

УДК 662.734:547.992.3:665.6

<https://doi.org/10.70769/2181-4732.ITJ.2026-2.03>

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫДЕЛЕНИЯ ЛИГНИНА ИЗ ОТХОДОВ ХЛОПКОВОЙ ШЕЛУХИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА БУРОВЫХ РЕАГЕНТОВ

Нурмонов Алишер Аслиддин угли<sup>1</sup> – инженер, E-mail: [alishernurmonov3100@gmail.com](mailto:alishernurmonov3100@gmail.com),

ORCID: 0009-0001-8487-2708, Science ID: FNV-0526-0063

Ашуров Муродулло Холбоевич<sup>2</sup> – доцент, E-mail: [ashurov82mx@gmail.com](mailto:ashurov82mx@gmail.com),

ORCID: 0009-0003-3048-9345, Science ID: PQD-0226-0010

Асранова Умида Хамиджон кизи<sup>3</sup> – ассистент, E-mail: [asranovaumida23@gmail.com](mailto:asranovaumida23@gmail.com),

ORCID: 0009-0006-2595-9877, Science ID: MAN-0326-0035

Балтаева Умида Рузимбаевна<sup>4</sup> – докторант (PhD), E-mail: [baltayevaumida31@gmail.com](mailto:baltayevaumida31@gmail.com),

ORCID: 0009-0002-1340-5085, Science ID: FXR-0426-0060

Азимов Сайдулло Хамидович<sup>5</sup> – руководитель центра,

E-mail: [saydullo\\_84@mail.ru](mailto:saydullo_84@mail.ru), ORCID: 0009-0005-8802-9848, Science ID: DAN-0526-0016

<sup>1</sup>АО «Navoiyazot», г. Навои, Узбекистан

<sup>2</sup>Каршинский государственный технический университет, г. Карши, Узбекистан

<sup>3</sup>Андижанский государственный технический институт, г. Андижан, Узбекистан

<sup>4</sup>Национальный университет Узбекистана, г. Ташкент, Узбекистан

<sup>5</sup>Научно-образовательный центр «NEFTGAZ-MALAKA», АО «O‘ZLITINEFTGAZ», г. Ташкент, Узбекистан

**Аннотация.** Отходы хлопкопереработки (шелуха, стебли) в Узбекистане являются крупнотоннажным возобновляемым сырьём для получения лигнина – основы термо- и солейстойких буровых реагентов. Выбор метода выделения лигнина влияет на его чистоту, молекулярную массу, содержание функциональных групп и, как следствие, на эффективность последующей модификации. Сравнение трёх методов выделения лигнина из хлопковой шелухи: щелочной экстракции, кислотного гидролиза и органоэлювентного метода. Щелочная экстракция (1% NaOH, 80 °C, 2 ч), кислотный гидролиз (3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 120°C, 1 ч), органоэлювентный метод (этанол-вода 1:1, 180 °C, 2 ч). Полученные лигнины охарактеризованы по выходу, зольности, элементному составу, содержанию гидроксильных групп (метод ацетилирования), молекулярной массе (ГПХ), структуре (FTIR, <sup>13</sup>C ЯМР), термостабильности (ТГА). Щелочной метод даёт максимальный выход (18,5±0,5%), но высокую зольность (3,2%). Кислотный гидролиз – низкий выход (8,2%), загрязнение серой. Органоэлювентный метод – промежуточный выход (12,4%), низкая зольность (0,8%), более высокая молекулярная масса (M<sub>w</sub>=4,1 кДа) и наибольшее содержание фенольных ОН (4,1 ммоль/г). По термостабильности все образцы близки (T<sub>onset</sub> 200-210 °C). Благодаря высокому выходу и простоте, для производства буровых реагентов оптимальным является щелочной метод, несмотря на более высокую зольность. Органоэлювентный метод предпочтителен для фундаментальных исследований, где требуется высокая чистота лигнина.

**Ключевые слова:** лигнин, хлопковая шелуха, щелочная экстракция, кислотный гидролиз, органоэлювентный метод, выход лигнина, зольность, молекулярная масса.

