат калия и магния [16]. Производят также комплексные и жидкие азотные удобрения, содержащие серу. В качестве серосодержащего удобрения можно применять побочный продукт производства фосфорной кислоты – фосфогипс, а также гипс.

Содержание серы в удобрениях, химических мелиорантах приведено ниже.

Серосодержащие соединения	Содержание серы (S), %
Простой суперфосфат $Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O + 2CaSO_4$ (P_2O_5 – 14-20%)	9,0-13,0
Сульфат аммония $-(NH_4)_2SO_4$ (N – 21%)	23,0-24,0
Сульфат калия, K_2SO_4 (K_2O – 46,0%)	17,0-18,4
Сульфат магния, эпсомит, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$	18,8
Аммония сульфат-нитрат (NS, ASN)	24-30
Сульфат натрия, Na_2SO_4	22,5
Каинит, $KCl \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$	13,0
Калимагнезия (шинит), $K_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$	15,0
Цементная калийная пыль	1,0
Аммошенил $-(NH_4)_2SO_4 \cdot MgSO_4 \cdot 6H_2O$	17,8
Гипс, $CaSO_4 \cdot H_2O$	18,0-20,0
Фосфогипс	17,7-22,0
Сланцевая зола	1,6-2,9
Цементная пыль	1,0
Навоз (разный)	0,02-0,06
Торф	0,1-0,3

По данным Географической сети опытов с удобрениями во ВНИИА, на почвах, насыщенных основаниями и на известкованных дерново-подзолистых почвах азот сульфата аммония по эффективности не уступает аммиачной селитре и карбамиду. Наиболее эффективно его внесение под лён, рапс, овощные культуры, картофель, рис, а также на почвах, малообеспеченных серой. Однако, необходимо учитывать, что применение сульфата аммония на кислых дерново-подзолистых почвах без предварительного известкования приводит к их подкислению. Поэтому применение этого удобрения требует на кислых почвах предварительного известкования [9].

Среди серосодержащих удобрений встречаются также медленнодействующие удобрения, капсулирован-

ные серой. В настоящее время выпускаются комплексные удобрения с серой – нитроаммофоска (N-P-K+ S), которая существенно превосходит по эффективности обычную нитрофоску. Проходят испытание жидкие серосодержащие удобрения – тиосульфат аммония (12-0-0-26) и др. Эти удобрения используют при капельном орошении или поливе дождеванием [18].

Элементарная сера очень ограниченно применяется в качестве удобрения, так как она становится доступной для питания растений только после её перевода микроорганизмами в сульфатную форму. На скорость процесса влияют тонина помола, температурный режим и влажность почвы, биологическая активность, тип почвы, содержание других питательных элементов. Однако элементарная сера меньше подвержена вымыванию из пахотного слоя, характеризуется более длительным последствием по сравнению с гипсом и сульфатными формами удобрений [6].

В ближайшей перспективе в Российской Федерации наиболее масштабным, реальным, экологически безопасным, агрономически эффективным и экономически выгодным путём обеспечения почв серой является применение гипса, фосфогипса, сланцевой золы, металлургических шлаков.

В полевых опытах ВНИИХ им. А.Г. Лорха внесение ФГ в среднекислую дерново-подзолистую почву в дозах 0,5-3,0 т/га способствовало увеличению содержания подвижной серы в зависимости от дозы мелиоранта на 11,5-40,0 мг/кг почвы [19]. Использование ФГ в системе удобрения картофеля обеспечило оптимизацию серного режима почв, повышение урожая и улучшение качества клубней (повышение содержания сухого вещества, крахмала, доли товарной продукции).

Рекомендуемые уровни серы в различных типах почв находятся в тесной зависимости от её выноса урожаями сельскохозяйственных культур: высокие дозы серы применяют под крестоцветные и лилейные культуры (90-120 кг/га S), средние – под бобовые и маревые (60-100 кг/га S) и наименьшие дозы – под зерновые и другие злаковые, некоторые технические и овощные культуры (30-60 кг/га). На легких почвах дозы серы должны быть на 20-40 кг/га меньше относительно её доз на тяжёлых почвах [21].

Положительное действие серных удобрений в различных почвенно-климатических условиях проявляется наилучшим образом при достаточном обеспечении растений основными макроэлементами и, главным образом, азотом. Высоким эффектом характеризуются внесение небольшими дозами (10-12 кг/га S) в рядки и некорневая подкормка растений (0,5-2,0 кг/га S) хорошо растворимыми формами серосодержащих удобрений [17].

