

Состав и технология производства серного удобрения с активированным торфом и глауконитовым эфелем

© 2019. Ю. Н. Терентьев¹, главный технолог,

Н. В. Сырчина², к. х. н., доцент, с. н. с.,

Т. Я. Ашихмина^{2,3}, д. т. н., профессор, г. н. с., зав. лабораторией,

Г. Я. Кантор^{2,3}, к. т. н., н. с.,

¹ ООО «РГ-АСУ-НАЛАДКА»,

142100, Российская Федерация, Московская область,

г. Подольск, ул. Фёдорова, д. 34, стр. 2,

² Вятский государственный университет,

610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, д. 36,

³ Институт биологии Коми НЦ УрО РАН,

167982, Россия, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28,

e-mail: teryun@yandex.ru, nvms1956@mail.ru

Сера наряду с азотом, фосфором и калием, входит в число важнейших элементов минерального питания растений. В последние годы в большинстве стран с развитым земледелием складывается отрицательный баланс между поступлением и выносом серы из почвы. В условиях снижения загрязнения атмосферы диоксидом серы и недостаточным использованием органических удобрений наиболее перспективной формой устранения дефицита серы в агрозёмах становятся серосодержащие минеральные удобрения. Удобрения на основе свободной серы (S⁰) вызывают в последнее время особый интерес, поскольку обладают рядом преимуществ по сравнению с другими формами серосодержащих удобрений – отсутствие балластных компонентов, низкая стоимость, пролонгированный период действия, совместимость с другими видами удобрений.

В статье предлагается технология производства комплексного органоминерального удобрения на основе глауконитсодержащего эфеля, торфа и порошковой серы. Лабораторные испытания показали, что через две недели после внесения удобрения в почву статистически достоверно увеличивается содержание подвижной серы и подвижного фосфора в составе агрозёма, что обусловлено жизнедеятельностью почвенных сероокисляющих микроорганизмов.

Ключевые слова: серные удобрения, органоминеральные удобрения, натуральные удобрения, активированный торф, сероторфяная суспензия, глауконитсодержащий эфель, глауконит, дефицит серы в почве.

Natural sulfur fertilizer with activated peat and glauconitic efel

© 2019. Yu. N. Terentyev¹ ORCID: 0000-0001-7812-6007

N. V. Syrchina² ORCID: 0000-0001-8049-6760, T. Ya. Ashikhmina^{2,3} ORCID: 0000-0003-4919-0047

G. Ya. Kantor^{2,3} ORCID: 0000-0002-6462-6702

¹ LLC “RG-ASU-NALADKA”,

Building 2, 34, Fedorova St., Podolsk, Moscow Region, Russia, 142100,

² Vyatka State University,

36, Moskovskaya St., Kirov, Russia, 610000,

³ Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of RAS,

28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Republic of Komi, Russia, 167982,

e-mail: teryun@yandex.ru, nvms1956@mail.ru

In recent years, in most countries with developed agriculture there is a negative balance between the supply and removal of sulfur from the soil. In conditions of decreasing atmospheric pollution with sulfur dioxide and insufficient use of organic fertilizers, sulfur-containing mineral fertilizers become the most promising form of eliminating sulfur deficiency in agrozems. Fertilizers based on free sulfur (S⁰) have recently been of particular interest because they have a number of advantages over other forms of sulfur-containing fertilizers – the absence of ballast components, low cost, a prolonged period of validity, compatibility with other types of fertilizers.

The article proposes a technology for the production of complex organomineral fertilizers (OMF) based on glauconite-containing eifel (dredging waste), peat and powdered sulfur. Sulfur and peat are included in the fertilizer in the form of sulfur-peat suspension obtained by the method of activation of sulfur-peat pulp by ultrasound cavitation. In the process of cavitation treatment, the sulfur-peat suspension is enriched with a complex of soluble humic substances. The finished fertilizer form is a fire and explosion-proof granulated product containing fine sulfur with a particle size of 0.05–0.10 mm. When introduced into moist soil, the granules easily disperse, which ensures a sufficient rate of microbiological oxidation from S^0 to SO_4^{2-} . The inclusion of activated peat and glauconite-containing eifel into the OMF composition eliminates the danger of substantial acidification of the soil solution by sulfur oxidation products, and also facilitates the process of granulating the mixture of raw materials. Laboratory tests have shown that two weeks after fertilizing the soil, the content of mobile sulfur and mobile phosphorus in the agrozem increases statistically significantly, due to the vital activity of sulfur-oxidizing soil microorganisms. The increase in the mobility of phosphorus may be due to the chemical activation of poorly soluble phosphorus compounds contained in the soil and eifel under the influence of sulfuric acid formed during the oxidation of sulfur. The production technology of fertilizer is completely waste-free and meets the principles of “green chemistry”. Production of OMF can be organized at enterprises of any capacity. The advantages and competitive advantages of fertilizer include relatively low cost, compatibility with other types of fertilizers, a long period of validity, lack of acidifying effect when applied to the soil, the presence in the fertilizer, except for the main active ingredient (S^0), phosphorus, potassium and humus components.

