ВЛИЯНИЕ СООТНОШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ И УСЛОВИЙ ЭКСТРАКЦИИ НА СОДЕРЖАНИЕ ПИТАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (P, K, Ca) В СОСТАВЕ ЖИДКИХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА И ФОСФОРИТНОГО ШЛАМА

Шодикулов Журабек Мехрикулович

Доцент Навоийского государственного горно-технологического университета. DSc (т.ф.д.)

Темиров Уктам Шавкатович

Профессор Навоийского государственного горно-технологического университета. Профессор

Аннотация: Целью данной работы является изучение влияния соотношения сырьевых компонентов и условий экстракции на содержание питательных элементов (P_2O_5, K_2O, CaO) в составе жидких органоминеральных удобрений, полученных на основе местных отходов — птичьего помёта и фосфоритного шлама в присутствии гидроксида калия (KOH). Исследования проводились в диапазоне массовых соотношений ПП:ФШ от 95:5 до 65:35 и при различных соотношениях твердой и жидкой фаз (Т:Ж от 1:1 до 1:3). Полученные результаты показали, что с увеличением доли фосфоритного шлама содержание фосфора и кальция в жидкой фазе значительно возрастало. Максимальная концентрация питательных элементов зафиксирована при соотношении Т:Ж = 1:1: P_2O_5 – 5,02%, CaO – 3,17% и K_2O – 3,46% (при соотношении компонентов 65:35). Щелочная экстракция гидроксидом калия позволяет переводить труднорастворимый фосфор фосфоритного шлама в доступную для усвоения растениями форму и одновременно обогащать удобрение калием.

Ключевые слова: Птичий помёт, фосфоритный шлам, жидкое органоминеральное удобрение, гидроксид калия, экстракция, фосфор, калий, кальций.

Annotatsiya. shbu maqolada mahalliy chiqindilar — parranda go‘ngi va fosforit shlami asosida kaliy gidroksid (KOH) ishtirokida olingan suyuq organomineral o‘g‘itlarning kimyoviy tarkibi va ozuqa elementlarining (P_2O_5, K_2O, CaO) eruvchanligiga komponentlar nisbati hamda ekstraksiya sharoitlarining ta’siri o‘rganildi. Tadqiqotlar turli og‘irlik nisbatlarida (95:5 dan 65:35 gacha) va qattiq:suyuq fazalar nisbatining 1:1 dan 1:3 gacha bo‘lgan sharoitlarida olib borildi. Natijalarga ko‘ra, fosforit shlami ulushining ortishi tayyor mahsulotda fosfor va kalsiy miqdorining sezilarli ko‘payishiga olib kelishi aniqlandi. Eng yuqori ozuqa elementlari konsentratsiyasi qattiq va suyuq faza nisbati 1:1 bo‘lganda va

ISSN 3030-3907

komponentlar nisbati 65:35 ni tashkil etganda qayd etilib, P_2O_5 – 5,02 %, CaO – 3,17 % va K_2O – 3,46 % ni tashkil etdi. Ishqoriy ekstraksiya usuli qiyin eruvchan fosforni o‘simlik o‘zlashtira oladigan shaklga o‘tkazish va o‘g‘itni kaliy bilan boyitish imkonini beradi.

Kalit so‘zlar: Parranda go‘ngi, fosforit shlami, suyuq organo-mineral o‘g‘it, kaliy gidroksid, ekstraksiya, fosfor, kaliy, kalsiy.

Abstract. The aim of this work is to study the influence of the ratio of raw material components and extraction conditions on the content of nutrients (P_2O_5, K_2O, CaO) in the composition of liquid organo-mineral fertilizers obtained from local waste - poultry manure and phosphorite sludge in the presence of potassium hydroxide (KOH). The studies were carried out in the range of mass ratios of PM:PS from 95:5 to 65:35 and at various ratios of solid and liquid phases (S:L from 1:1 to 1:3). The results showed that with an increase in the proportion of phosphorite sludge, the content of phosphorus and calcium in the liquid phase significantly increased. The maximum concentration of nutrients was recorded at a ratio of S:L = 1:1: P_2O_5 – 5.02%, CaO – 3.17% and K_2O – 3.46% (at a component ratio of 65:35). Alkaline extraction with potassium hydroxide allows converting the poorly soluble phosphorus of phosphorite sludge into a form accessible for plant assimilation and simultaneously enriching the fertilizer with potassium.

