

Статья поступила в редакцию: 13.08.2026

Статья принята к публикации: 18.08.2026

Статья опубликована: 28.08.2026

УДК 631.86:553.97:661.183

Жидкофазная экстракция гуминовых и фульвокислот из сапропеля, отобранного на высохшем дне Аральского моря, раствором гидроксида калия

Рашитова Шахноза Шухрат кизи

преподаватель

кафедры общенаучных дисциплин, Азиатский международный университет

Республика Узбекистан, г. Бухара

E-mail: rashitovashahnozashuhratqizi@oxi.uz

Амонова Матлуба Мухтаровна

DSc, доц., Бухарский университет инновационного образования и медицины

Республика Узбекистан, г. Бухара

E-mail: matlubamuxtarovna1988@gmail.com

Liquid-phase extraction of humic and fulvic acids from sapropel collected from the dried bed of the Aral sea using potassium hydroxide solution

Shakhnoza Shukhrat kizi Rashitova

lecturer

Department of General Sciences, Asia International University

Uzbekistan, Bukhara

Amonova Matluba Mukhtarovna

DSc, Associate Professor

Bukhara University of Innovative Education and Medicine

Uzbekistan, Bukhara

Аннотация

Сапропель, отобранный на высохшем дне Аральского моря, представляет собой ценное органоминеральное сырьё, гуминовые и фульвокислоты которого могут служить основой для производства жидких органоминеральных удобрений. Цель работы — оптимизировать щелочную экстракцию гуминовых и фульвокислот из сапропеля, отобранного на высохшем дне Аральского моря, раствором КОН и обосновать рациональный технологический режим получения жидкого органоминерального удобрения. Методы исследования: щелочную экстракцию проводили при концентрации КОН 1, 2 и 3 %, температуре 40–90 °С и соотношении жидкость:твёрдое 1:1–3:1; гуминовую и фульвокислоты разделяли кислотным фракционированием, а степень их извлечения определяли гравиметрически. Для гуминовой кислоты она изменялась от 48,89 до 99,54 %, для фульвокислоты — от 44,25 до 93,57 %.

Библиографическое описание: Рашитова Ш.Ш. кизи, Амонова М.М. Жидкофазная экстракция гуминовых и фульвокислот из сапропеля, отобранного на высохшем дне Аральского моря, раствором гидроксида калия // Universum: технические науки : электрон. научн. журн. 2026. 8(149). URL: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/23318>

Максимальные значения получены при 3 % KOH, соотношении Ж:Т = 3:1 и температуре 90 °С. С учётом расхода реагента, воды и энергии в качестве рационального технологического режима рекомендованы 2 % KOH, Ж:Т = 2,5:1 и 80 °С; при этих условиях степень извлечения гуминовой кислоты составила 96,91 %, фульвокислоты — 90,13 %. Установлен следующий ряд влияния факторов: температура > соотношение Ж:Т > концентрация KOH. Полученные результаты могут быть использованы при разработке технологии комплексной безотходной переработки аральского сапропеля с получением жидкого калий-гуматного удобрения и сорбционного материала.

Abstract

Sapropel collected from the dried bed of the Aral Sea is a valuable organomineral raw material. Its humic and fulvic acid fractions can provide a basis for liquid organomineral fertilizers. The objective of this study was to optimize the alkaline extraction of humic and fulvic acids from sapropel collected from the dried bed of the Aral Sea using KOH solution and to substantiate rational operating conditions for producing a liquid organomineral fertilizer. Methods: alkaline extraction was conducted at KOH concentrations of 1, 2, and 3 %, temperatures of 40–90 °C, and liquid-to-solid ratios of 1:1–3:1; humic and fulvic acids were separated by acid fractionation, and their extraction efficiencies were determined gravimetrically. Humic acid extraction ranged from 48.89 to 99.54 %, whereas fulvic acid extraction ranged from 44.25 to 93.57 %. The highest values were obtained with 3 % KOH at a liquid-to-solid ratio of 3:1 and 90 °C. Considering reagent, water, and energy consumption, 2 % KOH, a liquid-to-solid ratio of 2.5:1, and 80 °C were selected as the rational operating conditions. Under these conditions, humic and fulvic acid extraction reached 96.91 and 90.13 %, respectively. The relative influence of the variables followed the order temperature > liquid-to-solid ratio > KOH concentration. The results can support the development of an integrated, low-waste process for Aral Sea sapropel yielding a liquid potassium-humate fertilizer and a solid residue suitable for subsequent sorbent production.