Keywords: sulfur fertilizers, organomineral fertilizers, natural fertilizers, activated peat, sulfur-peat suspension, glauconite-containing eifel, glauconite, sulfur deficiency in the soil.

Сера наряду с азотом, фосфором и калием, входит в число важнейших элементов минерального питания растений. Недостаток серы негативно отражается на процессах фотосинтеза, дыхания, азотного и углеводного обмена. В условиях дефицита серы уменьшается накопление белка в выращиваемых культурах, что приводит к снижению качества получаемого урожая [1–5]. Потребность растений в сере сопоставима с потребностью в фосфоре. По разным оценкам, вынос этого элемента с урожаем зерновых культур составляет 10–18 кг/га, а с урожаем крестоцветных может превышать 100 кг/га [6]. Растения поглощают серу в основном корневой системой в форме сульфат-ионов (SO_4^{2-}). Однако некоторое количество серы растения могут усваивать и в форме диоксида серы (SO_2) из воздуха через листья [7]. Вынос серы из агроэкозона компенсируется за счёт внесения серосодержащих минеральных и органических удобрений, а также за счёт абсорбции SO_2 из атмосферы или поступления сернистых соединений в почву с атмосферными осадками [8].

В последние годы в большинстве стран с развитым земледелием складывается отрицательный баланс между поступлением и выносом серы из почвы [9, 10]. Основными причинами развивающегося дисбаланса являются уменьшение техногенных выбросов сернистых соединений в атмосферу, а также ограниченный уровень внесения органических и серосодержащих минеральных удобрений [11]. В условиях снижения загрязнения атмосферы диоксидом серы и недостаточного использования органических удобрений наиболее перспективной формой устранения дефицита серы в агроэкозонах становятся серосодержащие минеральные удобрения.

Сера в состав минеральных удобрений может входить в растворимой форме (сульфаты и тиосульфаты аммония, калия, магния, тиосульфат кальция), в форме малорастворимых соединений (гипс) или в свободном виде (S^0). Удобрения на основе S^0 вызывают в последнее время особый интерес, поскольку обладают рядом преимуществ по сравнению с другими формами серосодержащих удобрений [12, 13]. К числу таких преимуществ следует отнести отсутствие в свободной сере балластных компонентов, низкую стоимость, пролонгированный период действия, совместимость с другими видами удобрений. Кроме того, производство S^0 -удобрений не требует химической обработки исходного сырья, что существенно снижает опасность загрязнения окружающей среды отходами производства. В отличие от всех остальных форм серосодержащих удобрений, S^0 можно отнести к категории натуральных безбалластных удобрений, производство и применение которых не приводит к загрязнению окружающей среды и выращиваемой продукции тяжёлыми металлами и другими токсичными соединениями.

Сера в свободном виде не усваивается растениями, однако в почвах под влиянием сероокисляющих гетеротрофных бактерий и грибов S^0 постепенно окисляется до $S(VI)$, т. е. до ионов SO_4^{2-} , которые и поглощаются корневой системой. Скорость окисления зависит не столько от видового состава S^0 -окисляющей микрофлоры, сколько от складывающихся почвенно-климатических условий (структуры, химического состава и pH почвы, температуры, характера увлажнения, окислительно-восстановительного потенциала, характера аэрации) [14, 15]. Несмотря на существенные преимущества S^0 по сравнению с другими фор-

мами серосодержащих удобрений, использование этого материала в агрохимии сопряжено с определёнными проблемами. Известно, что S^0 эффективно окисляется почвенной микрофлорой только в тонкодисперсном состоянии [16], вместе с тем внесение сильно пылящего порошка серы в почву представляет угрозу для здоровья человека и животных. Кроме того, молотая сера является пожаро- и взрывоопасным материалом, что накладывает дополнительные требования на условия её транспортирования, хранения и применения. Внесение повышенных доз S^0 в почвы приводит к заметному снижению рН почвенного раствора. Данный эффект может оказать негативное влияние на плодородие кислых почв. Соответствующие проблемы должны быть учтены и минимизированы при производстве эффективных и безопасных S^0 -удобрений.