Keywords. Poultry manure, phosphorite sludge, liquid organo-mineral fertilizer, potassium hydroxide, extraction, phosphorus, potassium, calcium.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях рост численности населения планеты и необходимость обеспечения продовольственной безопасности диктуют потребность в эффективном использовании удобрений в сельском хозяйстве[1]. Фосфор является одним из важнейших макроэлементов, необходимых для роста и развития растений, и его дефицит приводит к резкому снижению урожайности[2-3]. Однако на фоне сокращения запасов высококачественного фосфоритного сырья для производства традиционных фосфорных удобрений, переработка и утилизация отходов фосфорной промышленности, в частности фосфоритного шлама, становится актуальной экологической и экономической проблемой[4-5].

В Узбекистане в процессе освоения и обогащения фосфоритных месторождений Центральных Кызылкумов образуется значительное количество фосфорсодержащих отходов — фосфоритного шлама и фосфогипса. Несмотря на то, что данные отходы все еще содержат существенное количество фосфора (P_2O_5) и кальция, они не усваиваются растениями напрямую, так как находятся в труднорастворимой форме. В

ISSN 3030-3907

связи с этим требуется разработка эффективных методов повышения растворимости фосфора в низкосортных фосфоритах и промышленных отходах[6].

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР Литературный обзор и теоретические основы исследования последних лет показали, что совместное применение или компостирование фосфоритного шлама с органическими отходами, в частности с птичьим помётом, является перспективным направлением повышения доступности фосфора[7-8]. Птичий помёт богат азотом и органическими веществами; органические кислоты (лимонная, щавелевая, винная и др.), образующиеся в процессе его разложения, обладают способностью растворять труднорастворимые фосфаты кальция в составе фосфоритов, переводя их в доступную для растений форму[9-10].

Кроме того, доказано, что органоминеральные удобрения обладают более высокой эффективностью по сравнению с традиционными минеральными удобрениями в вопросах повышения плодородия почвы и снижения вымывания питательных элементов[11]. Такие удобрения обладают свойством «медленного высвобождения» (slow-release), что обеспечивает стабильное питание растений в течение всего вегетационного периода. Технология получения гуминовых удобрений с помощью щелочной экстракции, в частности с использованием гидроксида калия (KOH), не только активирует фосфор, но и обогащает состав удобрения калием и гуминовыми веществами, жизненно важными для растений[12-13].

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ В качестве основных компонентов в работе были использованы отходы обогащения фосфоритов Центральных Кызылкумов — фосфоритный шлам, а также птичий помёт, полученный в местном птицеводческом хозяйстве. Химический состав фосфоритного шлама (масс. %): P_2O_5 – 11,21; CaO – 42,28; MgO – 0,61; Fe_2O_3 – 1,42; Al_2O_3 – 2,79; SO_3 – 1,46; CO_2 – 20,91; SiO_2 – 12,54. Состав птичьего помёта представлен следующими показателями (масс. %): влажность – 64,82; зольность – 11,89; органическое вещество – 23,29; гуминовые кислоты – 1,12; фульвокислоты – 7,41; водорастворимые органические вещества – 1,28; P_2O_5 – 1,29; N – 1,21; K_2O – 0,95; CaO – 1,61 .

На первом этапе исследований куриный помёт и фосфоритный шлам смешивали в различных массовых соотношениях (95:5, 90:10, 85:15, 80:20, 75:25, 70:30 и 65:35) и гомогенизировали в лабораторной шаровой мельнице в течение 15 минут. Для активации органической и минеральной составляющих, а также перевода гуминовых веществ в растворимое состояние, применялся 2%-й водный раствор гидроксида калия (KOH).