Ключевые слова: сапропель, гуминовая кислота, фульвокислота, гидроксид калия, щелочная экстракция, Аральское море, оптимизация процесса.

Keywords: sapropel, humic acid, fulvic acid, potassium hydroxide, alkaline extraction, Aral Sea, process optimization.

Введение

Сапропель, накопившийся на обширных участках высохшего дна Аральского моря, является природным ресурсом, богатым органическими и минеральными веществами. К его наиболее ценным компонентам относятся гуминовые и фульвокислоты, способные повышать плодородие почв, стимулировать рост растений и снижать подвижность тяжёлых металлов. Поэтому переработка сапропеля с получением жидких органоминеральных удобрений представляет экологический и экономический интерес.

Сапропель представляет собой органоминеральный осадок, сформированный в течение длительного времени в результате накопления и преобразования остатков водных растений, планктона и микроорганизмов в анаэробных условиях.

Помимо гуминовых и фульвокислот, он содержит аминокислоты, витамины, микроэлементы и минеральные компоненты. Карбоксильные ($-\text{COOH}$) и фенольные гидроксильные ($-\text{OH}$) группы гуминовых веществ определяют их катионообменную ёмкость, комплексообразующую способность и участие в ионообменных процессах. В щелочной среде эти группы ионизируются, вследствие чего гуминовые и фульвокислоты переходят в раствор в форме водорастворимых гуматов и фульватов.

Наиболее распространённым способом выделения гуминовых веществ из природного сырья является щелочная экстракция с последующим кислотным фракционированием. Согласно методическим подходам Международного общества гуминовых веществ (IHSS), гуминовые вещества обычно экстрагируют разбавленным раствором щёлочи (NaOH или KOH); при последующем подкислении гуминовая кислота выпадает в осадок, а фульвокислота остаётся в растворе [1, с.1356].

Хотя гидроксид натрия широко применяется как экстрагент, при производстве удобрений предпочтителен KOH : калий является необходимым для растений макроэлементом, а образующиеся калиевые гуматы и фульваты могут непосредственно использоваться в составе жидких удобрений.

Жидкие калий-гуматные удобрения улучшают структуру почвы, повышают активность полезной микробиоты, способствуют усвоению элементов питания и устойчивости растений к стрессовым факторам. Калий дополнительно повышает агрономическую ценность таких удобрений, поскольку участвует в регуляции фотосинтеза, водного режима и ферментативной активности растений. В связи с этим щелочная экстракция гуминовых и фульвокислот из сапропеля раствором KOH является перспективным направлением получения жидкого органоминерального удобрения.

В литературе широко изучено влияние природы и концентрации щёлочи, температуры и продолжительности экстракции на выделение гуминовых кислот из лигнита, торфа, угля и сапропеля [2, с.06002; 3, с.223]. При KOH -гидротермальной обработке лигнита повышение температуры от 130 до 190 °C приводило к увеличению выхода гуминовой кислоты от 20,0 до 90,2 %. Современные исследования подтверждают эффективность щелочного извлечения гуминовых кислот из низкосортных углей и техногенного сырья [4, с.104 – 105; 5, с.2995; 6, с.12211].

Вместе с тем после достижения определённой температуры дальнейший прирост выхода существенно замедляется. Для сапропеля Аральского моря совместное влияние концентрации щёлочи, температуры и соотношения жидкость: твёрдое на извлечение гуминовой и фульвокислот изучено недостаточно системно.

Цель работы — оптимизировать экстракцию гуминовых и фульвокислот из сапропеля, отобранного на высохшем дне Аральского моря, раствором KOH по трём основным факторам и обосновать рациональный технологический режим получения жидкого удобрения.

