

INFLUENCE OF DEFICIT FERTILIZER SYSTEMS ON THE DYNAMICS OF PHOSPHATE AND POTASSIUM CONTENT AND THEIR BALANCE IN LONG-TERM EXPERIMENTS ON SOD-PODSOLIC LOAMY SAND SOIL

E. G. Mezentseva, O. G. Kulesh, A. A. Gracheva

Summary

The results of multi-year research to assess the impact of fertilizer systems and the effect of residual amounts of phosphorus and potassium introduced with mineral and organic fertilizers in the preceding period on the balance of nutrients and fertility of medium-cultivated sod-podzolic loamy sand soil in article are presents.

It was established that application of $N_{80}P_{37}K_{95}$ at high productivity of cultivated crops (59,6 cfu/ha) was insufficient for maintaining the achieved level of soil fertility with negative balances of mobile forms of phosphorus (-14 kg/ha) and potassium (-50 kg/ha).

The exclusion of a particular nutrient element from the fertilization system for a long period contributes to the intensification of degradation processes in the soil, causing the loss of humus by 0,19–0,53 % for the 20-year period of the study, with annual losses of mobile phosphorus and potassium of 1,0–3,6 and 2,6–8,3 mg/kg of soil.

Поступила 23.03.2022

УДК 631.84:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-49-64](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-49-64)

НОВЫЕ ФОРМЫ ЖИДКИХ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ СЕДЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР В БЕЛАРУСИ

Г. В. Пироговская

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

ВВЕДЕНИЕ

Оксиды серы являются одним из загрязнителей атмосферного воздуха и их анализ в атмосферных осадках, почвах и растениях представляет определенный интерес. В 1979 г. на Женевской конференции принято решение о совместных действиях стран в области охраны атмосферного воздуха, в том числе о сокращении выбросов серы в окружающую среду.

При этом сера оказывает важное влияние на рост и развитие растений и, преимущественно, тех, которые положительно отзываются на ее внесение. Практически все сельскохозяйственные культуры хорошо отзываются на внесение серы на фоне систематического и достаточного внесения азотно-фосфорно-калийных удобрений.

Наиболее отзывчивыми на их внесение являются, в первую очередь, рапс яровой и озимый, капуста и другие крестоцветные, гречиха, озимая и яровая пшеница; картофель, сахарная свекла, кормовые культуры, бобовые, лен, подсолнечник, морковь, овощные культуры и др. По своему физиолого-биологическому значению сера для растений находится в одном ряду с азотом, фосфором и калием.

В мировой и отечественной практике к настоящему времени накоплен большой объем экспериментальных данных по влиянию серосодержащих удобрений на урожайность и качество продукции сельскохозяйственных культур. В Республике Беларусь изучением эффективности серосодержащих удобрений занимались многие ученые. Исследованиями установлено, что при внесении серосодержащих удобрений улучшаются показатели качества продукции за счет повышения накопления сахаров, белка, витаминов, пигментов и других показателей качества [1–13].

В технологиях возделывания сельскохозяйственных культур серосодержащие удобрения могут применяться как в основное и припосевное внесение, так и в качестве корневых и некорневых подкормок в течение вегетационного периода растений. Однако по литературным данным известно, что серосодержащие удобрения рекомендуются в основном для основного внесения в почву и только на 2–5 % площадей проводятся некорневые подкормки сельскохозяйственных культур соединениями серы. При этом утверждается, что некорневые подкормки серой в период вегетации растений неэффективны, и этот прием можно рассматривать лишь как дополнительный инструмент в обеспечении биологической потребности растений, а не как мера устранения уже проявившихся симптомов дефицита этого элемента [14].

Актуальность исследований в Республике Беларусь по использованию серосодержащих удобрений обусловлена несколькими причинами: в последние годы наблюдается уменьшение содержания серы как на пахотных землях (90,0 % почв с низким и средним содержанием серы), так и на почвах сенокосов и пастбищ (81,8 %); производство серосодержащих удобрений в республике недостаточно (ежегодно около 300 тыс. т ф. в.); в сельскохозяйственном производстве на больших площадях возделываются культуры, хорошо отзывавшиеся на внесение серосодержащих удобрений.

В Республике Беларусь выпускаются следующие формы серосодержащих удобрений: сульфат аммония мелкокристаллический (ОАО «Гродно Азот» и ОАО «Нафтан»), сульфат аммония гранулированный без добавок и с добавками гуматов и микроэлементов (ООО «Белагроферт»), разные марки сульфоаммофосов (ОАО «Гомельский химический завод»). Жидкие азотно-серосодержащие удобрения выпускались на химических предприятиях в опытном или опытно-промышленном масштабе: на ОАО «Гродно Азот» – КСА-21 и КСА-23, содержащие 21–23 % N и 5,6–8,0 % S; на ОАО «СветлогорскХимволокно» (г. Светлогорск) – АСУ₁ и АСУ₂, с содержанием 12–20 % N и 4–8 % S и Свежка-1 и Свежка-2 с микроэлементами – В, Cu, Mn, Zn, Fe, в различных сочетаниях) для озимых и яровых зерновых культур, рапса озимого и ярового, кукурузы и других крестоцветных культур (N₁₂₋₂₀S_{3,6-7,8}).

В Республике Беларусь в РУП «Институт почвоведения и агрохимии» с 1999 по 2020 гг. проводили исследования по изучению сравнительной оценки эффективности различных форм твердых и жидких серосодержащих удобрений, в том числе с модифицирующими добавками, на урожайность и качество сельскохозяйственных культур, отзывчивых на внесение серы (рапс озимый и яровой,

гречиха, картофель) на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах. Установлены дозы, сроки и способы их применения, влияние на урожайность и качество продукции (содержание элементов питания, серы, соотношение азота к сере, масличность семян, содержание серы в рапсовом масле и др. показатели), определен баланс серы в почвах, рассчитана экономическая эффективность их применения, разработаны технологические схемы внесения этих удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур. В научных публикациях [11–13] показана в основном эффективность твердых форм азотно-серосодержащих удобрений.