ISSN 3030-3907

Процесс экстракции проводили при варьировании соотношения твердой и жидкой фаз (Т:Ж) как 1:1, 1:1,5, 1:2, 1:2,5 и 1:3. Реакцию осуществляли на водяной бане при температуре 50–60°C при постоянном механическом перемешивании (400 об/мин) в течение 90 минут. В результате была получена пастообразная суспензия темно-коричневого цвета . Полученную пульпу отстаивали и разделяли на жидкую и твердую фазы методом центрифугирования (3000 об/мин). В жидкой фазе определяли: общий азот — методом Кьельдаля; фосфор (P_2O_5) — фотоэлектроколориметрическим методом (КФК-3); калий — методом пламенной фотометрии.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика изменения содержания элементов питания в составе пульпы (суспензии). На начальном этапе исследований был изучен химический состав первичной гомогенной массы — пульпы (суспензии), полученной на основе птичьего помёта (ПП), фосфоритного шлама (ФШ) и раствора гидроксида калия (KOH). Полученные результаты анализа свидетельствуют о том, что увеличение доли минерального компонента (фосфоритного шлама) в смеси приводило к закономерному и значительному повышению содержания питательных элементов, в частности, содержания фосфора и кальция. Согласно экспериментальным данным, при соотношении твердой и жидкой фаз (Т:Ж = 1:1) и варьировании массового соотношения ПП:ФШ от 95:5 до 65:35, содержание общего фосфора (P_2O_5) в суспензии последовательно возрастало с 1,29% до 3,02%. Аналогичная тенденция наблюдалась и в отношении содержания кальция (CaO), показатель которого резко увеличился с 2,63% до 10,03%. Данный факт непосредственно связан с высоким содержанием P_2O_5 (11,21%) и, в особенности, CaO (42,28%) в исходном фосфоритном шламе. При этом, содержание калия (K_2O) в суспензии сохранялось на стабильно высоком уровне при всех исследованных соотношениях, варьируя в пределах 1,14–1,49%. Несмотря на то, что при увеличении доли фосфоритного шлама наблюдалась незначительная тенденция к снижению относительного содержания калия (что обусловлено сокращением доли органической массы), использование раствора KOH в качестве экстрагента обеспечило конечному продукту достаточный уровень калийного питания. Важным технологическим фактором процесса является степень разбавления (соотношение Т:Ж). Результаты опытов показали, что увеличение объема жидкой фазы в процессе экстракции (с 1:1 до 1:3) приводило к естественному снижению концентрации всех питательных элементов в составе суспензии вследствие

ISSN 3030-3907

эффекта разбавления. Например, при фиксированном соотношении ПП:ФШ = 65:35 и Т:Ж = 1:1 содержание P_2O_5 составляло 3,02%, тогда как при разбавлении до 1:3 данный показатель снизился до 1,74%. Установленные закономерности подтверждают, что в условиях щелочной среды и при воздействии умеренных температур (50–60°C) компоненты фосфоритного шлама и птичьего помёта вступают в активное физико-химическое взаимодействие. Результатом данного процесса является образование стабильной суспензии, сбалансированной по составу важнейших для растений макроэлементов.

Таблица 1.

Зависимость содержания P_2O_5, CaO и K_2O в составе суспензии на основе птичьего помёта, фосфоритного шлама и гидроксида калия от массового соотношения компонентов и соотношения твердой и жидкой фаз (Т:Ж)

Массовое соотношение (ПП:ФШ)	Содержание P_2O_5	Содержание CaO	Содержание K_2O
Т : Ж – 1 : 1			
95 : 5	1,29	2,63	1,231
90 : 10	1,61	4,01	1,214
85 : 15	1,92	5,32	1,198
80 : 20	2,21	6,58	1,183
75 : 25	2,49	7,78	1,169
70 : 30	2,76	8,93	1,155
65 : 35	3,02	10,03	1,141
Т : Ж – 1 : 1.5			
95 : 5	1,13	2,31	1,303
90 : 10	1,40	3,49	1,310
85 : 15	1,66	4,61	1,301
80 : 20	1,90	5,66	1,293
75 : 25	2,13	6,65	1,285
70 : 30	2,34	7,59	1,277
65 : 35	2,55	8,48	1,270
Т : Ж – 1 : 2			
95 : 5	1,01	2,06	1,390
90 : 10	1,24	3,10	1,385
85 : 15	1,46	4,06	1,381