Материалы и методы

Объектом исследования служил образец сапропеля, отобранный на высохшем дне Аральского моря. По результатам исходного анализа содержание гуминовой кислоты в образце составляло 13,89 %, фульвокислоты — 6,84 %. Образец высушивали до воздушно-

сухого состояния, измельчали и перед экстракцией приводили к однородной дисперсности. Подход к подготовке образца и выделению гуминовых фракций согласован с опубликованными методиками [7, с. 22 – 24].

В качестве экстрагента использовали растворы КОН с концентрацией 1, 2 и 3 %. В каждом опыте сапрпель смешивали с раствором КОН при заданном соотношении жидкость:твёрдое — 1:1; 1,5:1; 2:1; 2,5:1 или 3:1 — и обрабатывали при 40, 50, 60, 70, 80 или 90 °С при постоянном перемешивании. Продолжительность обработки была одинаковой для всех образцов. После экстракции твёрдый остаток отделяли от жидкой фазы фильтрованием или центрифугированием.

Количество перешедших в жидкую фазу гуминовой и фульвокислот определяли по схеме щелочного выделения и кислотного фракционирования, применяемой в методиках IHSS [8, с.47]. Щелочной экстракт подкисляли соляной кислотой до pH 1–2: гуминовая кислота выпадала в осадок, а фульвокислота оставалась в растворе. Фракции определяли гравиметрически в пересчёте на беззольную сухую массу. Степень извлечения каждой кислоты рассчитывали как отношение её количества в экстракте к исходному содержанию в сапрпеле. Опыты выполняли в повторности; в работе приведены средние значения.

$$E = (m_{\text{экс}} / m_0) \times 100 \%, \quad (1)$$

где E — степень извлечения кислоты, %; $m_{\text{экс}}$ — масса кислоты, перешедшей в экстракт, г; m_0 — исходная масса этой кислоты в сапрпеле, г.

Диапазоны факторов выбирали с учётом литературных данных и технологических ограничений. Концентрацию щёлочи варьировали в пределах 1–3 %: более низкая концентрация не обеспечивает достаточной экстракции, а более высокая увеличивает расход реагента и может отрицательно повлиять на свойства продукта. Температуру изменяли от 40 до 90 °С. Соотношение Ж:Т повышали от 1:1 до 3:1; увеличение доли жидкой фазы способствует экстракции, но одновременно повышает затраты на последующее концентрирование раствора.

Результаты и обсуждение

Экспериментальные зависимости степени извлечения гуминовой и фульвокислот от концентрации гидроксида калия, температуры и соотношения жидкость: твёрдое представлены на рисунках 1–5.

На рисунках 1 и 2 показано влияние температуры при 2 % КОН для различных соотношений Ж:Т. При повышении температуры от 40 до 80 °С степень извлечения обеих кислот заметно возрастала. Так, при Ж:Т = 2,5:1 извлечение гуминовой кислоты увеличилось с 65,74 до 96,91 %. При переходе от 80 к 90 °С прирост существенно замедлился (96,91 → 97,69 %), то есть зависимость приблизилась к плато. Такая тенденция согласуется с литературными данными о снижении прироста эффективности экстракции после достижения определённой температуры [9, с.3658].