Цель работы состояла в разработке состава и технологии производства натурального гранулированного серосодержащего удобрения пролонгированного действия на основе молотой серы и других экологически безопасных природных материалов, оказывающих положительное влияние на плодородие почв.

При проектировании состава удобрения учитывались следующие технологические и агроэкологические аспекты:

- удобрение должно представлять собой пожаро- и взрывобезопасный гранулированный продукт, содержащий тонкодисперсную серу с размером частиц 0,05–0,10 мм. При внесении во влажную почву гранулы должны легко рассыпаться, что необходимо для обеспечения достаточной скорости микробиологического окисления S^0 до SO_4^{2-} ;

- в состав удобрения должны быть включены компоненты, обеспечивающие возможность нейтрализации избыточной кислотности почв;

- в состав удобрения должны быть включены компоненты, оказывающие положительное влияние на жизнедеятельность почвенной микрофлоры и устойчивость растений к кислотному стрессу, который может быть вызван образующейся серной кислотой.

Объекты и методы

В качестве источника серы в составе удобрения использовалась сера молотая для сельского хозяйства, содержащая не менее 99,4% S^0 (ГОСТ 127.5-93). Кроме серы в состав удобрения были включены низинный торф высокой степени разложения и глауконитсо-

держащий эфель (побочный продукт добычи и обогащения фосфоритной руды). Согласно составу, получаемое удобрение может быть отнесено к натуральным комплексным органоминеральным удобрениям (ОМУ).

Для получения ОМУ применялся торф Каринского предприятия Кировской области. Содержание гуминовых веществ в торфе составляло 2,7%, содержание фульвокислот – 0,45% (от массы сухого вещества). Определение соответствующих показателей выполнялось по методу И.В. Тюрина в модификации М.М. Кононовой и Н.П. Бельчиковой [17]. В процессе получения ОМУ торф в ультразвуковом кавитационном диспергаторе подвергался интенсивному кавитационному воздействию (активации), что способствовало переходу содержащихся в нём гуминовых компонентов в активное водорастворимое состояние, при этом содержание гумусовых кислот увеличивалось до $18 \pm 2\%$ (на сухое вещество торфа). Включение в состав удобрения торфяных компонентов было направлено на обеспечение следующих эффектов [18, 19]:

- интенсификацию жизнедеятельности почвенных (в том числе сероокисляющих) микроорганизмов;

- детоксикационное и мелиорирующее воздействие на почвы, улучшение почвенной структуры;

- усиление ферментативного аппарата клеток растений;

- активацию ростовых процессов надземных органов и корневой системы;

- оптимизацию процессов миграции элементов минерального питания.

Включаемый в состав ОМУ глауконитсодержащий эфель (ГЭ) отбирался на территории хвостохранилища Верхнекамского фосфоритного рудника в 2017 г. Данный сырьевой компонент представляет собой тяжёлый порошок тёмно-серого цвета с размером частиц менее 1 мм. Истинная плотность – $2400\text{--}2600 \text{ кг/м}^3$, насыпная – $1,8\text{--}1,9 \text{ г/см}^3$.

Состав ГЭ (% масс.): глауконит – 50 ± 5 ; фосфориты мелких фракций – 20 ± 5 ; смесь песка (SiO_2) и глинистого известняка – 30 ± 10 . Средний размер частиц – 0,65 мм (но не более 1 мм). Благодаря химическому составу и комплексу агрохимических характеристик ГЭ является перспективным материалом для использования в качестве самостоятельного удобрения или в качестве компонента других удобрений [20]. Содержащиеся в ГЭ фосфориты и известковые компоненты способствуют нейтрализации образующейся при окислении

S⁰ серной кислоты. Входящие в состав ГЭ фосфор, калий и микроэлементы (Cu, Zn, Co, Cr, Mo) существенно повышают удобрительную ценность ОМУ.

Наиболее значимым компонентом ГЭ является глауконит – природный калийсодержащий водный алюмосиликат слоистого строения. Для глауконита характерны выраженные сорбционные и ионообменные свойства. Внесение глауконита в почвы способствует повышению активности полезной почвенной микрофлоры, оптимизации минерального питания растений, улучшению физико-химических свойств агрозёмов [21, 22].

Кроме повышения агрохимической эффективности, за счёт включения в состав ОМУ торфа и глауконитсодержащего эфеля решались важные технологические задачи: торфяные компоненты выполняли роль связующего, облегчая процесс гранулирования смеси; наличие ГЭ обеспечивало взрыво- и пожаробезопасность готового продукта.

