ЭКОЛОГИЯ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Статья поступила в редакцию: 25.09.2026
Статья принята к публикации: 12.10.2026
Статья опубликована: 07.11.2026

УДК 631.86+628.336.6

Изменение содержания органических и гумусовых веществ в органоминеральных удобрениях на основе осадков сточных вод

Амонова Наргиза Мухтаровна
и. о. доц.
кафедры медицинской и биологической химии
Бухарский государственный медицинский институт
Республика Узбекистан, г. Бухара
E-mail: amonova.nargiza@bsmi.uz

Темиров Уктам Шавкатович
д-р техн. наук, проф.
кафедры химической технологии
Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои

Жураев Илхом Икромович
PhD, доц.
кафедры химической технологии
Навоийский государственный горно-технологический университет
Республика Узбекистан, г. Навои

Changes in the content of organic and humic substances in sewage sludge-based organomineral fertilizers

Amonova Nargiza Mukhtarovna
Acting Associate Professor
Department of Medical and Biological Chemistry
Bukhara State Medical Institute
Republic of Uzbekistan, Bukhara

Temirov Uktam Shavkatovich
doctor of Technical Sciences, Professor
Department of Chemical Technology
Navoi State University of Mining and Technologies
Republic of Uzbekistan, Navoi

Библиографическое описание: Амонова Н.М., Темиров У.Ш., Жураев И.И. Изменение содержания органических и гумусовых веществ в органоминеральных удобрениях на основе осадков сточных вод // Universum: химия и биология : электрон. научн. журн. 2026. 11(149). URL: https://7universum.com/ru/nature/archive/item/23547

Djuraev Ilhom Ikromovich
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
Department of Chemical Technology
Navoi State University of Mining and Technologies
Republic of Uzbekistan, Navoi

Аннотация

Объектом исследования являлись осадки сточных вод (ОСВ) цеха биохимической очистки АО «Навоиазот» и шламовый фосфорит (ШФ) Центральных Кызылкумов. Методология работы включает сернокислотную активацию ШФ (30–70 % от стехиометрии на CaO) с последующим смешиванием с ОСВ (соотношения 100:10–100:40), определение органического вещества методом прокаливания (550 °C), гумусовых веществ — по методу И.В. Тюрина (ГОСТ 26213–91), аминокислотного состава — методом ВЭЖХ (Agilent 1200 DAD) и фазового состава — методом дифрактометрического анализа.

Установлено, что 71,83 % сухого вещества ОСВ представлено органическими соединениями, в составе которых идентифицированы гуминовые кислоты (8,82 %), фульвокислоты (21,61 %), водорастворимые органические вещества (6,16 %) и 16 аминокислот (суммарно 2,02 % на естественную влажную массу). При изменении массового соотношения ОСВ:АШФ от 100:10 до 100: 40 содержание органического вещества в удобрении снижается с 42,16 до 24,10 %, а гумусовых веществ — с 23,33 до 13,33 % (при норме кислоты 30 %). Увеличение нормы кислоты с 30 до 70 % приводит к относительному снижению количества органических и гумусовых веществ на 5,4 % (при соотношении 100:10) и на 11,5 % (при соотношении 100:40). Определены оптимальные параметры процесса (норма H2SO4 — 60 %, соотношение ОСВ:АШФ = 100:30), обеспечивающие сохранение в готовом продукте 25,91 % органических и 14,34 % гумусовых веществ.

Abstract

The objects of the study were sewage sludge (SS) from the biochemical treatment shop of JSC 'Navoiyazot' and slime phosphorite (SP) of the Central Kyzylkum. The methodology included sulfuric acid activation of SP (30–70 % of stoichiometry relative to CaO) followed by mixing with SS (ratios 100:10 to 100:40), determination of organic matter by loss on ignition (550 °C), humic substances by Tyurin's method (GOST 26213–91), amino acid composition by HPLC (Agilent 1200 DAD), and phase composition by X-ray diffraction analysis.

It was established that organic matter accounts for 71,83 % of the SS dry matter, which contains humic acids (8,82 %), fulvic acids (21,61 %), water-soluble organic matter (6,16 %), and 16 amino acids (totaling 2,02 % on an as-received wet basis). As the SS:ASP mass ratio changes from 100:10 to 100:40, the organic matter content in the fertilizer decreases from 42,16 to 24,10 %, and humic substances decrease from 23,33 to 13,33 % (at a 30 % acid rate). Increasing the acid rate from 30 to 70 % leads to a relative decrease in organic and humic matter content by 5,4 % (for a 100:10 ratio) and 11,5 % (for a 100:40 ratio). Optimal process parameters were determined (acid rate of 60 %, SS:ASP = 100:30), ensuring the retention of 25,91 % organic matter and 14,34 % humic substances in the finished product.