В данной работе приводим экспериментальные данные по влиянию жидких азотно-серосодержащих (NS) удобрений на урожайность и качество продукции по сравнению с известными азотными (Nm – мочевины и N_{KAC} – карбамидно-аммиачная смесь). Эти исследования являются важными, представляются впервые и имеют большое как научное, так и практическое значение.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования по изучению влияния разных форм жидких азотно-серосодержащих удобрений на урожайность и качество продукции проводили в различные годы при возделывании разных сельскохозяйственных культур на следующих почвах:

– на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на мощных лессовидных суглинках в экспериментальной базе «Курасовщина», ОАО «Щомыслица» и ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области (общий размер делянки – 27 м², повторность вариантов – 4-кратная);

– на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, подстилаемой с глубины 0,5 м рыхлым песком в ОАО «Экспериментальная база им. Суворова» и ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденского района Минской области (общий размер делянки – 24 м², повторность вариантов – 4-кратная), в фермерском хозяйстве «Горизонт» Мостовского района Гродненской области;

– на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве, развивающейся на связанном песке, подстилаемой с глубины 0,35 м рыхлым песком в полевых и производственных опытах в Светлогорском районе Гомельской области.

В качестве минеральных удобрений для основного внесения в почву применяли: в базовом варианте – карбамид (Nm), или карбамидно-аммиачная смесь (N_{KAC}), аммонизированный суперфосфат (NP = 8-30) и калий хлористый; испытываемые удобрения – жидкие азотно-серосодержащие (карбамид-сульфатные) удобрения KAC-21 и KCA-23 ($N_{21-23}S_{5,6}$); жидкие АСУ-1 ($N_{20}S_4$) и АСУ-2 ($N_{12}S_8$) без добавок и NS с модифицирующими добавками микроэлементов (Свежка-1, $N_{20}S_{3,6}$) и Свежка-2 ($N_{12}S_{7,8}$). Дозы удобрений в опытах указаны в таблицах под каждую культуру.

Закладку и проведение опытов проводили в соответствии с методическими указаниями по закладке полевых опытов. Уход за посевами сельскохозяйственных культур в опытах осуществлялся согласно технологическим регламентам их возделывания, а обработка посевов против сорняков, вредителей и болезней проводилась препаратами, которые внесены в «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь» [15]. Исследования и анализ почвенных образцов проводили согласно существующим методикам.

Отбор растительных образцов (основной и побочной продукции) и их анализ проводили согласно существующим 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 – на атомно-адсорбционном спектрофотометре ГОСТ 30502-97, сера – фотоколориметрическим методом;

– сухое вещество – весовым методом.

Гидротермический коэффициент (ГТК) определялся по формуле Г. Т. Селянинова: $ГТК = (\Sigma X * 10) / \Sigma T$, где: ΣX – сумма атмосферных осадков за период; ΣT – сумма положительных температур воздуха за тот же период.

Статистическая обработка результатов исследований проведена по Б. А. Доспехову [16] с использованием соответствующих программ дисперсионного анализа на персональном компьютере, наименьшая существенная разность рассчитывалась с помощью компьютерной программы Excel.

Температура воздуха и количество атмосферных осадков приведены по данным наблюдений Гидрометцентра (г. Минск, г. Василевичи), лизиметрической станции РУП «Институт почвоведения и агрохимии» (г. Минск) и наблюдений в экспериментальной базе им. Котовского Узденского района.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность жидких форм азотно-серосодержащих удобрений, выпускаемых в опытном масштабе на ОАО «Гродно Азот» при возделывании разных сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых, рыхлосупесчаных и песчаных почвах приведена в таблице 1–2, овощных культур – в таблице 3.

Для оценки условий увлажнения вегетационных периодов возделывания сельскохозяйственных культур применяется гидротермический коэффициент (ГТК). Если ГТК больше 1,6, то год считается влажным, от 1,6-1,3 – оптимальным, от 1,3 до 1,0 – слабозасушливым, от 1,0 до 0,7 – засушливым, от 0,7 до 0,4 – очень засушливым, от 0,4 до 0,2 – сухим, от 0,2 и меньше – очень сухим.

Исследования проводили в годы с различными погодными условиями: вегетационный период за 5–9 месяц при возделывании сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в 1999 г. характеризовался как засушливый (ГТК = 0,62), 2000, 2016 и 2018 гг. – слабозасушливый (ГТК = 0,98, 1,21 и 1,05), 2019 г. – засушливый (ГТК = 0,99) и 2020 г. – оптимальный (ГТК = 1,50); на рыхлосупесчаных почвах (в ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского») и овощных культур (фермерское хозяйство «Горизонт») в условиях 2016 г. – слабозасушливый (ГТК = 1,25 и 1,07). При проведении исследований на дерново-подзолистых песчаных почвах в Светлогорском районе Гомельской области вегетационный период возделывания сельскохозяйственных культур в 2010 г. характеризовался как – слабозасушливый (ГТК = 1,12), 2011 и 2012 гг. – оптимальный (ГТК = 1,38 и 1,47).

В условиях 1999 г. урожайность ячменя на дерново-подзолистых суглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках (экспериментальная база «Курасовщина» Минского района) в годы исследований составляла от 32,8

(контроль без удобрений) до 38,1–40,6 ц/га (в зависимости от форм, применяемых удобрений), в 2000 г. – 23,9 и 42,3–46,7 ц/га соответственно, а в среднем за 2 года – 28,4 и 40,2–42,9 ц/га. Прибавки зерна ячменя от внесения жидких азотно-серосодержащих удобрений в среднем за 2 года составили 2,3–2,7 ц/га (при НСР₀₅ = 2,1 ц/га) по сравнению с внесением стандартных удобрений (КАС, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый – базовый вариант). При применении этих удобрений на той же почве (1999, 2000 и 2016 гг.) под озимую пшеницу получена тенденция или достоверное повышение урожайности зерна в размере от 2,2 до 3,7 ц/га. Самые высокие прибавки зерна (5,4–6,4 ц/га) получены при внесении (1999–2000 гг.) азотно-серосодержащих удобрений под яровую пшеницу (табл. 1).

В таблице 2 приведены данные по эффективности азотно-серосодержащих удобрений по сравнению с базовым вариантом, где применялись – карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый (табл. 2). В условиях слабозасушливого вегетационного периода (5–9 месяц) 2016 г. применение азотно-серосодержащих удобрений обеспечило на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах также увеличение урожайности сельскохозяйственных культур: семян рапса озимого – на 2,2–2,7 ц/га, клубней картофеля – на 48–68 ц/га, зерна озимой пшеницы – 2,7–3,6 ц/га, зеленой массы кукурузы – 11–47 ц/га, а зерна гороха – наблюдалась только тенденция повышения урожайности (на 0,5–0,6 ц/га, при НСР₀₅ = 1,76 ц/га) (табл. 2).