Образцы гранулированного серосодержащего ОМУ получали в лабораторных условиях. Технология включала следующие операции:

- подготовку сырьевых компонентов (высушивание, измельчение до 0,15 мм и просеивание ГЭ);
- обработку водной суспензии серы и торфа в ультразвуковом кавитационном диспергаторе с получением сероторфяной суспензии состава (%): торф – 20, сера – 20, вода – 60;

- смешивание ГЭ и сероторфяной суспензии в массовом отношении 3:2 до однородной пасты с расчётной влажностью 26%;

- получение крупки (способом протирания смеси через металлическую сетку с размером ячеек 2 x 2 мм);

- окатывание крупки на металлическом поддоне;

- подсушивание окатанной крупки до постоянной массы при температуре 90 °С.

Полученные таким образом гранулы выдерживали нагрузку до 1,8 кг на 1 гранулу (соответствующие прочностные характеристики позволяют транспортировать ОМУ в мешках или биг-бэгах).

Изучение влияния полученной формы серосодержащего удобрения на химический состав почвы выполнялось в лабораторных условиях. Определяемые показатели: рН_{водн.}, рН_{KCl}, P₂O_{5подв.}, SO₄²⁻, каталазная активность. Анализ почвы выполнялся через 2 недели после внесения добавок в почву. Продолжительность эксперимента определялась, исходя из результатов ранее выполненных исследований, согласно которым наиболее значимое изменение определяемых показателей наблюдалось через 15–20 дней после внесения соответствующих добавок в почву. В качестве почвы для выполнения эксперимента использовался агрозём, отобранный на пахотном поле вблизи г. Кирова с глубины 5–10 см. Данные о химическом составе агрозёма приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1
Свойства агрозёма, используемого для проведения эксперимента
Properties of agrozem used for the experiment

№	Показатели / Indicators	Значение / Value	Метод определения / Determination method
1	рН _{водн.} , ед. рН / рН _{water} , unit of pH	7,3±0,1	ГОСТ/GOST 26483-85
2	рН _{KCl} , ед. рН / рН _{KCl} , unit of pH	6,5±0,1	ГОСТ/GOST 26483-85
3	Органическое вещество, % Organic matter, %	3,6±0,1	ГОСТ/GOST 26213-91
4	Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг Mobile phosphorus (P ₂ O ₅), mg/kg	80,7±16,1	ГОСТ P/GOST R 54650-2011
5	Калий обменный (K ₂ O), мг/кг Exchange potassium (K ₂ O), mg/kg	12,4±1,2	ГОСТ/GOST 26210-91
6	Нитраты, мг/кг / Nitrates, mg/kg	130±26	ГОСТ/GOST 26951-86
7	Сера подвижная (SO ₄ ²⁻), мг/кг Mobile sulfur (SO ₄ ²⁻), mg/kg	5,8±0,8	ГОСТ/GOST 26426-85
8	Механический состав Mechanical composition	средний суглинок / medium loam	по Н.А. Качинскому мокрым методом / wet method by N. Kachinsky
9	Каталазная активность, мл/г/2 мин Catalase activity, ml/g/2 min	6,3±0,2	газиметрическим методом по Ф.Х. Хазиеву / gasometric method by F. Khaziyeu

Варианты эксперимента: 1) контроль – агрозём без добавок; 2) агрозём + сера (5 мг/кг, или 22 кг/га); 3) агрозём + серо-торфяная суспензия (10 мг/кг (в расчёте на сухое вещество), или 44 кг/га); 4) агрозём + глауконит-содержащий эфель (37 мг/кг или 163 кг/га); 5) агрозём+ ОМУ (47 мг/кг, или 207 кг/га).

Подготовленные образцы агрозёма (грунта) загружались в пластиковые контейнеры, увлажнялись деионизованной водой до 60% от полной влагоёмкости и выдерживались в комнатных условиях (22±2 °С) в течение всего эксперимента. Масса грунта в каждом контейнере составляла 1 кг. Уровень влажности контролировался гравиметрически: при снижении массы контейнера с грунтом на 5%, в него добавлялась деионизованная вода. Эксперимент проводился в 3-х повторностях, полученные результаты обрабатывались стандартным методом (оценка уровня значимости отличия опыта от контроля по критерию Стьюдента).

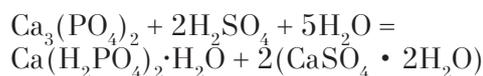
Результаты и обсуждение

В таблице 2 представлены данные о влиянии внесённых добавок на свойства агрозёма (согласно вариантам эксперимента).