Наиболее распространенными методами выявления серной недостаточности является растительная диагностика – листовая и тканевая, которая позволяет судить об обеспеченности растений серой в каждый период развития растений [21]. Листовая диагностика более точная, так как метод основан на определении в лабораторных условиях общего содержания серы или сульфатной формы серы в листьях растений. При тканевой диагностике определяют количество неорганических соединений серы в соке или в тканях.

В качестве диагностического показателя степени обеспеченности растений серой можно использовать отношение общего азота к сере, при отношении N:

S=15 в надземной массе растения мало обеспечены серой. Оптимальным для питания растений считается отношение N: S= 17-19: 5-1 [15].

Существует также нормативно расчётный метод потребности серы, базирующийся на учёте химического состава растения и использовании нормативов применения азотных и фосфорных удобрений. Дозы серных удобрений под конкретные культуры в соответствии с этим методом определяют по соотношению серы и азота (S: N), серы и фосфора (S: P) в растениях с использованием планируемых доз азота и фосфора для получения запланированной урожайности [16].

При расчёте баланса серы в почве учитывают: вынос её урожаями основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, потери с инфильтрацией, поступление с химическими мелиорантами, минеральными и органическими удобрениями, атмосферными осадками и поливной водой. Количество серы, выносимое из почвы урожаями культур, зависит от её содержания в растениях и уровня урожайности.

Группы культур по уровню выноса серы урожаями приведены ниже [9].

Культуры	Вынос S, кг/га
1. Крестоцветные: капуста, горчица, турнепс, рапс, брюква, репа, редька, хрен Лилейные: лук, чеснок, спаржа, тюльпан	45-75
2. Бобовые: клевер, люцерна, горох, вика, чечевица, арахис, эспарцет, донник Маревые: свекла	20-35
3. Злаковые: пшеница, рожь, ячмень, просо, овес, рис, кукуруза Злаковые травы: сорго, тимopheевка, лисохвост, костреч и др. Другие культуры: картофель, подсолнечник, морковь, тыква, арбуз, томат	10-15

Содержание серы в растениях обусловлено, прежде всего, их биологическими особенностями. Культуры, относящиеся к семействам крестоцветных и лилейных, выносят с урожаем максимальное количество серы (>100 кг/га), что практически в 5 раз превышает вынос элемента, например, злаковыми (< 18 кг/га). По выносу серы на единицу сухого вещества культуры можно расположить в следующий убывающий ряд: крестоцветные > лилейные > бобовые > маревые > злаковые > подсолнечник > картофель и овощные [22].

При расчете баланса серы его целесообразно разделять на две части: активный (хозяйственный) и пассивный (нерегулируемый). В целом по Российской Федерации, а также по ее субъектам, уровень пассивного баланса превосходит активный, за исключением Северо-Западного и Волго-Вятского районов, в которых активный баланс серы превосходит его пассивную часть: показатели составляют, соответственно, 9,1 и 5,0 кг/га S по сравнению с 5,5 и 1,5 кг/га S. Такие результаты свидетельствуют о целенаправленной работе по повышению плодородия почв с учетом обеспечения растений серой [7].

В приходной части баланса серы учитывается поступление с минеральными, органическими удобрениями, мелиорантами. Растения через листья могут поглощать газообразные сернистые соединения из атмосферы. Поступление серы с атмосферными осадками, достаточно переменное и во времени, и в пространстве, изучено еще недостаточно. Уточнение этой статьи ба-

ланса возможно с учетом и анализом осадков на реперных участках мониторинга агрохимслужбы МСХ РФ. В расчетах баланса серы используют также справочные данные по конкретным субъектам.

Существует мнение, что при расчете баланса серы необходимо учитывать поглощение её растениями из воздуха, которое может достигать от 30 до 80% общего выноса серы урожаями [9, 15]. По рекомендациям ВНИИА [7] предлагается эту статью приходной части баланса серы принять на уровне 50% величины выноса серы урожаями.

Таким образом, для наиболее полной реализации потенциальной продуктивности сельскохозяйственных культур с целью обеспечения продовольственной безопасности страны необходимо целенаправленное использование серосодержащих удобрений. Невосполнение выноса серы с урожаями культур, прогрессирующий дефицит её в почвах неизбежно приведут не только к снижению плодородия почв, в том числе к уменьшению запасов гумуса и подкислению реакции среды, но и к снижению эффективности минеральных удобрений. Это, в конечном счете, будет значительным ограничивающим фактором повышения продуктивности пашни.