При возделывании огурца, томата, перца, лука на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных и легкосуглинистых почвах в условиях 2016 г. наиболее эффективным азотно-серосодержащим удобрением оказалось КСА-23, а на кабачке, моркови и капусте – КСА-21 по сравнению с базовым вариантом, где вносились минеральные удобрения, не содержащие серу (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый) (табл. 3).

Необходимо отметить, что при засушливых и слабозасушливых условиях (1999 и 2000 гг.) при внесении КСА-21 и КСА-23 в подкормки без разбавления водой и при разбавлении 1:1 при температуре воздуха свыше 20–25 °С и дефиците относительной влажности воздуха на зерновых культурах (в фазу начала выхода в трубку) наблюдались незначительные ожоги листьев, чего не наблюдалось при подкормках в условиях влажного года.

Установлено, что при внесении азотно-серосодержащих удобрений КСА-21 и КСА-23 на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах (фермерское хозяйство «Горизонт»), наблюдалось повышение урожайности овощных культур при одновременном улучшении качества продукции, что видно на примере отдельных овощных культур (табл. 4).

Агрохимическая эффективность азотно-серосодержащих удобрений АСУ-1 и АСУ-2 (разработчики РУП «Институт почвоведения и агрохимии» и ОАО «СветлогорскХимволокно») изучалась в 2010–2011 гг. (Светлогорский район, Гомельская область), 2018–2020 (ПРУП «Экспериментальная база им. Котовского» Узденский район и ОАО «Гастелловское» Минский район). В качестве базового варианта применяли жидкое азотное удобрение КАС на фоне РК (аммонизированный суперфосфат и калий хлористый). В статье приводим отдельные экспериментальные данные по эффективности этих удобрений. Например, при применении жидких азотно-серосодержащих под озимый рапс отмечалось повышение урожайности семян в среднем за годы исследований на 3,5 ц/га, семян рапса ярового – на 1,5 ц/га (обеспечена только тенденция увеличения, так как прибавка была на уровне НСР₀₅), клубней картофеля – на 20,3 ц/га (табл. 5).

Таблица 1
Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений КСА-21 и КСА-23 на урожайность сельскохозяственных культур на дерново-подзолистых суглинистых почвах, развивающихся на мощных лессовидных суглинках, ц/га

| Варианты/дозы* | Урожайность сельскохозяственных культур | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|---|---------|--------------|----------------------|---------|----------------|---------|--------------|----------------------|---------|----------------|--------------|----------------------|--|--|
| | ячмень | | | | | озимая пшеница | | | | | яровая пшеница | | | | |
| | 1999 г. | 2000 г. | сред- нее | ± к базо- вому | 1999 г. | 2000 г. | 2016 г. | сред- нее | ± к базо- вому | 1999 г. | 2000 г. | сред- нее | ± к базо- вому | | |
| Контроль без удо- брений | 32,8 | 23,9 | 28,4 | – | 41,5 | 34,4 | 48,3 | 41,4 | – | 23,5 | 23,8 | 23,7 | – | | |
| Базовый вариант – N (КАС) + РК | 38,1 | 42,3 | 40,2 | – | 47,5 | 52,5 | 91,0 | 63,7 | – | 25,6 | 32,5 | 29,1 | – | | |
| Испытуемое 1 – NS (КАС-21) + РК | 40,6 | 44,3 | 42,5 | 2,3 | 52,5 | 56,1 | 93,7 | 67,4 | 3,7 | 32,3 | 36,7 | 34,5 | 5,4 | | |
| Испытуемое 2 – NS (КАС-23) + РК | 39,1 | 46,7 | 42,9 | 2,7 | 52,9 | 50,0 | 94,7 | 65,9 | 2,2 | 36,9 | 34,1 | 35,5 | 6,4 | | |
| НСР ₀₅ | 2,42 | 3,49 | 2,12 | – | 3,71 | 3,85 | 4,57 | 2,34 | – | 3,52 | 4,53 | 2,87 | – | | |

* Дозы удобрений:

– под ячмень ($N_{68}P_{30}K_{90}$ перед посевом);

базовый вариант – N_{60} (КАС) + N_8P_{30} (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый);

испытуемое 1 – $N_{60}S_{16}$ (КАС-21) + N_8P_{30} (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый);

испытуемое 2 – $N_{60}S_{14,6}$ (КАС-23) + N_8P_{30} (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый);

– под озимую пшеницу ($N_{110}P_{48}K_{105}$) – во всех вариантах перед посевом внесли ($N_{15}P_{48}K_{105}$) – комплексное удобрение без добавки серы, марка 5-16-35), проведено две подкормки азотом N_{55} и N_{40} ;

базовый вариант – N_{55} (КАС) и N_{40} (КАС с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 1 – $N_{55}S_{14,7}$ (КАС-21) и $N_{40}S_{10,7}$ (КАС-21 с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 2 – $N_{55}S_{13,4}$ (КАС-23) и $N_{40}S_{9,7}$ (КАС-23 с разбавлением водой 1:3).

– под яровую пшеницу ($N_{110,7}P_{40}K_{90}$), из них $N_{81,7}P_{40}K_{90}$ – перед посевом и N_{30} – в подкормку;

базовый вариант – перед посевом N_{70} (КАС) + $N_{11}P_{40}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{90} (калий хлористый) и в подкормку – N_{30} (КАС с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 1 – перед посевом $N_{70}S_{18,7}$ (КАС-21) + $N_{11}P_{40}$ + K_{90} и в подкормку – $N_{30}S_{8,0}$ (КАС-21 с разбавлением водой 1:3);

испытуемое 2 – перед посевом $N_{70}S_{17,0}$ (КАС-23) + $N_{11}P_{40}$ + K_{90} и в подкормку – $N_{30}S_{7,3}$ (КАС-23, с разбавлением водой 1:3).