Представленные в таблице 2 результаты свидетельствуют о том, что внесение в агрозём ОМУ (вариант 5) позволяет получить более выраженный агрохимический эффект, чем внесение молотой серы (вариант 2), сероторфяной суспензии (вариант 3) или ГЭ (вариант 4). Внесение ОМУ в агрозём приводит к существенному повышению содержания растворимых сульфатов, при этом снижения рН не наблюдается. Отсутствие подкисляющего эффекта объясняется наличием в ОМУ

компонентов (фосфатов и карбонатов кальция), способных эффективно связывать катионы Н⁺. Соотношение серы и нейтрализующих компонентов в предлагаемом составе ОМУ позволяет полностью устранить возможный эффект подкисления.

Под влиянием ОМУ повышается содержание подвижного фосфора в почвах. Данный эффект может быть обусловлен химической активацией содержащихся в почве и ГЭ малорастворимых соединений фосфора. Активирующим агентом выступает серная кислота, образующаяся в результате биохимического окисления S⁰:



Аналогичный процесс реализуется при получении суперфосфата в производственных условиях, однако химическая переработка фосфатных руд является достаточно затратным и экологически опасным процессом, приводящим к загрязнению окружающей среды продуктами кислотного разложения исходного сырья и отходами производства.

Полученные в результате экспериментальных исследований данные были использованы для разработки технологической схемы производства натурального ОМУ, включающего серу молотую для сельского хозяйства (ГОСТ 127.5-93), торф высокой степени разложения и глауконитсодержащий эфель Верхнекамского фосфоритного рудника. Запасы ГЭ на территории хвостохранилища в настоящее время достигают 24 млн т. Вовлечение данного сырья в переработку может иметь большое практическое значение для развития экономики Верхнекамского района Кировской области.

Таблица 2 / Table 2

Изменение состава агрозёма через 2 недели после внесения добавок
Change in the composition of agroseme 2 weeks after the introduction of additives

№	Показатели / Indicators	Варианты эксперимента / Variants				
		1	2	3	4	5
1	pH _{водн.} , ед. рН / pH _{water} , unit of pH	7,3±0,1	7,0±0,1	7,3±0,1	7,4±0,3	7,3±0,1
2	pH _{KCl} , ед. рН / pH _{KCl} , unit of pH	6,5±0,1	6,3±0,1	6,7±0,1	6,7±0,4	6,7±0,1
3	Фосфор подвижный (P ₂ O ₅), мг/кг Mobile phosphorus (P ₂ O ₅), mg/kg	80,7±16,1	86,3±17,3	86,4±17,3	110,4±22,1	122,1±24,4
4	Сера подвижная (SO ₄ ²⁻), мг/кг Mobile sulfur (SO ₄ ²⁻), mg/kg	5,8±0,8	9,3±1,3	9,4±1,3	6,1±0,9	11,2±1,6
5	Каталазная активность, мл/г/2 мин / Catalase activity, ml/g/2 min	6,3±0,2	6,7±0,3	6,6±0,2	6,9±0,3	6,7±0,7

Примечание: жирным шрифтом выделены значения, отличающиеся от контрольных с достоверностью более 0,95.

Note: values in bold are different from the control ones with a confidence level of more than 0.95.