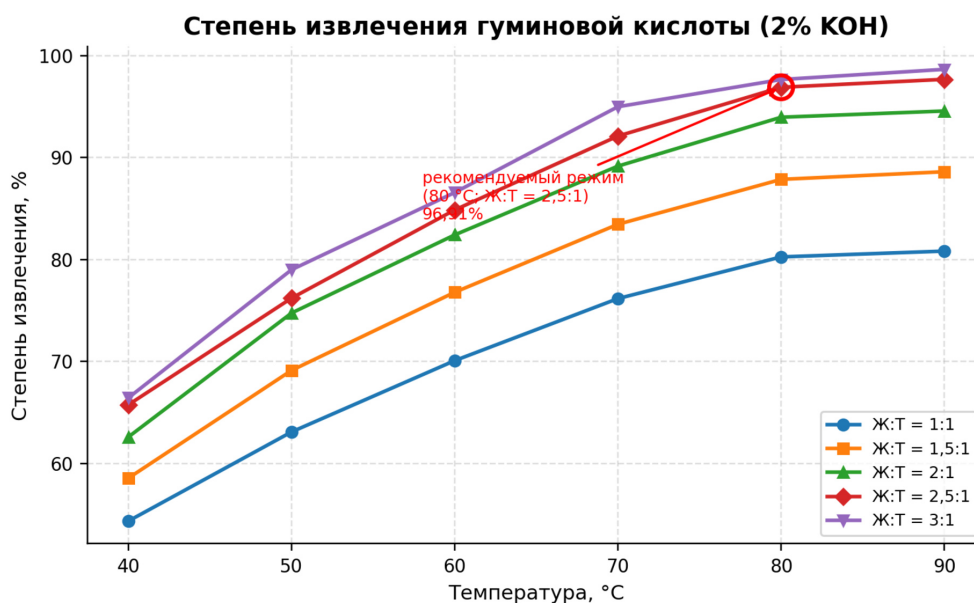


Рисунок 1. Зависимость степени извлечения гуминовой кислоты от температуры при 2 % КОН

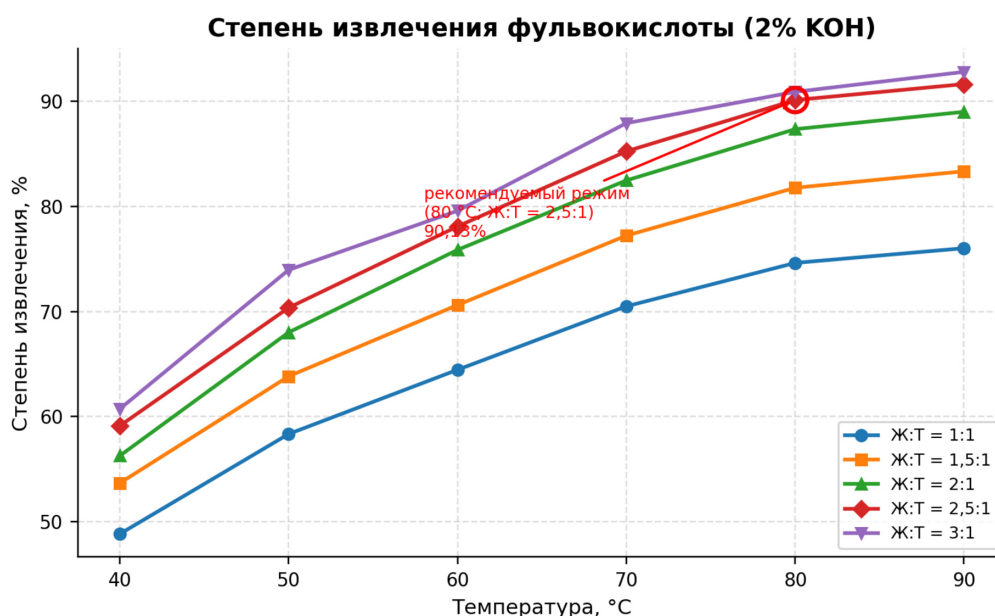


Рисунок 2. Зависимость степени извлечения фульвокислоты от температуры при 2 % КОН

На рисунке 3 представлено влияние концентрации КОН при 80 °С и Ж:Т = 2,5:1. При повышении концентрации КОН с 1 до 2 % степень извлечения гуминовой кислоты увеличилась с 94,97 до 96,91 % (на 1,94 процентного пункта), а при дальнейшем повышении до 3 % — до 97,89 % (ещё на 0,98 процентного пункта). Следовательно, увеличение концентрации щёлочи повышает извлечение, однако величина дополнительного эффекта уменьшается. Использование более 2 % КОН приводит к росту расхода реагента без пропорционального увеличения результата.