Ключевые слова: осадок сточных вод, органическое вещество, гумусовые вещества, гуминовые кислоты, фульвокислоты, аминокислоты, шламовый фосфорит, серная кислота.

Keywords: sewage sludge, organic matter, humic substances, humic acids, fulvic acids, amino acids, slime phosphorite, sulfuric acid.

Введение

Осадки сточных вод (ОСВ) благодаря высокому содержанию органических веществ и биогенных элементов представляют собой перспективное сырье для производства органоминеральных удобрений [7,с.1781-1785;8,с.109283;9,с.61-63]. Агрохимическая ценность подобных удобрений в значительной степени определяется наличием органического вещества и гумусовых соединений (гуминовых и фульвокислот), под действием которых улучшаются структура почвы, её катионообменная емкость и подвижность питательных элементов [10,с.286].

Частичное разложение низкосортных фосфоритов неполной нормой кислот является эффективным способом снижения расхода реагентов [6,с.299-315]. Однако особенности химического взаимодействия активированного фосфатного компонента с ОСВ, а также степень сохранности органических и гумусовых веществ под влиянием кислой среды и солей кальция остаются изученными недостаточно. В наших предыдущих исследованиях, посвященных переработке некондиционных фосфоритов Центральных Кызылкумов, основное внимание уделялось трансформациям форм фосфора [11,с.178; 4,с.78-82].

Цель настоящего исследования - определение органического состава ОСВ АО «Навоиазот» и установление закономерностей изменения содержания органических и гумусовых веществ в процессе совместной переработки с сернокислотно-активированным шламовым фосфоритом в зависимости от нормы кислоты и весовых соотношений компонентов.

Материалы и методы

В работе использован осадок сточных вод цеха биохимической очистки АО «Навоиазот». Исходный характеристический состав ОСВ приведен в таблице 1. При пересчете на сухое вещество доля сухого остатка принята равной 34,57 %.

Аминокислотный состав ОСВ определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на хроматографе Agilent 1200 с диодно-матричным детектором (DAD). Наибольшим содержанием характеризуются следующие аминокислоты (в % на массу естественной влажности): триптофан — 0,4784; глутаминовая кислота — 0,3278; аспарагиновая кислота — 0,2254; лизин (в форме гидрохлорида) — 0,1856; аланин — 0,1842.

Таблица 1. Органический состав исходного осадка сточных вод (ОСВ)

Показатель	На естественную влажность, масс. %	На сухое вещество, % *
Влажность	65,43	–
Зольность	9,74	28,17
Общее органическое вещество	24,83	71,83
Гуминовые кислоты	3,05	8,82

Показатель	На естественную влажность, масс. %	На сухое вещество, % *
Фульвокислоты	7,47	21,61
Водорастворимые органические вещества (ВРОВ)	2,13	6,16
Общий азот	1,17–2,08	–
Аминокислоты (сумма 16 аминокислот)	2,02	–

** Примечание: рассчитано исходя из содержания сухого остатка.*

Шламовый фосфорит (ШФ) Центральных Кызылкумов (P_2O_5 — 8,76–11,57 %; CaO — 41,08–45,32 %) активировали 30 %-ным раствором серной кислоты. Норму серной кислоты (N) рассчитывали в процентах от стехиометрически необходимого количества на разложение CaO, содержащегося в ШФ (от 30 до 70 %):

$$N = \frac{m_{H_2SO_4}}{m_{CaO} \cdot \frac{M(H_2SO_4)}{M(CaO)}} \cdot 100\ \% \quad (1)$$

где m(H_2SO_4) — масса введенной 100 %-ной H_2SO_4, г; m(CaO) — масса CaO в навеске фосфорита, г; M — молярные массы веществ (M(H_2SO_4) = 98,08 г/моль, M(CaO) = 56,08 г/моль).

Процесс активации фосфорита проводили в течение 40 минут, после чего в реакционную массу вводили ОСВ и продолжали перемешивание еще 60 минут. Массовые соотношения ОСВ:АШФ варьировали в интервале 100:10, 100:20, 100:25, 100:30 и 100:40.