UO‘K: 662.734:547.992.3:665.6

## BURG‘ILASH REAGENTLARI ISHLAB CHIQRISH UCHUN PAXTA SHELUXASI CHIQINDILARIDAN LIGNIN AJRATIB OLIISH USULLARINING QIYOSIY TAHLILI

Nurmonov Alisher Asliddin o‘g‘li<sup>1</sup> – muhandis

Ashurov Murodullo Xolboyevich<sup>2</sup> – dotsent

Asranova Umida Xamidjon qizi<sup>3</sup> - assistent

**Baltayeva Umida Ruzimbayevna<sup>4</sup>** - doktorant (PhD)  
**Azimov Saydullo Xamidovich<sup>5</sup>** - markaz rahbari

<sup>1</sup>Navoiyazot" AJ muhandisi, Navoiy, O'zbekiston

<sup>2</sup>Qarshi davlat texnika universiteti, Qarshi, O'zbekiston

<sup>3</sup>Andijon davlat texnika instituti, Andijon, O'zbekiston

<sup>4</sup>O'zbekiston Milliy universiteti, Toshkent, O'zbekiston

<sup>5</sup>"NEFTGAZ-MALAKA" ilmiy-ta'lim markazi, "O'ZLITINEFTGAZ" AJ,  
Toshkent, O'zbekiston

**Annotatsiya.** O'zbekistonda paxtani qayta ishlash chiqindilari (sheluxa, g'o'zapoya) termo- va tuzga chidamli burg'ilash reagentlarining asosi bo'lgan lignin olish uchun ko'p tonnajli qayta tiklanuvchi xomashyo hisoblanadi. Ligninni ajratib olish usulini tanlash uning tozaligi, molekulyar massasi, funksional guruhlar miqdori va natijada keyingi modifikatsiyalash samaradorligiga ta'sir qiladi. Paxta sheluxasi (chigit po'stlog'i)dan lignin ajratib olishning uchta usuli: ishqoriy ekstraksiya, kislotali gidroliz va organozolvent usullari o'zaro solishtirildi. Ishqoriy ekstraksiya (1% NaOH, 80 °C, 2 soat), kislotali gidroliz (3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 120 °C, 1 soat), organozolvent usuli (etanol-suv 1:1, 180 °C, 2 soat). Olingan ligninlar unumdorlik, kullik darajasi, elementar tarkibi, gidroksil guruhlari miqdori (atsetillash usuli), molekulyar massasi (GPX), tuzilishi (FTIR, YaMR) va termobarqarorligi (TGA) bo'yicha tavsiflandi. Ishqoriy usul maksimal unumdorlikni (18,5±0,5%) beradi, ammo kullik darajasi yuqori (3,2%). Kislotali gidroliz- past unumdorlik (8,2%) va oltingugurt bilan ifloslanishni ko'rsatdi. Organozolvent usuli - oraliq unumdorlik (12,4%), past kullik (0,8%), yuqori molekulyar massa (M<sub>w</sub>=4,1 kDa) va eng ko'p fenol OH guruhlari (4,1 mmol/g) miqdori bilan ajralib turdi. Termobarqarorlik bo'yicha barcha namunalar bir-biriga yaqin (T<sub>onset</sub>=200-210 °C). Burg'ilash reagentlarini ishlab chiqarish uchun kullik darajasi yuqoriligiga qaramay, yuqori unumdorligi va soddaligi tufayli ishqoriy usul maqbul hisoblanadi. Organozolvent usuli esa ligninning yuqori tozaligi talab etiladigan fundamental tadqiqotlar uchun afzaldir.

**Kalit so'zlar:** lignin, paxta sheluxasi, ishqoriy ekstraksiya, kislotali gidroliz, organozolvent usuli, lignin unumi, kullik, molekulyar massa.