На рисунке 4 показано влияние соотношения Ж:Т при 80 °С и 2 % КОН. При его увеличении от 1:1 до 2,5:1 степень извлечения гуминовой кислоты повысилась с 80,26 до 96,91 %. Дальнейшее увеличение до 3:1 обеспечило прирост только на 0,85 процентного пункта — до 97,76 %, тогда как расход экстрагента возрос на 20 %. Для фульвокислоты наблюдалась аналогичная тенденция.

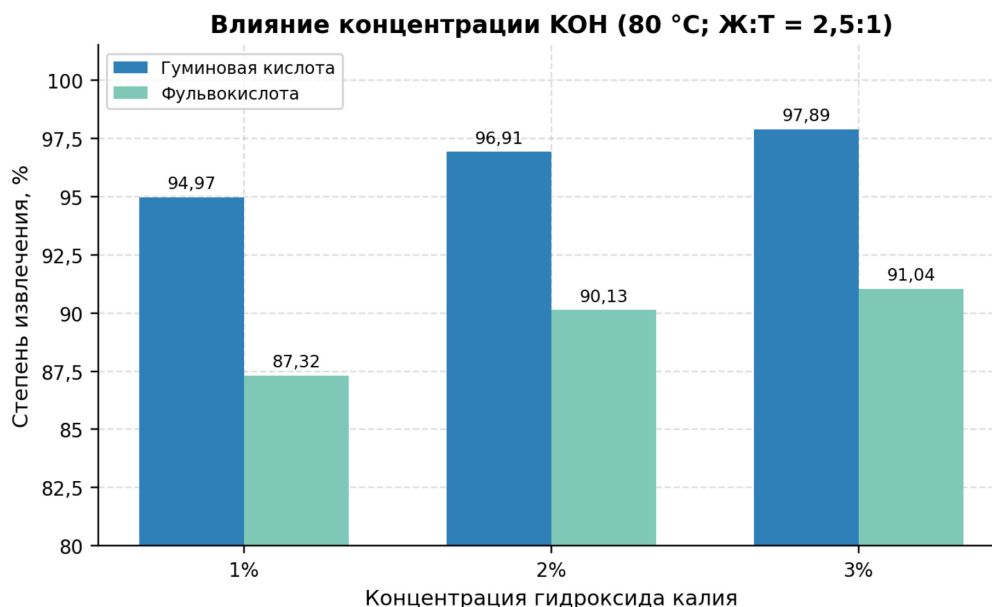


Рисунок 3. Влияние концентрации КОН на извлечение гуминовой и фульвокислот при 80 °С и Ж:Т = 2,5:1