Таблица 2

Влияние жидких азотно-серосодержащих (карбамид-сульфатных) удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых суглинистых и рыхлосупесчаных почвах» (2016 г.), ц/га

| Варианты | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому |
|---------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|------------------|--------------|-----------------|--------------|--------|--------------|
| | озимый рапс* | | картофель** | | озимая пшеница** | | кукуруза (з/м)* | | горох* | |
| Контроль без удобрений | 13,6 | – | 175 | – | 48,3 | – | 631 | – | 16,1 | – |
| Нм + РК (базовый вариант) | 29,1 | – | 280 | – | 91,0 | – | 871 | – | 26,0 | – |
| NS (КСА-21) + РК | 31,3 | 2,2 | 328 | 48 | 93,7 | 2,7 | 882 | 11 | 26,5 | 0,5 |
| NS (КСА-23) + РК | 31,8 | 2,7 | 348 | 68 | 94,6 | 3,6 | 918 | 47 | 26,6 | 0,6 |
| НСР ₀₅ | 2,11 | – | 16,9 | – | 2,51 | – | 42,3 | – | 1,76 | – |

* На дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах:

– под озимый рапс ($N_{190}P_{70}K_{133}$) – во всех вариантах перед посевом внесли ($N_{30}P_{70}K_{133}$) – комплексное удобрение без добавки серы, марка 7-16-31), проведено две подкормки азотом N_{100} и N_{60} :

базовый вариант – N_{100} (карбамид) и N_{60} (карбамид);

испытуемое 1 – $N_{100}S_{26,7}$ (КСА-21) и $N_{60}S_{16}$ ((КСА-21);

испытуемое 2 – $N_{100}S_{24,3}$ (КСА-23) и $N_{60}S_{14,6}$ (КСА-23).

– под кукурузу ($N_{110}P_{70}K_{120}$):

базовый вариант – перед посевом – N_{91} (карбамид) + $N_{18,7}P_{70}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

испытуемое 1 – перед посевом – $N_{91}S_{24,3}$ (КСА-21) + $N_{18,7}P_{70}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

испытуемое 2 – перед посевом – $N_{91}S_{22,2}$ (КСА-23) + $N_{18,7}P_{70}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

– под горох ($N_{40}P_{60}K_{100}$)

базовый вариант – перед посевом – N_{24} (карбамид) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

испытуемое 1 – перед посевом – $N_{24}S_{6,4}$ (КСА-21) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

испытуемое 2 – перед посевом – КСА-23 – $N_{24}S_{5,8}$ (КСА-23) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый).

** На дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах:

– под картофель $N_{90}P_{60}K_{120}$:

базовый вариант – перед посевом – N_{74} (карбамид) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{120} (калий хлористый);

испытуемое 1 – перед посевом – $N_{74}S_{19,7}$ (КСА-21) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

испытуемое 2 – перед посевом – $N_{74}S_{18,0}$ (КСА-23) + $N_{16}P_{60}$ (аммонизированный суперфосфат) + K_{100} (калий хлористый);

– озимую пшеницу ($N_{170}P_{64}K_{140}$) – во всех вариантах перед посевом внесли ($N_{20}P_{64}K_{140}$) – комплексное удобрение без добавки серы, марка 5-16-35), проведено четыре подкормки азотом ($N_{60+40+40+10}$):

базовый вариант – перед посевом $N_{20}P_{64}K_{140}$ + $N_{60+40+40+10}$ (все подкормки карбамидом);

испытуемое 1 – перед посевом $N_{20}P_{64}K_{140}$ + первая и вторая подкормка N_{60+40} (КСА-21), внесено $N_{60}S_{16}$ и $N_{40}S_{10,7}$; третья и четвертая подкормка N_{40+10} – карбамидом;

испытуемое 2 – перед посевом $N_{20}P_{64}K_{140}$ + первая и вторая подкормка N_{60+40} (КСА-21), внесено $N_{60}S_{14,6}$ и $N_{40}S_{9,7}$; третья и четвертая подкормка N_{40+10} – карбамидом.

Таблица 3

Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений на урожайность овощных культур на дерново-подзолистых легкосуглинистых и рыхлосупесчаных почвах (2016 г.), ц/га

| Варианты | ± К базовому | | ± К базовому | | ± К базовому | | ± К базовому | | ± К базовому | | ± К базовому | | ± К базовому | |
|---------------------------|--------------|---------|--------------|--------|--------------|---------|--------------|-----------|--------------|----------|--------------|------|--------------|----------|
| | ц/га | огурец* | ц/га | томат* | ц/га | перец** | ц/га | кабачок** | ц/га | морковь* | ц/га | лук* | ц/га | капуста* |
| Контроль без удобрений | 25,3 | – | 20,9 | – | 31,1 | – | 111,9 | – | 219 | – | 173 | – | 512 | – |
| Nm + PK (базовый вариант) | 39,4 | – | 52,3 | – | 55,0 | – | 142,3 | – | 345 | – | 215 | – | 718 | – |
| NS (КСА-21) + PK | 40,4 | 1,0 | 53,6 | 1,3 | 55,6 | 0,6 | 145,9 | 3,6 | 413 | 68 | 276 | 61 | 819 | 101 |
| NS (КСА-23) + PK | 41,9 | 2,5 | 54,3 | 2,0 | 62,5 | 7,5 | 144,7 | 2,4 | 408 | 63 | 289 | 74 | 792 | 71 |
| НСР ₀₅ | 2,33 | – | 1,27 | – | 2,51 | – | 3,39 | – | 28,7 | – | 28,8 | – | 51,1 | – |

* Дозы удобрений на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах:

– под огурец – N₆₀P₃₀K₉₀ (сумма 200 кг/га д. в.);

– под томат – N₇₀P₃₀K₈₀ (сумма 180 кг/га д. в.);

– морковь – N₉₀P₅₀K₁₀₀ (сумма 240 кг/га д. в.);

– лук – N₆₀P₆₀K₁₀₀ (сумма 220 кг/га д. в.);

– капусту – N₁₁₀P₇₀K₁₂₀ (сумма 300 кг/га д. в.).

** Дозы удобрений на дерново-подзолистых легкосуглинистых почвах:

– под перец – N₃₀P₃₀K₇₀ (сумма 150 кг/га д. в.);

– под кабачок – N₉₀P₆₀K₉₀ (сумма 240 кг/га д. в.).