UDC: 662.734:547.992.3:665.6

## COMPARATIVE ANALYSIS OF LIGNIN EXTRACTION METHODS FROM COTTON HUSK WASTE FOR THE PRODUCTION OF DRILLING FLUID REAGENTS

**Alisher Nurmonov<sup>1</sup>**, engineer  
**Murodullo Ashurov<sup>2</sup>**, associate professor  
**Umida Asranova<sup>3</sup>**, assistant  
**Umida Baltayeva<sup>4</sup>**, doctoral student  
**Saydullo Azimov<sup>5</sup>**, head of the center

<sup>1</sup>JSC "Navoiyazot", Navoi, Uzbekistan

<sup>2</sup>Karshi State Technical University, Karshi, Uzbekistan

<sup>3</sup>Andijan State Technical Institute, Andijan, Uzbekistan

<sup>4</sup>National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

<sup>5</sup>"NEFTGAZ-MALAKA", JSC "UZLITINEFTGAS", Tashkent, Uzbekistan

**Abstract.** Cotton processing waste (husks and stalks) in Uzbekistan represents a significant renewable raw material for lignin production, the basis of thermo- and salt-resistant drilling fluid reagents. The choice of lignin extraction method affects its purity, molecular weight, functional group content and, consequently, the efficiency of subsequent modification. Three methods of lignin extraction from cotton husk were compared: alkaline extraction, acid hydrolysis and the organosolv method. Alkaline extraction (1% NaOH, 80°C, 2 h), acid hydrolysis (3% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 120°C, 1 h), organosolv method (ethanol-water 1:1, 180°C, 2 h). The obtained lignins were characterised by yield, ash content, elemental composition, hydroxyl group content (acetylation method), molecular weight

(GPC), structure (FTIR,  $^{13}\text{C}$  NMR) and thermal stability (TGA). The alkaline method gives the maximum yield ( $18.5 \pm 0.5\%$ ), but high ash content (3.2%). Acid hydrolysis gives a low yield (8.2%) and sulfur contamination. The organosolv method gives an intermediate yield (12.4%), low ash content (0.8%), higher molecular weight ( $M_w = 4.1$  kDa) and the highest content of phenolic OH (4.1 mmol/g). In terms of thermal stability, all samples are similar (Tonset 200-210°C). For the production of drilling fluid reagents, the alkaline method is optimal due to its high yield and simplicity, despite its higher ash content. The organosolv method is preferable for fundamental research where high lignin purity is required.

**Keywords:** lignin, cotton husk, alkaline extraction, acid hydrolysis, organosolv method, lignin yield, ash content, molecular weight.

## Введение

Лигнин является вторым по распространённости природным полимером после целлюлозы и рассматривается как перспективное сырьё для получения химических продуктов, включая реагенты для буровых растворов [1]. В Узбекистане отходы хлопковой шелухи, образующиеся в больших количествах на хлопкоочистительных заводах, содержат до 20% лигнина и могут служить дешёвым и возобновляемым источником этого полимера [2].

Для выделения лигнина из растительного сырья разработано несколько методов: щелочная экстракция, кислотный гидролиз, органозольвентные методы, паровой взрыв и другие [3]. Каждый метод даёт лигнин с разной степенью чистоты, молекулярной массой, содержанием функциональных групп и термической стабильностью. Эти характеристики напрямую влияют на последующую химическую модификацию (сульфонирование, карбоксиметилирование) и на свойства конечных буровых реагентов.

В предыдущих работах мы использовали лигнин, полученный щелочной экстракцией, и показали его эффективность в составе сульфонированных и карбоксиметилированных реагентов [4]. Однако вопрос о выборе оптимального метода выделения лигнина из хлопковой шелухи для промышленного производства буровых реагентов остаётся открытым. Настоящая работа посвящена сравнительному анализу трёх наиболее распространённых методов: щелочного, кислотного и органозольвентного.

**Целью работы** является сравнение трёх методов выделения лигнина из отходов хлопковой шелухи - щелочной экстракции, кислотного гидролиза и органозольвентного метода - по следующим критериям: выход, зольность, элементный состав, молекулярно-массовое распределение, содержание гидроксильных групп, структура и термическая стабильность. На основе полученных данных даны рекомендации по выбору метода для производства буровых реагентов.