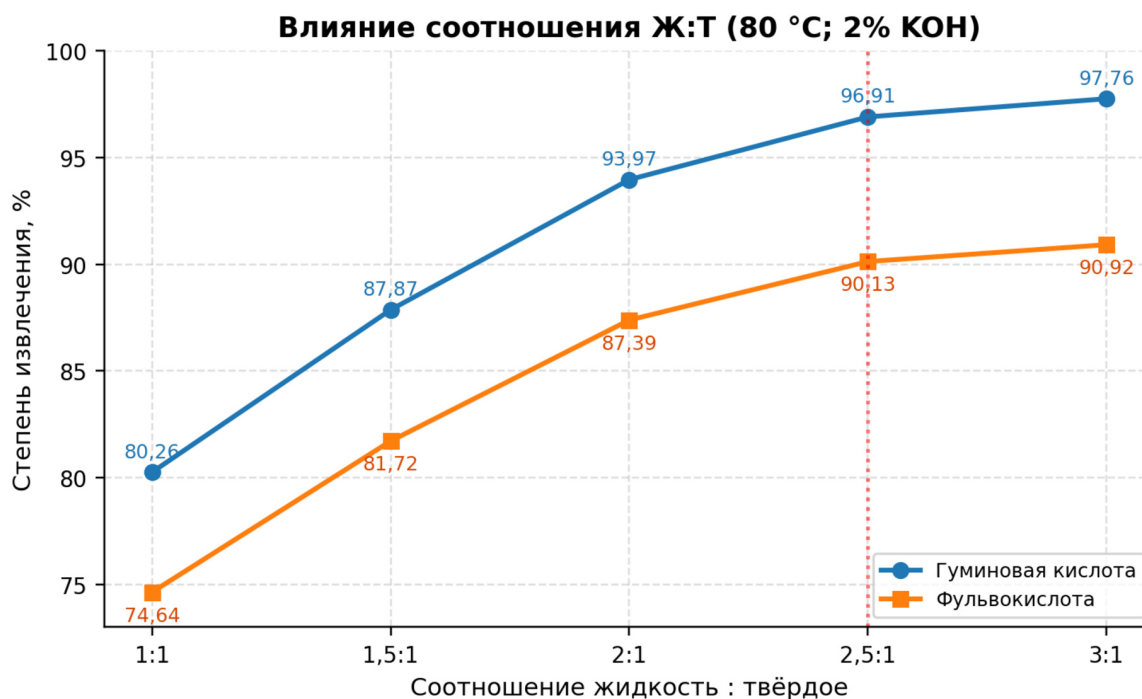


Рисунок 4. Влияние соотношения Ж:Т на извлечение гуминовой и фульвокислот при 80 °С и 2 % КОН

Во всех исследованных режимах расчётная степень извлечения гуминовой кислоты превышала соответствующее значение для фульвокислоты. Это различие может быть связано с характером связывания фракций с минеральной матрицей и особенностями их

последующего кислотного разделения и гравиметрического определения. Обе фракции одинаково направлены реагировали на изменение трёх факторов, что позволяет выбирать единый рациональный режим процесса.

Сопоставление факторов показало, что наиболее выраженное влияние оказывала температура. При 2 % КОН и Ж:Т = 2,5:1 повышение температуры от 40 до 90 °С увеличивало извлечение гуминовой кислоты примерно на 32 процентных пункта — с 65,74 до 97,69 %. Влияние соотношения Ж:Т было средним: при 2 % КОН и 80 °С его повышение от 1:1 до 3:1 увеличивало извлечение примерно на 17,5 процентного пункта — с 80,26 до 97,76 %. Влияние концентрации щёлочи было наименьшим: при 80 °С и Ж:Т = 2,5:1 её повышение от 1 до 3 % обеспечило прирост только на 2,92 процентного пункта — с 94,97 до 97,89 %. Таким образом, факторы располагались в ряду: температура > соотношение Ж:Т > концентрация КОН.

Максимальная степень извлечения получена при 3 % КОН, Ж:Т = 3:1 и 90 °С: 99,54 % для гуминовой и 93,57 % для фульвокислоты. Однако этот режим требует наибольшего расхода реагента, воды и энергии. По сравнению с выбранным рациональным режимом — 2 % КОН, Ж:Т = 2,5:1 и 80 °С — максимальный режим даёт преимущество только на 2,63 процентного пункта для гуминовой и на 3,44 процентного пункта для фульвокислоты, тогда как концентрация КОН возрастает на 50 %, а объём экстрагента и энергозатраты также увеличиваются. Поэтому в качестве технологически рационального режима приняты 2 % КОН, Ж:Т = 2,5:1 и 80 °С. При этих условиях извлечение гуминовой кислоты составляет 96,91 %, фульвокислоты — 90,13 %.

Полученные результаты согласуются с данными литературы: достижение высокой эффективности КОН-экстракции гуминовых кислот из лигнита при повышенной температуре [10,с.30923] и уменьшение дополнительного эффекта по мере роста концентрации щёлочи [11,с.1026; 12,с.38419] подтверждены и для исследованного сапропеля. Сходная технологическая целесообразность применения КОН и выбора умеренного температурного режима показана для угольного и техногенного сырья. Следовательно, раствор КОН средней концентрации, умеренное соотношение Ж:Т и температура 80 °С обеспечивают высокую степень извлечения при ограниченном расходе ресурсов.