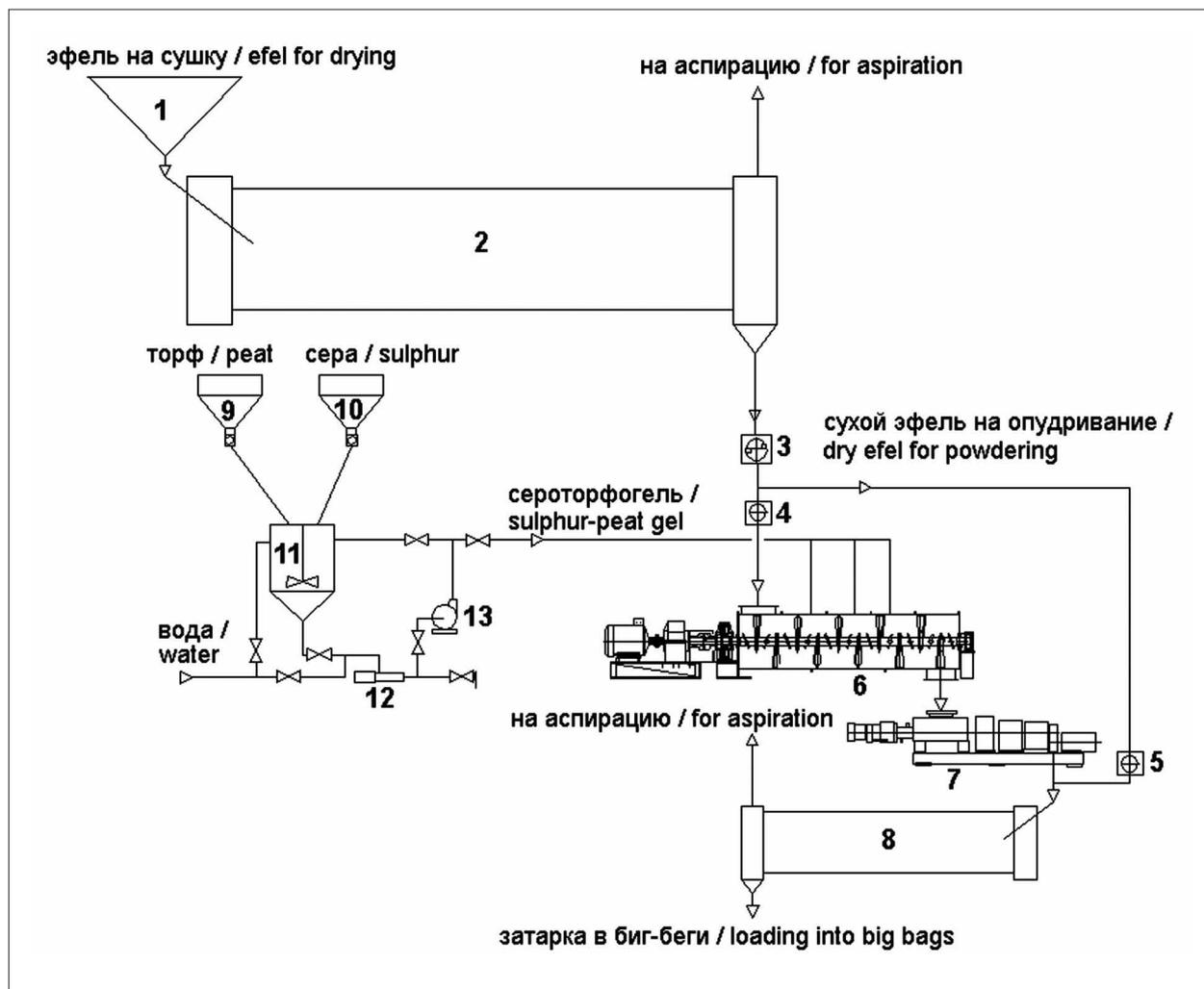


Рис. Общая технологическая схема производства ОМУ: 1 – бункер исходного эфеля на сушку; 2 – барабанная сушилка; 3 – молотковая дробилка; 4 – шлюзовый накопитель эфеля на грануляцию; 5 – шлюзовый питатель эфеля на опудривание; 6 – двухвальный смеситель; 7 – гранулятор формования; 8 – барабанный холодильник-опудриватель гранул; 9 – бункер торфа; 10 – бункер порошковой серы; 11 – бак с мешалкой; 12 – винтовой насос; 13 – кавитационный диспергатор РИА-250
Fig. The general technological scheme for the production of organic-mineral fertilizer: 1 – the bunker of the initial efel for drying; 2 – drum dryer; 3 – hammer crusher; 4 – device of efel storage for granulation; 5 – gateway feeder for dusting; 6 – twin shaft mixer; 7 – molding granulator; 8 – drum cooler-powdering device; 9 – peat bunker; 10 – sulfur powder bunker; 11 – tank with stirrer; 12 – screw pump; 13 – cavitation disperser RIA-250

Общая технологическая схема производства ОМУ представлена на рисунке.

Соответствующая схема включает следующие операции:

Высушивание исходного ГЭ до влажности 3% с последующим пропуском через молотковую дробилку со степенью измельчения $N = 4$ и грохот для получения однородного мелкодисперсного порошка со средним размером частиц 0,15 мм.

Приготовление серо-торфяной суспензии с помощью ультразвукового кавитационного диспергатора. Содержание компонентов в суспензии (масс. %): сера – 20; торфяные компоненты – 20; вода – 60.

Смешивание подготовленного ГЭ (60 масс.%) и сероторфяной суспензии (40 масс.%) в двухвалковом смесителе. В 100 кг полученной смеси будет содержаться: глауконита – 30 кг (в которых калия в виде K_2O 1,5 кг); фосфоритов – 12 кг (в которых фосфора в виде P_2O_5 – 2,8 кг); песка и глинистого известняка – 16 кг; воды эфеля – 2 кг; сухого остатка торфа – 8 кг (в которых гумусовых кислот 1,5 кг); серы (S^0) – 8 кг; воды серо-торфяной суспензии – 24 кг. Влажность полученной смеси (пасты) составит 26 масс.%.