## Материалы и методы

Хлопковая шелуха получена с хлопкоочистительных предприятий Навоийской области (Узбекистан). Шелуху очищали от механических примесей [5], сушили при 60 °C до постоянной массы [6] и измельчали до размера частиц менее 1 мм [7]. Содержание лигнина в исходной шелухе определяли по методу Класона [8] (TAPPI T222 om-98) -  $18,8 \pm 0,5\%$ .

По методу [9] с модификациями: 100 г шелухи обрабатывали 1 л 1% NaOH при 80 °C в течение 2 ч при перемешивании (300 об/мин). Суспензию фильтровали [10], фильтрат подкисляли концентрированной HCl до pH 2, выдерживали 1 ч для осаждения лигнина. Осадок отделяли центрифугированием [11], промывали дистиллированной водой до нейтральной реакции и сушили при 60°C [6]. Обозначение образца - Л-щел.

По методу [12]: 100 г шелухи обрабатывали 1 л 3%  $\text{H}_2\text{SO}_4$  в автоклаве [13] при 120 °C в течение 1 ч (давление 1,5 атм). После охлаждения суспензию фильтровали [10], твёрдый остаток промывали водой до нейтрального pH и сушили [6]. Лигнин дополнительно не осаждали (оставался в твёрдом остатке вместе с целлюлозой). Для выделения лигнина остаток обрабатывали 1 л 1% NaOH при 60°C в течение 1 ч, затем подкисляли. Обозначение - Л-кисл.

По методу [14]: 100 г шелухи помещали в автоклав [13] с 1 л смеси этанол-вода (1:1), добавляли 0,5%  $H_2SO_4$  (катализатор). Нагревали до 180°C, выдерживали 2 ч. После охлаждения суспензию фильтровали [10], фильтрат упаривали для удаления этанола, затем подкисляли до pH 2. Осадок лигнина центрифугировали [11], промывали водой и сушили [6]. Обозначение - L-орг.

Выход лигнина рассчитывали как отношение массы сухого выделенного лигнина к массе исходной сухой шелухи (%).

Зольность определяли по ГОСТ 11022-95 [15] - прокаливание при 800°C до постоянной массы.

Элементный анализ (C, H, N, S) - на анализаторе Elementar Vario EL III согласно руководству производителя [16]. Содержание кислорода - по разности.

Содержание гидроксильных групп (фенольных и алифатических) определяли методом ацетилирования [17]: навеску 0,5 г лигнина растворяли в 5 мл пиридина, добавляли 5 мл уксусного ангидрида, выдерживали 24 ч при комнатной температуре, затем оттитровывали непрореагировавший ангидрид 0,5 М NaOH.

Гель-проникающая хроматография (ГПХ). Ацетилированные образцы растворяли в ТГФ, анализ проводили на хроматографе Agilent 1260 Infinity с колонкой PLgel 5  $\mu$ m MIXED-C, калибровка по полистиролу [18].

FTIR-спектроскопия. Спектры регистрировали на спектрометре Nicolet iS5 в таблетках KBr в диапазоне 400-4000  $cm^{-1}$  согласно руководству производителя [19].

ЯМР-спектроскопия.  $^{13}C$  ЯМР спектры снимали в растворе DMSO- $d_6$  на спектрометре Bruker Avance III 400 МГц [20].

Термогравиметрический анализ (ТГА). Анализ проводили на синхронном термоанализаторе NETZSCH STA 449 F3 [21] в атмосфере азота (расход 50 мл/мин) при скорости нагрева 10 °C/мин от 30 до 800 °C. Определяли  $T_{onset}$  (5% потери массы), T50% и остаток при 600 °C.