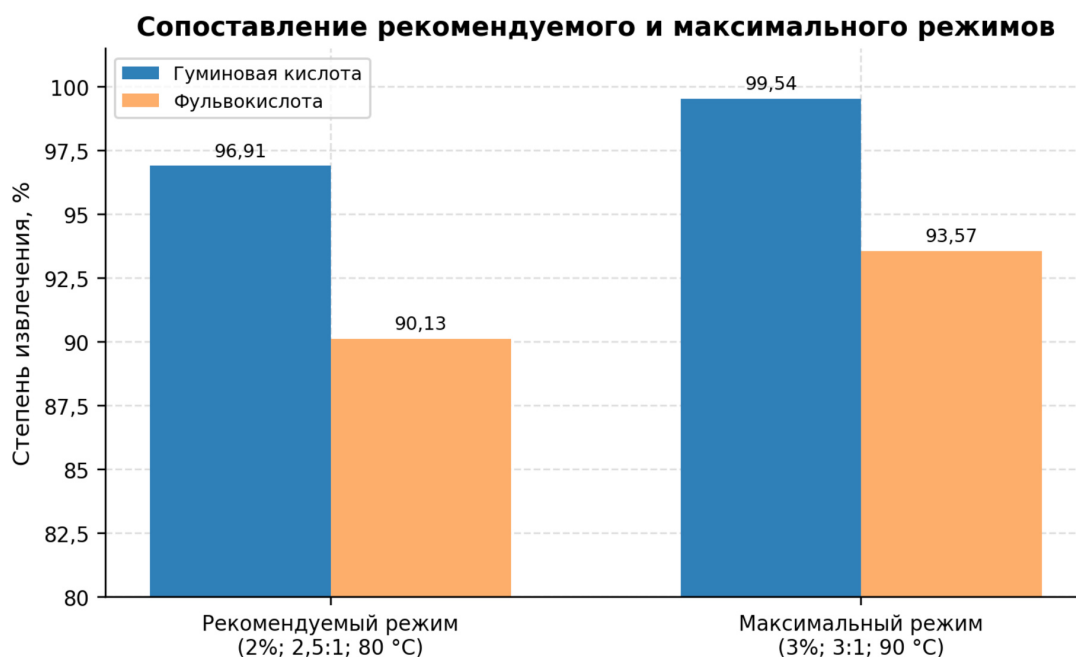


Рисунок 5. Сопоставление рационального и максимального технологических режимов

В щелочной среде карбоксильные и фенольные гидроксильные группы гуминовых и фульвокислот ионизируются, а отрицательно заряженные макромолекулы образуют с ионами калия водорастворимые гуматы и фульваты. Повышение концентрации КОН увеличивает содержание OH^- и способствует более полной ионизации функциональных групп. После исчерпания доступных ионизируемых центров дальнейшее увеличение концентрации щёлочи оказывает лишь ограниченное влияние, что объясняет уменьшающийся прирост на рисунке 3.

Повышение температуры снижает вязкость раствора, ускоряет диффузию и повышает растворимость, а также способствует ослаблению водородных связей и эфирных мостиков, удерживающих гуминовые вещества в минеральной матрице.

После 80 °C основная часть доступных гуминовых веществ уже переходит в раствор, поэтому зависимость приближается к плато. Увеличение соотношения Ж:Т снижает концентрацию растворённых веществ в жидкой фазе, поддерживает концентрационный градиент и смещает равновесие в сторону извлечения. При Ж:Т > 2,5:1 дополнительная жидкость преимущественно разбавляет экстракт, поскольку доступная часть матрицы уже почти исчерпана.

Твёрдый остаток после экстракции также представляет ценное сырьё. После промывки и сушки его можно смешивать в различных массовых соотношениях с алюмосиликатными материалами, включая золошлаковые отходы, для получения сорбентов тяжёлых металлов. Такой подход создаёт предпосылки для комплексной низкоотходной переработки сапропеля по схеме «жидкое удобрение + сорбент» и соответствует принципам циркулярной экономики.