ISSN 3030-3907

80 : 20	1,67	4,96	1,376
75 : 25	1,86	5,81	1,373
70 : 30	2,04	6,60	1,369
65 : 35	2,21	7,34	1,366
Т : Ж – 1 : 2.5			
95 : 5	0,91	1,86	1,447
90 : 10	1,12	2,78	1,445
85 : 15	1,31	3,63	1,444
80 : 20	1,49	4,42	1,442
75 : 25	1,65	5,15	1,441
70 : 30	1,80	5,84	1,440
65 : 35	1,95	6,47	1,439
Т : Ж – 1 : 3			
95 : 5	0,83	1,69	1,492
90 : 10	1,01	2,52	1,493
85 : 15	1,18	3,28	1,494
80 : 20	1,34	3,98	1,495
75 : 25	1,48	4,63	1,496
70 : 30	1,62	5,23	1,497
65 : 35	1,74	5,79	1,498

Изменение содержания питательных элементов в жидком удобрении (жидкой фазе). На следующем этапе исследований был проведен анализ химического состава жидкой фазы — готового жидкого органоминерального удобрения, извлеченного из смеси птичьего помёта и фосфоритного шлама с помощью гидроксида калия. Известно, что питательные элементы, перешедшие в жидкую фазу, представляют собой наиболее доступную для усвоения растениями форму. Результаты анализа (табл. 2) показали, что используемое в процессе экстракции соотношение Твердое:Жидкое (Т:Ж) и взаимная пропорция исходных компонентов напрямую определяют агрохимическую ценность получаемого удобрения.

ISSN 3030-3907

Таблица 2.

Зависимость содержания P_2O_5, CaO и K_2O в жидком удобрении, полученном из пульпы на основе птичьего помёта, фосфоритного шлама и гидроксида калия, от массового соотношения компонентов и соотношения твердой и жидкой фаз (Т:Ж)

Массовое соотношение (ПП:ФШ)	Содержание P_2O_5	Содержание CaO	Содержание K_2O
Т : Ж – 1 : 1			
95 : 5	2,84	2,34	3,55
90 : 10	3,33	2,53	3,52
85 : 15	3,76	2,69	3,50
80 : 20	4,14	2,82	3,49
75 : 25	4,48	2,96	3,48
70 : 30	4,77	3,07	3,47
65 : 35	5,02	3,17	3,46
Т : Ж – 1 : 1.5			
95 : 5	1,93	1,54	3,10
90 : 10	2,29	1,66	3,06
85 : 15	2,61	1,76	3,03
80 : 20	2,88	1,83	3,00
75 : 25	3,10	1,90	2,98
70 : 30	3,29	1,96	2,95
65 : 35	3,45	2,01	2,93
Т : Ж – 1 : 2			
95 : 5	1,40	1,09	2,71
90 : 10	1,68	1,17	2,67
85 : 15	1,92	1,24	2,63
80 : 20	2,11	1,29	2,60
75 : 25	2,28	1,34	2,56
70 : 30	2,41	1,37	2,53
65 : 35	2,51	1,40	2,50
Т : Ж – 1 : 2.5			
95 : 5	1,11	0,85	2,51
90 : 10	1,35	0,92	2,47
85 : 15	1,54	0,97	2,43
80 : 20	1,70	1,00	2,40

ISSN 3030-3907

75 : 25	1,82	1,03	2,36
70 : 30	1,92	1,06	2,33
65 : 35	2,00	1,07	2,29
Т : Ж – 1 : 3			
95 : 5	0,95	0,72	2,44
90 : 10	1,15	0,78	2,40
85 : 15	1,31	0,82	2,36
80 : 20	1,44	0,84	2,32
75 : 25	1,55	0,87	2,28
70 : 30	1,63	0,89	2,25
65 : 35	1,68	0,90	2,21

Более высокие показатели концентрации нутриентов были зафиксированы при соотношении Т:Ж = 1:1. В этих условиях при массовом соотношении птичьего помёта и фосфоритного шлама (ПП:ФШ) 95:5 содержание P_2O_5 в жидкой фазе составило 2,84%. При увеличении доли фосфоритного шлама до 35% (соотношение 65:35) было установлено, что концентрация растворимого фосфора в составе жидкого удобрения достигла 5,02%. Данный результат служит доказательством того, что в щелочной среде под воздействием продуктов разложения органической массы птичьего помёта происходила активная солюбилизация труднорастворимых соединений фосфора из шлама и их переход в жидкую фазу. Аналогичная корреляция отмечена и для кальция: с ростом доли фосфоритного шлама содержание CaO в жидкой фазе увеличилось с 2,34% до 3,17%.