## Результаты и обсуждение

Данные по выходу, зольности и элементному составу приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Выход, зольность и элементный состав лигнинов

| Образец | Выход, % | Зольность, % | C, %     | H, %    | O, %     | S, %    | N, %    |
|---------|----------|--------------|----------|---------|----------|---------|---------|
| L-щел   | 18,5±0,5 | 3,2±0,2      | 61,4±0,3 | 5,2±0,2 | 32,8±0,4 | 0,6±0,1 | 0,2±0,1 |
| L-кисл  | 8,2±0,4  | 1,5±0,2      | 62,1±0,4 | 5,4±0,2 | 30,5±0,5 | 1,8±0,2 | 0,3±0,1 |
| L-орг   | 12,4±0,5 | 0,8±0,1      | 64,2±0,3 | 5,6±0,2 | 29,2±0,4 | 0,2±0,1 | 0,2±0,1 |

Щелочной метод даёт максимальный выход (18,5%), близкий к теоретическому содержанию лигнина в шелухе (18,8%). Однако зольность высока (3,2%), что связано с захватом неорганических солей при щелочной обработке. Кислотный гидролиз даёт наименьший выход (8,2%) из-за частичной деструкции лигнина при высокой температуре в кислой среде; при этом содержание серы повышено (1,8%) из-за сульфирования остаточными группами. Органозольвентный метод даёт промежуточный выход (12,4%), низкую зольность (0,8%) и минимальное содержание серы (0,2%), что свидетельствует о высокой чистоте.

Данные ГПХ и ацетилирования представлены в таблице 2.

**Таблица 2.** Молекулярные массы и содержание ОН-групп

| Образец | $M_w$ , кДа | $M_n$ , кДа | Đ    | Фенольные ОН, ммоль/г | Алифатические ОН, ммоль/г |
|---------|-------------|-------------|------|-----------------------|---------------------------|
| L-щел   | 2,8±0,1     | 1,6±0,1     | 1,75 | 3,2±0,1               | 1,5±0,1                   |
| L-кисл  | 1,9±0,1     | 1,1±0,1     | 1,73 | 2,8±0,1               | 1,0±0,1                   |
| L-орг   | 4,1±0,2     | 2,3±0,2     | 1,78 | 4,1±0,2               | 2,2±0,2                   |

Органозольвентный лигнин имеет наибольшую молекулярную массу ( $M_w=4,1$  кДа) и самое высокое содержание как фенольных, так и алифатических гидроксильных групп. Это

важно для последующей химической модификации, поскольку эти группы являются центрами для сульфирования и карбоксиметилирования. Щелочной лигнин имеет средние показатели, кислотный - наименьшие из-за деструкции.

FTIR-спектры (рис.1) всех образцов показывают характерные полосы лигнина:  $3400\text{ см}^{-1}$  (OH),  $2940\text{ см}^{-1}$  ( $\text{CH}_2$ ,  $\text{CH}_3$ ),  $1600$  и  $1510\text{ см}^{-1}$  (ароматическое кольцо),  $1270\text{ см}^{-1}$  (C-O),  $1120\text{ см}^{-1}$  (C-H). Основное различие - в интенсивности полосы  $1710\text{ см}^{-1}$  (карбонильная группа C=O), которая наиболее выражена у L-кисл (признак окисления) и наименее - у L-орг (более нативная структура).

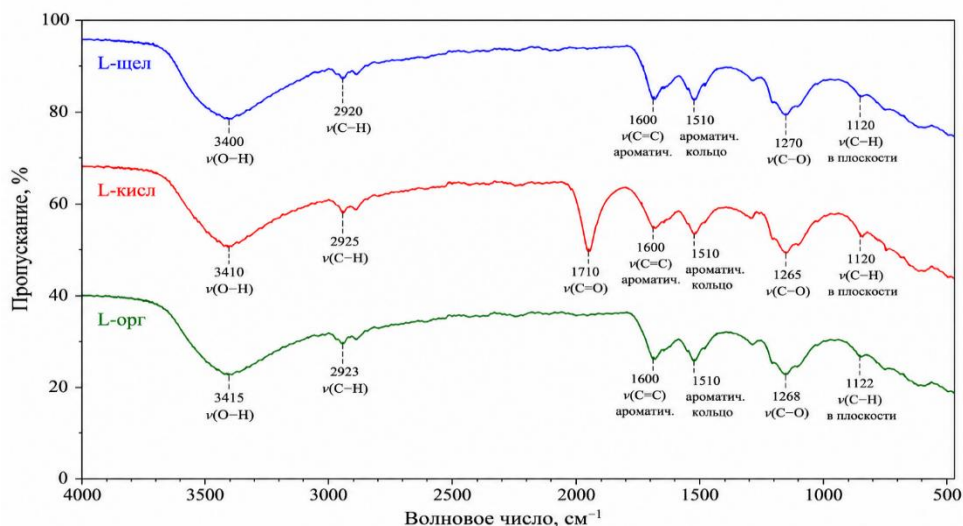


Рис. 1. FTIR-спектры (L-щел, L-кисл, L-орг).