Заключение

Системно изучено влияние концентрации КОН (1, 2 и 3 %), температуры (40–90 °С) и соотношения Ж:Т (1:1–3:1) на щелочную экстракцию гуминовой и фульвокислот из сапропеля Аральского моря. Повышение каждого из трёх факторов увеличивало степень извлечения. Для гуминовой кислоты она изменялась в пределах 48,89–99,54 %, для фульвокислоты — 44,25–93,57 %.

После достижения 80 °С, 2 % КОН и Ж:Т = 2,5:1 прирост эффективности заметно замедлялся, что соответствует физико-химическому механизму процесса.

С учётом расхода реагента, воды и энергии рациональный режим получения жидкого калий-гуматного удобрения включает 2 % КОН, Ж:Т = 2,5:1 и 80 °С. В этом режиме извлечение гуминовой кислоты составляет 96,91 %, фульвокислоты — 90,13 %. Оставшийся после экстракции твёрдый материал может быть использован совместно с золошлаковым алюмосиликатным сырьём для получения сорбентов, что создаёт основу для комплексной низкоотходной переработки сапропеля.

Список литературы

1. Cheng G., Niu Z., Zhang C., Zhang X., Li X. Extraction of humic acid from lignite by KOH-hydrothermal method // *Applied Sciences*. – 2019. – Т. 1356, № 7. – DOI: 10.3390/app9071356.
2. Deryagina M.S., Konyukhova O.M. Determination of humic acid content in sapropel // *BIO Web of Conferences*. – 2023. – DOI: 10.1051/bioconf/20236306002.
3. Garcia D., Cegarra J., Abad M., Fornes F. Effects of the extractants on the characteristics of a humic fertilizer obtained from lignite // *Bioresource Technology*. – 1993. – № 3. – DOI: 10.1016/0960-8524(93)90034-9.
4. Garcia D., Cegarra J., Roig A., Abad M. Effects of the extraction temperature on the characteristics of a humic fertilizer obtained from lignite // *Bioresource Technology*. – 1994. – № 2. – DOI: 10.1016/0960-8524(94)90106-6.
5. Jarukas L., Ivanauskas L., Kasparaviciene G., Baranauskaite J., Marksa M., Bernatoniene J. Determination of organic compounds, fulvic acid, humic acid, and humin in peat and sapropel alkaline extracts // *Molecules*. – 2021. – Т. 2995, № 10. – DOI: 10.3390/molecules26102995.
6. Li H., Ding S., Yuan J. Extraction of humic acids from lignite and its use as a biochar activator // *ACS Omega*. – 2023. – № 13. – DOI: 10.1021/acsomega.2c08192.
7. Li L., Ma L., Li Y., Wang Y., Sun S. Spectroscopic analysis of the effects of alkaline extractants on humic acids isolated from herbaceous peat // *Spectroscopy*. – 2024. – № 3.
8. Li Y., Yuan S. Influence of addition of KOH on the yield and characteristics of humic acids extracted from lignite using NaOH // *SN Applied Sciences*. – 2021. – Т. 47. – DOI: 10.1007/s42452-020-04087-x.
9. Nazarbek U., Abdurazova P., Nazarbekova S., Assylbekova D., Kambatyrov M., Raiymbekov Y. Alkaline extraction of organomineral potassium humate from coal mining waste // *Applied Sciences*. – 2022. – Т. 3658, № 7. – DOI: 10.3390/app12073658.

10. Rani J., Kumari S., Paul B. Extraction and chemical characterization of humic acid produced from lignite coals of arid region of Gujarat, Western India // *Scientific Reports*. – 2024. – Т. 30923. – DOI: 10.1038/s41598-024-81861-6.
11. Swift R.S. Organic matter characterization // *Methods of Soil Analysis. Part 3: Chemical Methods*. – 1996. – DOI: 10.2136/sssabookser5.3.c35.
12. Yang Y., Li Y., Zhang Y., Wang M., Wang P., Liu D. Process condition optimization and structural feature analysis of humic acid extraction from weathered lignite // *ACS Omega*. – 2024. – № 37. – DOI: 10.1021/acsomega.4c01840.