Характерным преимуществом данной технологии является значительное обогащение удобрения калием. Применение раствора KOH в качестве экстрагента обеспечило высокую и стабильную концентрацию калия в жидкой фазе. При соотношении Т:Ж = 1:1 во всех исследованных образцах содержание K_2O варьировалось в пределах 3,46% – 3,55%. Это позволяет классифицировать полученный продукт как полноценное комплексное NPK (азотно-фосфорно-калийное) удобрение. Увеличение объема водной фазы в процессе экстракции (с 1:1 до 1:3) привело к закономерному снижению концентрации питательных элементов в полученном растворе. Например, при соотношении ПП:ФШ = 65:35 увеличение объема жидкости в три раза (1:3) привело к снижению содержания P_2O_5 с 5,02% до 1,68%, а K_2O — с 3,46% до 2,21%. Тем не менее, даже при максимальном разбавлении (1:3) состав удобрения оставался насыщенным макроэлементами. Это обуславливает возможность его прямого использования в системах капельного орошения или для внекорневой

ISSN 3030-3907

(листовой) подкормки без необходимости дополнительного разведения водой.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bindraban, P. S., Dimkpa, C., Nagarajan, L., Roy, A., & Rabbinge, R. (2015). Revisiting fertilisers and fertilisation strategies for improved nutrient uptake by plants. *Biology and Fertility of Soils*, 51, 897–911.
2. Chojnacka, K., Moustakas, K., & Witek-Krowiak, A. (2020). Innovative mineral-organic fertilizers from biomass: Production and application. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122517.
3. Namazov, S., Temirov, U., & Usanbaev, N. (2020). Technology of organo-mineral fertilizers based on Kyzylkum phosphorites and local organic waste. *Chemical Industry*, 97(2), 85–91.
4. Moharana, P. C., & Biswas, D. R. (2016). Assessment of maturity indices of rock phosphate enriched composts using variable crop residues. *Bioresource Technology*, 222, 1–13.
5. Turan, V. (2019). Calculated capacities of hydrolyzed poultry manure to solubilize phosphorus from rock phosphate. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 19, 362–371.
6. Adnan, A., Mian, I. A., & Khan, S. (2020). Activation of low-grade phosphate rock by organic acids from poultry manure. *Pedosphere*, 30(2), 200–211.
7. Giroto, A. S., Guimarães, G. G. F., Foschini, M., & Ribeiro, C. (2017). Role of slow-release nanocomposite fertilizers on nitrogen and phosphate availability in soil. *Scientific Reports*, 7, 46032.
8. Lyons, G., & Genc, Y. (2016). Commercial Humates in Agriculture: Real Substance or Smoke and Mirrors? *Agronomy*, 6(4), 50.
9. Khaled, H., & Fawy, H. A. (2011). Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*, 6(1), 21–29.
10. Temirov, U., Namazov, S., & Usanbaev, N. (2020). Intensive technology for processing poultry manure into organic fertilizers. *ChemChemTech*, 63(12), 85–94.
11. Dikinya, O., & Mufwanzala, N. (2010). Chicken manure-enhanced soil fertility and productivity: Effects of application rates. *Journal of Soil Science and Environmental Management*, 1(3), 46–54.
12. Cherdantsev, V., & Tunguskov, E. (2019). Economic and environmental issues of poultry droppings processing. *International Agricultural Journal*, (3), 27-35.
13. Frazão, J. J., et al. (2021). A Poultry Litter-Derived Organomineral Phosphate Fertilizer Has Higher Agronomic Effectiveness Than Conventional Phosphate

ISSN 3030-3907

Fertilizer Applied to Field-Grown Maize and Soybean. *Sustainability*, 13(21), 11635. (Scopus)

ISSN 3030-3907