Содержание общего органического вещества определяли по потере массы при прокаливании при температуре 550°C. Гумусовые вещества анализировали по методу И.В. Тюрина в модификации (окисление раствором дихромата калия согласно ГОСТ 26213–91). Выделение гуминовых кислот проводили экстракцией 0,1–0,5 М раствором NaOH с последующим осаждением при pH 1,0–1,5 гравиметрическим методом. Содержание фульвокислот определяли высушиванием и прокаливанием кислого фильтрата, а ВРОВ — выпариванием водного экстракта при 105°C. Количество гумусовых веществ (Н) рассчитывали по формуле:

$$\text{Гумус} = \frac{(V_0 - V_1) \cdot N_{Fe} \cdot 0,003 \cdot 1,724 \cdot 100}{m} \quad (2)$$

где V_0 и V_1 — объемы раствора соли Мора ($FeSO_4$), израсходованные на титрование холостной и опытной проб, мл; N(Fe) — нормальность раствора $FeSO_4$; 0,003 — миллиэквивалент углерода, г; 1,724 — коэффициент пересчета органического углерода на гумус; m — масса навески, г.

Результаты и их обсуждение

Характеристика органической части ОСВ. Анализ данных таблицы 1 показывает, что 71,83 % сухого вещества ОСВ представлено органическими соединениями. В составе гумусовых веществ преобладают фульвокислоты, количество которых превышает содержание гуминовых кислот в 2,4 раза (21,61 % против 8,82 % в расчете на сухое

вещество). Доля водорастворимых органических веществ составляет 6,16 % от сухого вещества. Наличие широкого спектра аминокислот свидетельствует об особой биологической активности и легкой минерализуемости определенной части органического вещества ОСВ.

Химическое взаимодействие органических и минеральных компонентов. В процессе кислотной активации карбоксильные группы гумусовых и аминокислот ОСВ вступают во взаимодействие с кальцийсодержащими продуктами реакции с образованием органических солей кальция (карбоксилатов):

$$2\ R\text{-}COOH + CaSO_4 \rightarrow (R\text{-}COO)_2Ca + H_2SO_4 \quad (3)$$

$$2\ R\text{-}COOH + Ca_3(PO_4)_2 \rightarrow (R\text{-}COO)_2Ca + 2\ CaHPO_4 \quad (4)$$

$$2\ R\text{-}COOH + 2\ CaHPO_4 \rightarrow (R\text{-}COO)_2Ca + Ca(H_2PO_4)_2 \quad (5)$$

На дифрактограмме образца, полученного при соотношении ОСВ:АШФ = 100:30 и норме кислоты 60 %, зафиксированы рефлексы (2θ = 32,78° и 33,61°; d = 2,730 и 2,664 Å), отнесенные к фазам карбоксилатов кальция [1,с.48; 3,с.1016] . Для окончательного подтверждения структуры данной фазы рекомендуется проведение ИК-спектроскопического анализа (по фиксации валентных колебаний карбоксилат-иона).

Снижение доли органического вещества и гумусовых соединений при увеличении нормы серной кислоты с 30 до 70 % обусловлено протеканием процессов деструктивного окисления и дегидратации макромолекул гуминовых и фульвокислот под действием агрессивной кислой среды, а также частичным декарбоксилированием аминокислот. Аналогичный эффект деструкции органической матрицы при сернокислотной обработке органосодержащих отходов отмечается в работах [3,с.1015-1018; 2,с.49; 8,с.116]. При этом образование труднорастворимых карбоксилатов кальция ($(R\text{-}COO)_2Ca$) при взаимодействии с ионами Ca^{2+} способствует частичной стабилизации гумусовых кислот и предотвращает их глубокое вымывание, что согласуется с данными [10,с. 296-308; 1,с.45-52; 5,с.1547]. Сравнительный анализ с аналогичными органоминеральными компостами на основе ОСВ показывает, что поддержание нормы кислоты на уровне 60 % позволяет сохранить до 88.5–94.6 % от исходного органического потенциала биошлама, обеспечивая оптимальное соотношение между степенью вскрытия фосфатного сырья и сохранностью гумусового комплекса.

Динамика содержания органических и гумусовых веществ в удобрениях.