Спектры (рис. 2) подтверждают сохранность ароматической структуры во всех образцах. Сигналы в области 110-150 м.д. соответствуют ароматическим углеродам. В спектре L-кисл появляются дополнительные сигналы в области 170-180 м.д. (карбоксильные группы), что указывает на окисление. В спектре L-орг сигналы лучше разрешены, что говорит о меньшей степени деструкции.

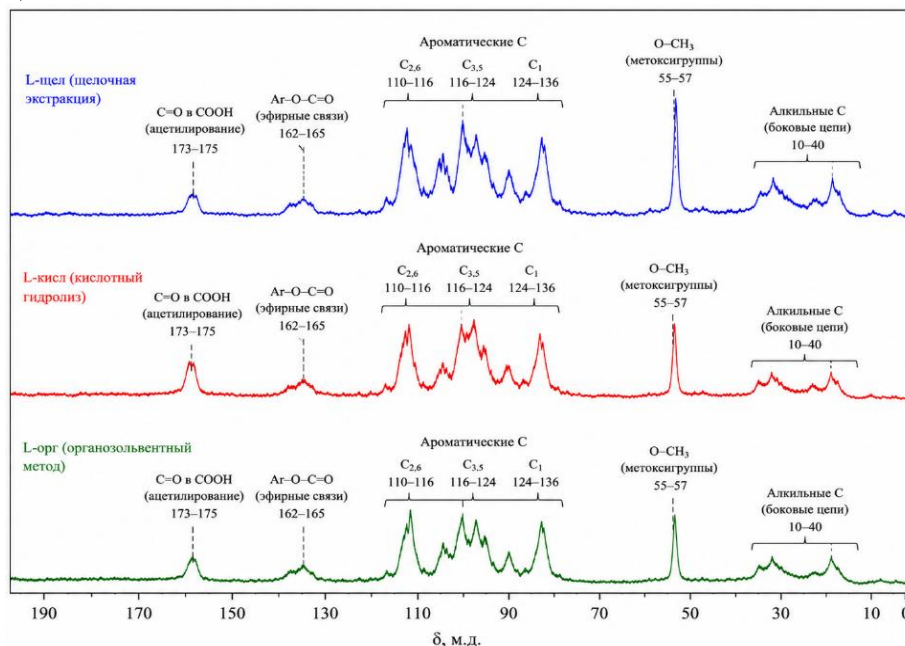


Рис. 2.  $^{13}\text{C}$  ЯМР-спектры.

ТГА-кривые (рис. 3) показывают, что все образцы имеют близкую термостабильность (таблица 3). L-орг имеет несколько более высокий  $T_{onset}$  ( $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), тогда как L-кисл - самый

низкий (200 °C). Остаток при 600 °C коррелирует с зольностью: наибольший у L-щел (28%), наименьший у L-орг (18%).