Внесение жидких азотно-серосодержащих удобрений повышало масличность семян на 0,9–1,9 %, при содержании масла в семенах в зависимости от форм применяемых удобрений – на уровне 48,1–50,7 %. Увеличивалась и масса 1000 семян озимого рапса на 0,19–0,38 г по сравнению с азотными удобрениями, не содержащими серу (базовый вариант), при содержании ее в вариантах с АСУ на фоне РК от 4,88 до 5,26 г. Следует отметить, что содержание глюкозинолатов в семенах рапса озимого во всех вариантах опыта было ниже нормативного значения (СТБ 1398-2003) – не более 3 %. Содержание серы в сельскохозяйственной продукции в Республике Беларусь не регламентируется, имеются только ПДК по содержанию серы в масле (СТБ-140086-2004 «Масло рапсовое»). Если содержание серы в масле выше 50 мг/кг – то это масло должно использоваться для технических целей; меньше 30 мг/кг – на продовольственные цели; меньше 15 мг/кг – на рафинированное масло очищенное; меньше 2 мг/кг – для детского питания. В наших исследованиях содержание серы в масле из семян рапса озимого в зависимости от вариантов опыта находилось в пределах от 6,34 до 14,76 мг/кг и такое масло было рекомендовано для использования на продовольственные цели и на рафинированное масло очищенное. Удобрения оказали определенное воздействие на химический состав семян рапса озимого: содержание азота в семенах, в зависимости от вариантов опыта, находилось в пределах от 2,68 до 3,82 %, фосфора – 1,63–1,78 %, калия – 0,83–1,02 %, кальция (CaO) – 0,24–0,34, магния (MgO) – 0,50–0,68 %, серы – 0,50–0,68.

Содержание масла в семенах рапса ярового находилось в пределах от 44,0 до 46,8 % (2018–2019 гг.), а применение жидких азотно-серосодержащих удобрений повышало содержание масла в семенах на 0,5–2,1 % и массу 1000 семян – на 0,24–0,68 г. Содержание глюкозинолатов составляло от 0,69 до 1,51 % и не превышало нормативного значения. Содержание серы в масле из семян рапса ярового было более высоким, чем в масле из семян рапса озимого, но в целом, масло было пригодно на продовольственные цели и на рафинированное масло очищенное. Содержание азота в семенах рапса ярового в варианте без удобрений (контроль) было наименьшим – 3,03 %. При внесении удобрений жидких его содержание находилось в пределах от 3,44 до 4,02 %. В вариантах с N:S удобрениями увеличение содержания азота было достоверным или близким к достоверному по отношению к базовому варианту (стандартным тукам с карбамидом гранулированным). Содержание фосфора, в зависимости от вариантов опыта, составляло 1,22–2,06 %, калия – 0,96–1,10, кальция – 0,20–0,27, магния – 0,62–0,68 %, серы – 0,49–0,63 %.

Эффективность жидких азотно-серосодержащих удобрений Свежка с добавками микроэлементов при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях 2011–2012 гг. представлена в таблице 6. В качестве базового варианта применяли удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый).

Под все сельскохозяйственные культуры жидкие азотно-серосодержащие удобрения Свежка вносили перед посевом. Дозы удобрений жидких указаны под культуру за вычетом азота, внесенного с аммонизированным суперфосфатом, в том числе внесено под рапс яровой – $N_{84}S_{16}$ (Свежка-1) и $N_{84}S_{54,6}$ (Свежка-2), соответственно под картофель – $N_{101}S_{19,2}$ и $N_{101}S_{65,7}$, кукурузу – $N_{89}S_{16,9}$ и $N_{89}S_{57,9}$, яровую пшеницу – $N_{84}S_{16}$ и $N_{84}S_{54,6}$ кг/га д. в. Экспериментальные данные показывают, что в эти годы на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава

была получена прибавка урожайности сельскохозяйственных культур от внесения жидких серосодержащих удобрений Свежка в размере: семян рапса ярового от 3,5 до 4,9 ц/га, клубней картофеля – 75–98 ц/га, зеленой массы кукурузы – 70–76 ц/га, зерна кукурузы – 5,4–8,6 ц/га и зерна яровой пшеницы – 5,9–6,7 ц/га по сравнению с базовым вариантом (карбамид, аммонизированный суперфосфат, калий хлористый). При этом следует отметить, что на всех культурах лучше сработали азотно-серосодержащие удобрения с более высоким содержанием серы.

Эффективность жидких азотно-серосодержащих удобрений (Свежка-2) изучалась и в условиях 2018–2020 гг. при возделывании гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве (ОАО «Гастелловское» Минского района Минской области). В среднем за три года (2018–2020 гг.) урожайность зерна гречихи, возделываемой на высококультуренной дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, составила в контрольном варианте – 15,7 ц/га, в базовом варианте без добавок микроэлементов ($N_{60}S_{40}$ (АСУ-2) + $P_{45}K_{90}$) – 24,6 ц/га, в варианте с азотно-серосодержащим удобрением Свежка-2 ($N_{60}S_{39}B_{0,15}$) – 28,1 ц/га, с прибавкой зерна гречихи к базовому 3,5 ц/га (при НСР₀₅ = 1,99 ц/га).

Качество зерна гречихи оценивалось по массе 1000 зерен, содержанию серы, а также по выходу крупы (общий выход, выровненность, ядрица, продел, коэффициент разваримости, цвет, вкус, консистенция). При внесении жидких азотно-серосодержащих удобрений отмечалась тенденция увеличения массы 1000 зерен по отношению к смеси стандартных туков. Содержание серы в зерне гречихи находилось в пределах от 0,14 до 0,17 %. Общий выход крупы, показатель выровненности зерен и крупность ядрицы достоверно увеличивались. Не установлено влияние серосодержащих удобрений на коэффициент разваримости крупы, цвет и вкус. Консистенция крупы была рассыпчатая во всех вариантах.

Урожайность клубней картофеля (сорт Волат) при возделывании на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве в среднем за три года (2018–2020 гг.) составила в контрольном варианте – 420 ц/га, в варианте со стандартными удобрениями (карбамид, аммонизированный суперфосфат и калий хлористый) – 581 ц/га, в базовом варианте ($N_{90}S_{60}$ без добавок (АСУ-2) + $P_{68}K_{135}$) – 600 ц/га, в варианте с азотно-серосодержащим удобрением Свежка-2 ($N_{90}S_{58,5}B_{0,15}Cu_{0,20}$) с микроэлементами – 629 ц/га, с прибавкой клубней картофеля к базовому – 29 ц/га, к стандартным удобрениям – 48 ц/га.