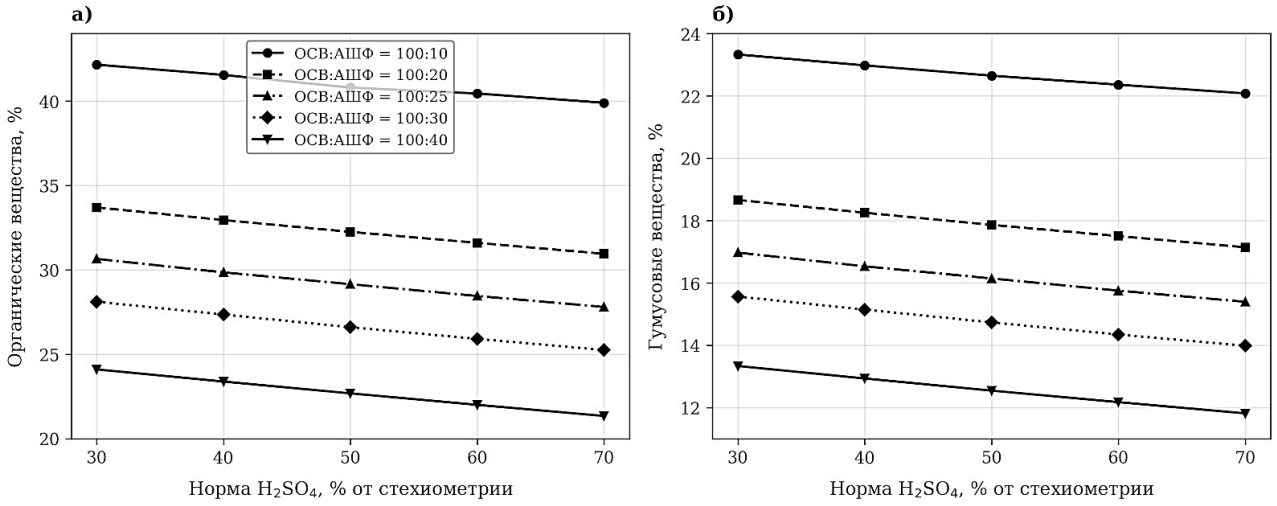


Рисунок 1. Зависимость содержания органических (а) и гумусовых (б) веществ в удобрениях от нормы H_2SO_4 и соотношения ОСВ: ШФ

Результаты исследований зависимости содержания органических и гумусовых веществ от технологических параметров свидетельствуют о том, что определяющим фактором является доля ОСВ. При норме кислоты 30 % и изменении соотношения ОСВ:АШФ от 100:10 до 100:40 содержание органических веществ снижается с 42,16 до 24,10 %, а гумусовых — с 23,33 до 13,33 %, что объясняется разбавлением органической массы минеральной частью.

Увеличение нормы кислоты с 30 до 70 % приводит к умеренному, но закономерному снижению количества органических и гумусовых веществ. Так, при соотношении 100:10 содержание органического вещества снижается с 42,16 до 39,90 % (относительное снижение 5,4 %), при 100:30 — с 28,11 до 25,25 % (10,2 %), а при 100:40 — с 24,10 до 21,34 % (11,5 %). Содержание гумусовых веществ при аналогичных соотношениях уменьшается соответственно с 23,33 до 22,08 %, с 15,56 до 13,98 % и с 13,33 до 11,81 %.

Оптимизация технологического режима показала, что условием, обеспечивающим максимальное сохранение гумусовых веществ и высокую усвояемость фосфора, является норма H_2SO_4 60 % при соотношении ОСВ: АШФ = 100:30. В данном режиме в удобрении сохраняется 25,91 % органических и 14,34 % гумусовых веществ.

Заключение

Органическое вещество осадка сточных вод цеха биохимической очистки АО «Навоиазот» составляет 71,83 % сухого остатка, включая 8,82 % гуминовых кислот, 21,61 % фульвокислот, 6,16 % водорастворимой органики и 2,02 % комплекса из 16 аминокислот. Содержание органических и гумусовых веществ в органоминеральных удобрениях регулируется дозировкой фосфатного компонента и нормой серной кислоты. При увеличении нормы кислоты от 30 до 70 % относительные потери органической части составляют от 5,4 до 11,5 %. Установлены оптимальные параметры процесса производства органоминерального удобрения (норма H_2SO_4 — 60 %, соотношение ОСВ: АШФ = 100:30), позволяющие получить продукт с высоким содержанием питательных и гумусовых компонентов (25,91 % органического вещества, 14,34 % гумусовых соединений).