Обработка пасты в турболопастном смесителе-грануляторе для получения крупки размером 1–1,5 мм.

Опудривание крупки высушенным измельчённым ГЭ.

Соответствующая крупка будет представлять собой серно-фосфорно-калийное ОМУ с гуматами. Благодаря высокой водопоглощающей способности глауконита (145% от массы исходного глауконита), дополнительное подсушивание полученной крупки не требуется.

Состав полученного таким образом ОМУ отвечает формуле: SPK -гумат 8:3:1,5-0,5. Содержание глауконита в ОМУ будет составлять 30 масс. %.

При цене исходного торфа 1700 руб./т, эфеля – 1700 руб./т, элементарной серы – 5000 руб./т цеховая себестоимость указанного удобрения составит около 8000 руб./т, что обеспечивает конкурентоспособность ОМУ на рынке минеральных и органоминеральных удобрений.

Заключение

В результате выполненных исследований были разработаны состав и технологическая схема производства натурального гранулированного серного удобрения пролонгированного действия на основе экологически безопасных природных материалов (молотой серы, фосфоритной муки, глауконита, торфа). Актуальность исследований в направлении оптимизации форм и способов применения S^0 в качестве удобрения обусловлена как низкой стоимостью и экологической безопасностью этого материала, так и существенными ресурсами серы, образующейся в нашей стране в качестве побочного продукта переработки нефти и газа. Рациональное использование соответствующих ресурсов имеет большое природоохранное и экономическое значение.

Технология производства удобрения полностью безотходна и отвечает принципам «зелёной химии». Производство ОМУ может быть организовано на предприятиях любой мощности. К достоинствам и конкурентным преимуществам удобрения следует отнести относительно низкую стоимость, совместимость с другими видами удобрений, продолжительный период действия, отсутствие подкисляющего эффекта при внесении удобрения в почву, наличие в удобрении, кроме основного действующего вещества (S^0), фосфора, калия и гумусовых компонентов. Соответствующее ОМУ предназначено для внесения в почвы, характеризующиеся низким содержанием подвижных сульфатов. Наличие в составе удо-

брения тонкодисперсной серы может способствовать проявлению фунгицидного действия, что имеет большое практическое значение для защиты выращиваемых растений от поражения патогенными грибами. Особый интерес соответствующее удобрение может представлять для внесения под такие культуры, как рапс, пшеница, бобовые. В отличие от растворимых серосодержащих удобрений (сульфаты аммония, калия и др.), ОМУ может вноситься в почвы в осенний период. В условиях низких температур микробиологические процессы окисления серы приостанавливаются, поэтому сульфаты в почве не накапливаются, что минимизирует вымывание действующих веществ ОМУ с талыми водами. Благодаря глаукониту удобрение хорошо удерживает воду. Наличие адсорбированной воды имеет большое значение для обеспечения достаточной скорости микробиологического окисления серы в верхних горизонтах почвы, что повышает ценность ОМУ для засушливых регионов РФ, Кавказа, Средней Азии и др.

References

1. Slyusarev V.N. Sulfur in the soils of Caucasian Northwest (agroecological aspects). Krasnodar: KubGAU, 2007. 230 p. (in Russian).
2. Bakry A.B., Sadak M.Sh., El-karamany M.F. Effect of humic acid and sulfur on growth, some biochemical constituents, yield and yield attributes of flax grown under newly reclaimed sandy soils // Journal of Agricultural and Biological Science. 2015. V. 10. No. 7. P. 247–259.
3. Förster S., Welp G., Scherer H.W. Sulfur specification in bulk soil as influenced by long-term application of mineral and organic fertilizers // Plant soil environ. 2012. V. 58. No. 7. P. 316–324. doi: 10.17221/32/2012-PSE
4. Eriksen J., Mortensen J.V. Effects of timing of sulphur application on yield, S-uptake and quality of barley // Plant and Soil. 2002. V. 242. No. 2. P. 283–289. doi: 10.1023/A:1016224209654
5. Houhou M., Joutei K.A., Rais C., Elghadraoui L., Louahlia S. Biomass partitioning and morphological parameters of *Trigonella foenum-graecum* submitted to sulfur deficiency // Indian Journal of Plant Physiology. 2018. V. 23. No. 1. P. 118–127. doi: 10.1007/s40502-018-0351-2
6. Aristarkhov A. Sulfur in agroecosystems of Russia: monitoring of their content in soils and efficiency of application // Mezhdunarodnyi selskokhozyaystvennyi zhurnal. 2016. No. 5. P. 39–47 (in Russian).
7. Katase M., Ushijima T., Tazaki T. The relationship between absorption of sulfur dioxide (SO_2) and inhibition of photosynthesis in several plants // Journal of Plant Research. 1983. V. 96. No. 1. P. 1–13. doi: 10.1007/BF02489570