Качество клубней картофеля оценивалось по товарности клубней, содержанию в них крахмала, сахаров, нитратов, основных элементов питания и серы. Установлено, что при применении серосодержащих удобрений отмечалась тенденция или достоверное увеличение товарности клубней картофеля по отношению к смеси стандартных удобрений. Что касается влияния разных форм и доз серосодержащих на содержание крахмала и нитратов в клубнях картофеля, то существенного их действия на эти показатели по сравнению с базовыми вариантами не выявлено. При этом серосодержащие удобрения способствовали достоверному повышению содержания сахаров в клубнях и обеспечивали тенденцию или достоверное увеличение содержания общего азота (на 0,27–1,04 %). Содержание фосфора находилось в пределах от 0,61 до 0,68 %, калия – от 3,05 до 3,74, кальция – от 0,030 до 0,045 и магния – от 0,17 до 0,24 %, серы – от 0,13 до 0,17 %. При этом четкой зависимости содержания серы в клубнях от вносимых форм удобрений не выявлено.

Таблица 4
Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений на качество овощных культур на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах (фермерское хозяйство «Горизонт» Мостовского района, Гродненской области, 2016 г.)

| Варианты | ± к базовому | | Содержание нитратов, мг/кг сырой массы | ± к базовому | Сбор сухого вещества, ц/га | морковь | | капуста | | картофель | | | | | |
|---------------------------|----------------------|--|--|--------------|----------------------------|----------------------|--------------|--|--------------|--|---------------|--------------|-------|-------|------|
| | Содержание сахара, % | Содержание нитратов, мг/кг сырой массы | | | | Содержание сахара, % | ± к базовому | Содержание нитратов, мг/кг сырой массы | ± к базовому | Содержание нитратов, мг/кг сырой массы | Товарность, % | ± к базовому | | | |
| Контроль без удобрений | 11,4 | - | 6,70 | - | 28,5 | - | 31,3 | - | 201 | - | 72,5 | - | 96,0 | - | |
| Нм + РК (базовый вариант) | 13,2 | - | 6,54 | - | 44,9 | - | 54,8 | - | 291 | - | 84,5 | - | 117,8 | - | |
| NS (КСА-21) + РК | 13,4 | 0,2 | 5,20 | -1,34 | 53,7 | 8,8 | 39,1 | -15,7 | 1,2 | 221 | -70 | 87,2 | 2,7 | 116,3 | -1,5 |
| NS (КСА-23) + РК | 13,8 | 0,6 | 6,15 | -0,39 | 53,0 | 8,1 | 40,9 | -13,9 | 0,2 | 281 | -10 | 86,2 | 1,7 | 116,3 | -1,5 |
| НСР ₀₅ | 0,18 | - | 0,389 | - | 3,92 | - | 7,31 | - | 0,18 | 21,2 | - | 1,68 | - | 20,42 | - |

Дозы удобрений под культуры на дерново-подзолистых рыхлосупесчаных почвах:

- лук (N₆₀P₆₀K₁₀₀): **базовый вариант** – N₄₄ (карбамид) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₀₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N₄₄S_{11,7} (КСА-21) + N₁₆P₆₀+ K₁₀₀; **испытуемое 2** – N₄₄S_{10,7} (КСА-23) + N₁₆P₆₀+ K₁₀₀;
- морковь (N₉₀P₅₀K₁₀₀): **базовый вариант** – N₇₇ (карбамид) + N₁₃P₅₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₀₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N₇₇S_{20,5} (КСА-21) + N₁₃P₅₀+ K₁₀₀; **испытуемое 2** – N₇₇S_{18,7} (КСА-23) + N₁₃P₅₀+ K₁₀₀;
- капуста (N₁₁₀P₇₀K₁₂₀): **базовый вариант** – N₉₁ (карбамид) + N₁₉P₇₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₂₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N₉₁S_{24,3} (КСА-21) + N₁₉P₇₀+ K₁₂₀; **испытуемое 2** – N₉₁S_{22,2} (КСА-23) + N₁₉P₇₀+ K₁₂₀;
- картофель (N₁₀₀P₆₀K₁₄₀): **базовый вариант** – N₈₄ (карбамид) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₄₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N₈₄S_{22,4} (КСА-21) + N₁₆P₆₀+ K₁₄₀; **испытуемое 2** – N₈₄S_{20,5} (КСА-23) + N₁₆P₆₀+ K₁₄₀.

Таблица 5

Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых песчаных (Светлогорский район, 2010–2011 гг.) и рыхлосупесчаных (Экспериментальная база им. Котовского, 2018–2020 гг.) почвах в полевых и производственных опытах

| Варианты | ц/га | | | | Среднее, ± к базовому | ц/га | | | | Среднее, ± к базовому | ц/га | | | | Среднее, ± к базовому | | | | |
|-----------------------------|-------------|------|------|------|--------------------------|-------------|------|------|------|--------------------------|-----------|------|------|------|--------------------------|------|--|------|--|
| | 2010 | | 2011 | | | 2018 | | 2019 | | | 2010 | | 2018 | | | 2019 | | 2020 | |
| | озимый рапс | | | | | яровой рапс | | | | | картофель | | | | | | | | |
| Контроль без удобрений | – | – | 6,2 | 7,4 | – | 10,7 | 9,4 | 10,2 | 20,6 | 12,7 | 341 | 303 | 461 | 496 | 400,3 | | | | |
| Нкас + РК (базовый вариант) | 15,6 | 17,9 | 18,8 | 18,9 | 17,8 | 13,3 | 18,9 | 22,9 | 32,1 | 21,8 | 550 | 394 | 745 | 603 | 573,0 | | | | |
| NS (АСУ-1)* + РК | – | – | – | – | – | 14,1 | – | – | – | – | 576 | – | – | – | – | | | | |
| NS (АСУ-2)** + РК | 18,0 | 21,6 | 24,5 | 21,2 | 21,3 3,5*** | 14,3 | 23,3 | 23,5 | 32,0 | 23,3 1,5*** | 588 | 411 | 750 | 624 | 593,3 20,3*** | | | | |
| НСР ₀₅ | 2,21 | 2,25 | 1,80 | 1,84 | 2,04 | 0,92 | 2,04 | 1,69 | 1,99 | 1,72 | 16,9 | 20,7 | 21,1 | 19,5 | 19,52 | | | | |

АСУ – 1 = 20-4 и АСУ – 2 = 12-8

* азотно-серосодержащее удобрение АСУ-1, содержащее N – 20 %, S – 4 %;

** азотно-серосодержащее удобрение АСУ-2, содержащее N – 12 %, S – 8 %;

*** прибавка к базовому варианту.

Дозы удобрений под культуры:

– озимый рапс (N₁₅₀P₆₈K₁₃₃): перед посевом – N₃₀P₆₈K₁₃₃ (комплексное удобрение, марка 7-16-31) – во всех вариантах, кроме контроля + две подкормки N₈₀₊₄₀; базовый вариант – две подкормки (N₈₀₊₄₀) – карбамидом; испытуемое удобрение 1 – N₈₀₊₄₀ (АСУ-1), в первую подкормку – N₈₀S₁₆ и во вторую – N₄₀S₈; испытуемое удобрение 2 – N₈₀₊₄₀ (АСУ-2), в первую подкормку – N₈₀S₅₃ и во вторую – N₄₀S_{26,7};
– яровой рапс (N₁₄₀P₆₀K₁₅₀) – перед посевом N₁₀₀P₆₀K₁₅₀ + N₄₀ в подкормку; базовый вариант – перед посевом N₈₄ (КАС) + N₁₆P₆₀ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₅₀ (калий хлористый) + подкормка N₄₀ (карбамидом); испытуемое удобрение 1 – перед посевом N₈₄S_{16,8} (АСУ-1) + N₁₆P₆₀+K₁₅₀; в подкормку – N₄₀ (карбамид); испытуемое удобрение 2 – N₈₄S₅₆ (АСУ-2) + N₁₆P₆₀+K₁₅₀; в подкормку – N₄₀ (карбамид);
– картофеле (N₉₀P₆₈K₁₃₅): перед посевом N₇₂ (КАС) + N₁₈P₆₈ (аммонизированный суперфосфат) + K₁₃₅ (калий хлористый); испытуемое удобрение 1 – перед посевом N₇₂S_{14,4} (АСУ-1) + N₁₈P₆₈+K₁₃₅; испытуемое удобрение 2 – N₇₂S₄₈ (АСУ-2) + N₁₈P₆₈+K₁₃₅

Таблица 6

Влияние жидких азотно-серосодержащих удобрений Свежка на урожайность сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах легкого гранулометрического состава (Светлогорский район, 2011–2012 гг.)

| Варианты | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому | ц/га | ± к базовому |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------------|--------------|----------------------|--------------|--------------------|--------------|
| | рапс яровой* | – | картофель** | – | кукуруза (з/м)*** | – | кукуруза (зерно)**** | – | яровая пшеница**** | – |
| Контроль без удобрений | 13,5 | – | 361 | – | 653 | – | 81,6 | – | 39,9 | – |
| Nm (карбамид) + РК (базовый вариант) | 22,0 | – | 466 | – | 823 | – | 117,0 | – | 47,6 | – |
| NS (Свежка-1) + РК | 25,5 | 3,5 | 541 | 75 | 893 | 70 | 122,4 | 5,4 | 53,5 | 5,9 |
| NS (Свежка-2) + РК | 26,9 | 4,9 | 564 | 98 | 899 | 76 | 125,6 | 8,6 | 54,3 | 6,7 |
| HCP ₀₅ | 1,04 | – | 21,5 | – | 29,2 | – | 4,30 | – | 3,25 | – |

Свежка-1 (NS с микроэлементами) = 20-3,8 и Свежка-2 (NS с микроэлементами) = 12-7,8 (в удобрения для ярового рапса* включали В, Сu, Mn; для картофеля** – В, Сu; для кукурузы*** – Zn и Mn; для яровой пшеницы**** – Сu, Mn.

Дозы удобрений под культуры (доза азота указана общая, внесенная с жидкими азотно-содержащими удобрениями Свежка, аммонизированным суперфосфатом + подкормка азотом):

- **яровой рапс** (N_{100+30P}60K₁₀₀). **базовый вариант** – перед посевом N₈₄ (карбамид) + N_{16P}60 (аммонизированный суперфосфат) + K₁₀₀ (калий хлористый), в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 1** – N_{84S}16,0 (Свежка-1) + N_{16P}60 + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 2** – N_{84S}54,6 (Свежка-2) + N_{16P}60 + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид);
- **картофель** (N_{120P}70K₁₄₀). **базовый вариант** – N₁₀₁ (карбамид) + N_{19P}70 (аммонизированный суперфосфат) + K₁₄₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N_{101S}19,2 (КСА-21) + N_{19P}70 + K₁₄₀; **испытуемое 2** – N_{101S}66,7 (КСА-23) + N_{19P}70 + K₁₄₀;
- **кукурузу** – (N_{110+30P}80K₁₂₂); **базовый вариант** – перед посевом N₈₉ (карбамид) + N_{21P}80 (аммонизированный суперфосфат) + K₁₂₂ (калий хлористый), в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 1** – N_{89S}16,9 (Свежка-1) + N_{16P}60 + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид); **испытуемое 2** – N_{89S}57,9 (Свежка-2) + N_{16P}60 + K₁₄₀, в подкормку – N₃₀ (карбамид);
- **яровую пшеницу** (N_{100P}60K₁₂₀). **базовый вариант** – N₈₄ (карбамид) + N_{16P}60 (аммонизированный суперфосфат) + K₁₂₀ (калий хлористый); **испытуемое 1** – N_{84S}16 (КСА-21) + N_{16P}60 + K₁₂₀; **испытуемое 2** – N_{84S}54,6 (КСА-23) + N_{16P}60 + K₁₂₀.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования по изучению агрономической эффективности применения жидких азотно-серосодержащих удобрений в технологиях возделывания сельскохозяйственных культур на дерново-подзолистых почвах разного гранулометрического состава позволяют сделать следующие выводы.

Применение жидких азотно-серосодержащих удобрений (карбамид-сульфатных КСА-21 и КСА-23) с содержанием $N_{21-23}S_{5,6}$ способствовало увеличению урожайности зерна ячменя на 2,3–2,7 ц/га, озимой пшеницы – 2,2–3,7, яровой пшеницы – 5,4–6,4, семян озимого рапса – 2,2–2,7, клубней картофеля – 48–68, зеленой массы кукурузы – 11–47 ц/га, овощных культур (огурцов – на 1,0–2,5 ц/га, томатов – 1,3–2,0, кабачков – 2,4–3,6, корнеплодов моркови – 63–68, луковиц лука репчатого – 61–74 ц/га по сравнению с удобрениями, не содержащими серы. Качество продукции улучшалось за счет повышения содержания и сбора сухого вещества, протеина, сахаров и снижения содержания нитратов.