Литература

1. Мананникова О.Н., Саяпин А.В., Бурмистрова А.А. Меры по обеспечению продовольственной безопасности России // Среднерусский вестник общественных наук. – 2019. – Т.14. – №3. – С. 193-208.
2. Бекбаев, Р. Мелиоративная эффективность фосфогипса на орошаемых землях бассейна рек Аса-Талас // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – №1. – С. 5-11.
3. Федотова Л. С., Аканова Н.И., Косодуров К.С. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистой почве в севообороте с картофелем // Известия Самарского ГАУ. – 2019. – №2. – С.41-50.
4. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применение удобрений в агроэкосистемах. – М., 2000. – 524 с.
5. Тишков Н. М., Дряхлов А.А., Слюсарев В.Н. Применение серосодержащих удобрений под масличные культуры на чернозёмах выщелоченных // Масличные культуры. Научно-технический бюллетень ВНИИ масличных культур. – 2014. – № 2. – С. 124-130.
6. Миккельсен Р., Нортон Р. Сера в почвах и серосодержащие удобрения // Питание растений. – 2014. – №3. – С. 1-9.
7. Аристархов А.Н. Баланс серы по регионам страны // Химия в сельском хозяйстве. – 1987. – № 9. – С. 41-44.
8. Лукин С.М., Жуйков Д.В. Мониторинг содержания серы в почвах, растениях и органических удобрениях // Земледелие. – 2019. – №2. – С. 10-12.
9. Аристархов А.Н. Агрохимия серы. – М., 2007. – 272 с.
10. Томасон В.Е., Гриффей С.А., Филлипс С.Б. Улучшение хлебопекарных качеств озимой пшеницы за счет применения азотных и серосодержащих удобрений в условиях влажного климата // Питание растений. – 2014. – №3. – С. 13-15.
11. Слюсарев В.Н., Швеиц Т.В., Попова Ю.С. Формы органической серы в бурых лесных почвах низких и средних гор Северо-Западного Кавказа // Труды Кубанского ГАУ. – 2016. – № 62. – С. 105-111.
12. Шеуджен А.Х., Слюсарев В.Н., Бондарева Т.Н. Влияние длительного применения удобрений на содержание серы и трансформацию ее соединений на черноземе выщелоченном // Тр. Кубанского ГАУ. – 2015. – № 53. – С. 173-177.
13. Калиниченко, В.П. Эффективное использование фосфогипса в земледелии / В.П. Калиниченко // Питание растений. – 2017. – №1. – С. 2-33.
14. Петух Ю.Ю. Комплексное использование отходов промышленности и сельского хозяйства для улучшения свойств почвы // Вестник КубГАУ. – 2011. – №12. – С. 417-418.
15. Аристархов А.Н. Сера в агроэкосистемах России: мониторинг содержания в почвах и эффективность ее применения // Международный сельскохозяйственный журнал – 2016. – № 5. – С. 39- 47.
16. Ягодин Б.А. Сера, магний и микроэлементы в питании растений // Агрохимия. – 1985. – № 11. – С. 117-127.
17. Агрохимия. Учебник / Под ред. В.Г. Минеева. – М.: Изд-во ВНИИА, 2017. – 854 с.
18. Аканов Э.Н., Визирская М.М., Аканова Н.И. Агроэкологическая оценка эффективности применения тиосульфата аммония в смеси с КАС-32 // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2019. – № 5. – С. 4-7.
19. Федотова Л.С., Аканова Н.И., Косодуров К.С. Эффективность применения фосфогипса на дерново-подзолистой почве в севообороте с картофелем // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – №2. – С.41-50.
20. Долматов А.П., Васильев И.В. Эффективность сульфата магния в ресурсосберегающих технологиях возделывания зерновых культур на южных чернозёмах Оренбургского Предуралья // Известия Оренбургского ГАУ. – 2018. – С. 25-27.
21. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справочник. – М.: Агропромиздат, 1990. – 236 с.
22. Кардиналовская Р.И. Реакция сельскохозяйственных культур на улучшение серного питания // Химия в сельском хозяйстве. – 1984. – № 3. – С. 21-36.

UDK 631.4:631.811.7

AGROECOLOGICAL IMPORTANCE OF SULFUR AND THE NEED FOR SULFUR-CONTAINING FERTILIZERS IN AGRICULTURE IN RUSSIA

Akanova N.I., Grebennikova T.V., Vizirskaya M.M.

It is shown that when developing a fertilizer system for individual crops, it is necessary to take into account the conditions of plant nutrition with sulfur. The influence of sulfur-containing fertilizers on the crops yield and quality depending on the soil sulfur content, the soil type, the biological characteristics of the cultivated crop and other factors are considered. It is indicated that the greatest sulfur deficiency is observed on soils with a low humus content, the greatest amount of sulfur is found in black soils (chernozem), dark gray forest soils.

Keywords: fertility, sulfur, yield, sulfur balance, sulfur-containing fertilizers, phosphogypsum.