8. Bristow A.W., Garwood E.A. Deposition of sulphur from the atmosphere and the sulphur balance in four soils under grass // *The Journal of Agricultural Science*. 1984. V. 103. No. 2. P. 463–468. doi: 10.1017/S0021859600047444
9. Guzys S., Aksomaitiene R. Migration of sulphur in limed soils differing in agricultural management // *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2005. V. 71. No. 2. P. 191–201. doi: 10.1007/s10705-004-3175-6
10. Kulhánek M., Balík J., Černý J., Sedlár O., Vašák F. Evaluating of soil sulfur forms changes under different fertilizing systems during long-term field experiments // *Plant Soil Environ*. 2016. V. 62. No. 9. P. 408–415. doi: 10.17221/236/2016-PSE
11. Boye K., Nilsson S.I., Eriksen J. Net sulfur mineralization potential in Swedish arable soils in relation to long-term treatment history and soil properties // *Biology and Fertility of Soils*. 2009. V. 45. No. 7. P. 743–751. doi: 10.1007/s00374-009-0390-y
12. Zhao C., Degryse F., Vadakattu G., McLaughlin M. Modelling of sulfur oxidation from elemental sulfur // *Plant and Soil*. 1993. V. 155–156. No. 1. P. 379–382. doi: 10.1007/BF00025062
13. McLaughlin M.J., Degryse F., da Silva R.C., Baird R. Co-granulated elemental sulfur/sulfate fertilizers and their role in crop nutrition // *Better Crops*. 2015. V. 99. No. 3. P. 7–10.
14. Zhao C., Vadakattu V.S.R.G., Degryse F., McLaughlin M.J. Abundance and diversity of sulphur-oxidising bacteria and their role in oxidising elemental sulphur in cropping soils // *Biology and Fertility of Soils*. 2017. V. 53. No. 2. P. 159–169. doi: 10.1007/s00374-016-1162-0
15. Germida J.J., Janzen H.H. Factors affecting the oxidation of elemental sulfur in soils // *Fertilizer research*. 1993. V. 35. No. 1–2. P. 101–114. doi: 10.1007/BF00750224
16. Boswell C.C., Friesen D.K. Elemental sulfur fertilizers and their use on crops and pastures // *Fertilizer research*. 1993. V. 35. No. 1–2. P. 127–149. doi: 10.1007/BF00750226
17. Kononova M.M., Belchikova N.P. Accelerated methods for determining the composition of humus of mineral soils // *Pochvovedeniye*. 1961. No. 10. P. 75–87 (in Russian).
18. Kirdey T.A. Humic preparations in agrotechnologies // *Zemledeliye*. 2013. No. 5. P. 12–14 (in Russian).
19. Bykova S.L., Sokolov D.A., Nechaeva T.V., Zherebtsov S.I., Ismagilov Z.R. Agroecological assessment of the use of humates in the reclamation of technologically disturbed landscapes // *Vestnik KuzGTU*. 2013. No. 5 (99). P. 58–61 (in Russian).
20. Syrchina N.V., Kozvonin V.A., Sazanov A.V. Glauconite sands of the Vyatka-Kama field and prospects for their practical use in agriculture // *Soils of Russia: yesterday, today, tomorrow. Sbornik statey po materialam Vserossiyskoy s mezhdunarodnym uchastiem nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy Godu ekologii i 90-letiyu so dnya rozhdeniya professora V.V. Tyulina*. Kirov, 2017. P. 108–113 (in Russian).
21. Levchenko M.L. The state of the resource base and the possibility of using glauconites in Russia // *Mineralnye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2008. No. 2. P. 27–31 (in Russian).
22. Terentyev Yu.N., Syrchina N.V., Bogatyryova N.N., Ashikhmina T.Ya., Sazanov A.V., Sazanova M.L., Pugach V.N., Kozvonin V.A., Burkov A.A. The use of glauconite for stabilization and improvement of ammonium nitrate agrochemical properties // *Theoretical and Applied Ecology*. 2018. No. 4. P. 61–67. doi: 10.25750/1995-4301-2018-4-061-067