Внесение жидких азотно-серосодержащих удобрений АСУ-1 ($N_{20}S_4$) и АСУ-2 ($N_{12}S_8$) без добавок микроэлементов обеспечило в среднем за годы исследований по сравнению с удобрениями стандартными азотными на фоне РК повышение урожайности семян рапса озимого на 3,5 ц/га, семян рапса ярового – на 1,5, клубней картофеля – на 20,3 ц/га. Качество семян рапса улучшалось за счет увеличения массы 1000 семян и содержания масла (на 0,9–1,9 % в семенах рапса озимого, при содержании масла на уровне 48,1–50,7 %, соответственно в семенах рапса ярового – на 0,5–2,1 %, при содержании масла – от 44,0 до 46,8 %), клубней картофеля – за счет повышения товарности клубней и снижения содержания нитратов.

Применение удобрений жидких азотно-серосодержащих с добавками микроэлементов Свежка-1 ($N_{20}S_{3,8}$) и Свежка-2 ($N_{12}S_{7,8}$) обеспечивало по сравнению с жидкими азотно-серосодержащими удобрениями АСУ без добавок микроэлементов увеличение урожайности семян рапса ярового на 3,5–4,9 ц/га, клубней картофеля – на 75–98, зеленой массы кукурузы – 70–76, зерна кукурузы – 5,4–8,6 и зерна яровой пшеницы – на 5,9–6,7 ц/га, при одновременном улучшении качественных показателей продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Владимирова, Э. Д.* Действие серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в зависимости от агрохимических свойств почв: автореф. дис. ... канд. с.-х наук: 06.01.04 / Э. Д. Владимирова; Сельскохозяйственная академия. – Горки, 1974. – 24 с.
2. Применение серосодержащих удобрений на дерново-подзолистых почвах Белоруссии: рекомендации / М. П. Шкель [и др.]. - Минск: Ураджай, 1988. - 18 с.
3. *Богдевич, И. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур / И. М. Богдевич, Т. М. Германович // Научно-практический опыт в агропромышленном производстве. – Минск: Белнаучцентр-информмаркет АПК, 1995. – 3 с.
4. *Германович, Т. М.* Серосодержащие удобрения как фактор повышения урожайности ярового ячменя и повышения качества продукции / Т. М. Германович //

Почвенные исследования и применение удобрений: межведомственный тематич. сб. / Белорус. науч.-исслед. ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск, 1997. – Вып. 24. – С. 87–97.

5. *Германович, Т. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур в зависимости от уровня содержания серы в дерново-подзолистых почвах: автореф. дис. ...канд. с.-х. наук / Т. М. Германович; Академия аграрных наук Республики Беларусь, Научно-исследовательское государственное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии». – Минск, 1998. – 17 с.

6. *Богдевич, И. М.* Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур: сб. науч. тр. / И. М. Богдевич, Т. М. Германович // Почвоведение и агрохимия. – 1998. – Вып. 30. – С. 141–146.

7. Рекомендации по применению магниевых и серосодержащих удобрений под яровой рапс в зависимости от обеспеченности дерново-подзолистых суглинистых почв магнием / И. М. Богдевич [и др.]. – Минск: РУП Институт почвоведения и агрохимии, 2007. – 16 с.

8. Применение новых форм жидких азотно-серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры: рекомендации / Г. В. Пироговская [и др.] // РУП «Институт почвоведения и агрохимии», ОАО «Светлогорскхимволокно». – Минск, 2012. – 31 с.

9. 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.

10. *Докшин, Я. В.* Влияние хлор- и магниевых серосодержащих удобрений на продуктивность картофеля / Я. В. Докшин // Агроэкологические основы применения удобрений в современной земледелии: материалы 48-й Междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов, Москва, 24 апр. 2014 г. / Федеральное агентство научных организаций, Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д. Н. Прянишникова. – Москва, 2014. – С. 69–72.

11. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество гречихи и картофеля на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 102–114.

12. Влияние серосодержащих удобрений на урожайность и качество озимого и ярового рапса на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве / Г. В. Пироговская [и др.] // Почвоведение и агрохимия. – 2019. – № 2(63). – С. 114–125.

13. Рекомендации по применению серосодержащих удобрений под сельскохозяйственные культуры / Г. В. Пироговская [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2020. – 84 с.

14. *Минеев В. Г.* Агрохимия: учебник / В. Г. Минеев; 2-е изд., перераб. и доп.. – М.: Издательство МГУ, Издательство «Колос», 2004. – 720 с.

15. Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь / А. В. Пискун [и др.]. – Минск: Промкомплекс, 2020. – 742 с.

16. *Доспехов, Б. А.* Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – Москва: Колос, 1972. – 336 с.

NEW FORMS OF LIQUID NITROGEN-CONTAINING FERTILIZERS IN THE CULTIVATION OF AGRICULTURAL CROPS IN BELARUS

G. V. Pirogovskaya

Summary

The article presents data on the effectiveness of liquid nitrogen-sulfur fertilizers (1999–2000, 2010–2011, 2016, 2018–2020) on sod-podzolic soils of different granulometric composition (light loamy, loose-sanded) in Gomel, Minsk and Grodno regions in the cultivation of agricultural and vegetable crops. It is shown that the use of liquid nitrogen-sulfur fertilizers, for crops demanding sulfur, provides an increase in yield, while improving the quality of products.

Поступила 05.05.2022

УДК:632.118.3:633

[https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1\(68\)-64-72](https://doi.org/10.47612/0130-8475-2022-1(68)-64-72)

ОЦЕНКА ДОСТУПНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}Cs И ^{90}Sr СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫМ РАСТЕНИЯМ В ИЗМЕНЯЮЩИХСЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Ю. В. Путятин

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

ВВЕДЕНИЕ

Путь радионуклидов до организма человека может быть разным, но наиболее вероятной является цепь «почва–растение–животное–человек». Подвижность радионуклидов в биоценозах зависит от их физико-химических свойств, условий внешней среды и биологических особенностей растений и животных. Формы нахождения радионуклидов в объектах окружающей среды являются одним из определяющих факторов их поведения в экосистемах. Степень опасности любых радионуклидов зависит не только от их общего содержания, но и от их подвижности в почве. От форм нахождения радионуклидов в почве зависит их миграция по почвенному профилю, а также размеры вымывания с осадками, интенсивность поступления в растения. Чем прочнее связаны радионуклиды с почвой, тем меньше их миграция, в том числе и поступление в растения и далее в продукцию животноводства и в организм человека. Эти сведения необходимо учитывать для разработки мер по реабилитации загрязненных радионуклидами территорий [1–3].

Как показывают многочисленные исследования, содержание мобильных