Список литературы

1. Капустникова С.В., Семенова В.В. Использование осадков сточных вод в производстве органоминеральных удобрений и их влияние на плодородие почвы // Агрохимия. – 2020. – № 5. – С. 45–52.
2. Мирзаев А.У. Намазов SHA. S. Исследование процесса получения органоминеральных удобрений на основе фосфоритов и органических отходов // Узбекский химический журнал. – 2022. – № 3. – С. 45–51.
3. Семенов А.М., Костина Н.В. Трансформация гуминовых и фульвокислот при кислотной переработке органических отходов // Журнал прикладной химии. – 2021. – Т. 94, № 8. – С. 1012–1020.
4. Темиров У.Ш., Журакулов Б.А. Органоминеральные удобрения на основе осадков сточных вод и некондиционных фосфоритов // Научный вестник НамГУ. – 2024. – № 7. – С. 78–82.
5. Barje F., El Fels L., El Hajjouji H., Hafidi M. Biodegradation and transformation of organic matter during co-composting of sewage sludge and agricultural waste // Environmental Technology. – 2020. – T. 41, № 12. – P. 1540–1550. – DOI: 10.1080/09593330.2018.1540662.
6. Chien S.H., Prochnow L.I., Cantarella H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts // Advances in Agronomy. – 2009. – T. 102. – P. 267–322. – DOI: 10.1016/S0065-2113(09)01008-6.
7. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge // Waste and Biomass Valorization. – 2017. – T. 8. – P. 1781–1791. – DOI: 10.1007/s12649-016-9805-9.
8. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops // Journal of Environmental Management. – 2019. – T. 248. – Art. 109283. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109283.
9. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Formulation and evaluation of organo-mineral fertilizers based on sewage sludge optimized for maize and sunflower crops // Waste Management. – 2021. – T. 136. – P. 57–66. – DOI: 10.1016/j.wasman.2021.09.040.
10. Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. – 2nd ed. – New York: Wiley, 1994. – 512 P.
11. Temirov U., Doniyarov N., Jurakulov B., Usanbaev N., Tagayev I., Mamataliyev A. Obtaining complex fertilizers based on low-grade phosphorites // E3S Web of Conferences. – 2021. – T. 264. – Art. 04009. – DOI: 10.1051/e3sconf/202126404009.

References

1. Kapustnikova S.V., Semenova V.V. Use of sewage sludge in the production of organo-mineral fertilizers and their effect on soil fertility // Agrochemistry (Agrokhimiya). – 2020. – No. 5. – P. 45–52. (In Russ.).

2. Mirzaev A.U., Namazov Sh.S. Research into the process of obtaining organo-mineral fertilizers based on phosphorites and organic waste // Uzbek Chemical Journal. – 2022. – No. 3. – P. 45–51. (In Russ.).
3. Semenov A.M., Kostina N.V. Transformation of humic and fulvic acids during acid processing of organic waste // Russian Journal of Applied Chemistry. – 2021. – Vol. 94, No. 8. – P. 1012–1020. – DOI: 10.1134/S107042722108005X.
4. Temirov U.Sh., Zhurakulov B.A. Organomineral'nye udobreniya na osnove osadkov stochnykh vod i nekonditsionnykh fosforitov // Nauchnyj vestnik NamGU. – 2024. – No. 7. (In Russ.).
5. Barje F., El Fels L., El Hajjouji H., Hafidi M. Biodegradation and transformation of organic matter during co-composting of sewage sludge and agricultural waste // Environmental Technology. – 2020. – Vol. 41, No. 12. – P. 1540–1550. – DOI: 10.1080/09593330.2018.1540662.
6. Chien S.H., Prochnow L.I., Cantarella H. Recent developments of fertilizer production and use to improve nutrient efficiency and minimize environmental impacts // Advances in Agronomy. – 2009. – Vol. 102. – P. 267–322. – DOI: 10.1016/S0065-2113(09)01008-6.
7. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. The possibility of organo-mineral fertilizer production from sewage sludge // Waste and Biomass Valorization. – 2017. – Vol. 8. – P. 1781–1791. – DOI: 10.1007/s12649-016-9805-9.
8. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Potentiality of sewage sludge-based organo-mineral fertilizer production in Poland considering nutrient value, heavy metal content and phytotoxicity for rapeseed crops // Journal of Environmental Management. – 2019. – Vol. 248. – Art. 109283. – DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109283.
9. Kominko H., Gorazda K., Wzorek Z. Formulation and evaluation of organo-mineral fertilizers based on sewage sludge optimized for maize and sunflower crops // Waste Management. – 2021. – Vol. 136. – P. 57–66. – DOI: 10.1016/j.wasman.2021.09.040.
10. Stevenson F.J. Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions. – 2nd ed. – New York: Wiley, 1994. – 512 P.
11. Temirov U., Doniyarov N., Jurakulov B., Usanbaev N., Tagayev I., Mamataliyev A. Obtaining complex fertilizers based on low-grade phosphorites // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 264. – Art. 04009. – DOI: 10.1051/e3sconf/202126404009.