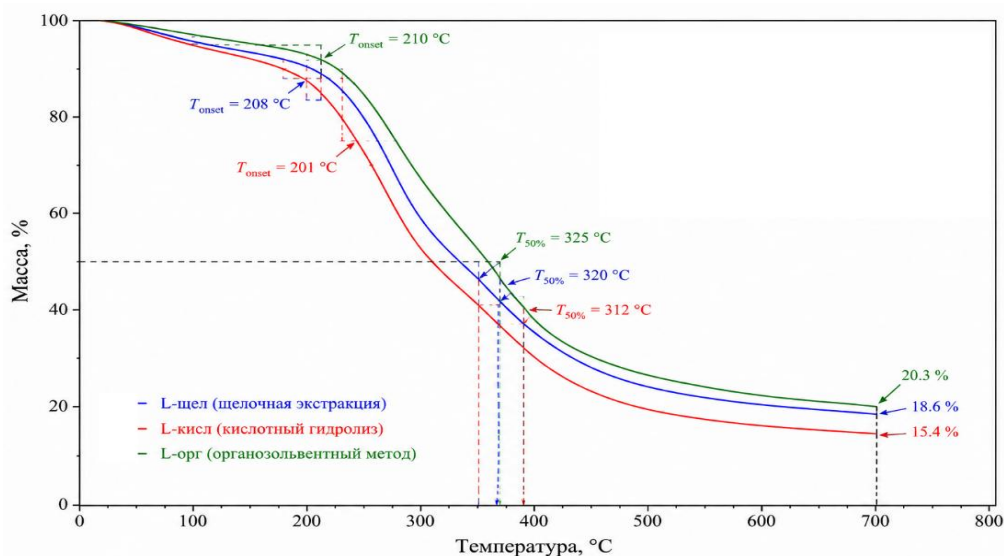


Рис. 3. ТГА-кривые.

Таблица 3. Термические параметры

| Образец | $T_{onset}$ , °C | $T_{50\%}$ , °C | Остаток при 600°C, % |
|---------|------------------|-----------------|----------------------|
| L-щел   | 205±2            | 390±3           | 28±1                 |
| L-кисл  | 200±2            | 370±4           | 22±1                 |
| L-орг   | 210±2            | 395±3           | 18±1                 |

Для промышленного производства буровых реагентов (сульфонированных, карбоксиметилированных) наиболее важны выход и стоимость. Щелочной метод даёт максимальный выход, прост в реализации, не требует автоклавного оборудования. Высокая зольность (3,2%) не является критичным недостатком, так как она не мешает последующей модификации и даже может способствовать диспергированию. Поэтому для производства реагентов рекомендован щелочной метод.

Для фундаментальных исследований (изучение структуры, механизмов реакций) предпочтителен органозольвентный метод, дающий лигнин с наивысшей чистотой, большей молекулярной массой и большим количеством функциональных групп. Кислотный гидролиз не рекомендуется из-за низкого выхода и частичной деструкции лигнина.

### Заключение

Проведено сравнение трёх методов выделения лигнина из отходов хлопковой шелухи: щелочной экстракции, кислотного гидролиза и органозольвентного метода. Щелочной метод обеспечивает максимальный выход (18,5%), но даёт лигнин с высокой зольностью (3,2%). Кислотный гидролиз даёт низкий выход (8,2%) и частично окисленный лигнин. Органозольвентный метод даёт лигнин с высокой чистотой (зольность 0,8%), наибольшей молекулярной массой ( $M_w=4,1$  кДа) и наибольшим содержанием гидроксильных групп (фенольных 4,1 ммоль/г), но требует автоклавного оборудования и имеет умеренный выход (12,4%).

Для промышленного производства буровых реагентов рекомендован щелочной метод как наиболее производительный и экономичный. Для научных исследований структуры лигнина и механизмов модификации предпочтителен органозольвентный метод.

## Литература

- [1] Laurichesse S., Avérous L. Chemical modification of lignins: Towards biobased polymers // *Progress in Polymer Science*. 2014. Vol. 39, No. 7. P. 1266-1290. DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2013.11.004.
- [2] Нурмонов А.А., Ашуров М.Х. Перспективы использования отходов хлопкопереработки в качестве источника технического лигнина // *Узбекский химический журнал*. 2023. № 2. С. 44-49.
- [3] Björkman A. Studies on finely divided wood. Part I. Extraction of lignin with neutral solvents // *Svensk Papperstidn*. 1956. Vol. 59, No. 13. P. 477-485.
- [4] Нурмонов А.А., Ашуров М.Х., Асранова У.Х., Балтаева У.Р., Азимов С.Х. Многофункциональные полимерные реагенты на основе модифицированного лигнина хлопковой шелухи для термо- и солестойких буровых растворов // (в печати). 2025.
- [5] ГОСТ 27813-88. Продукция хлопкоочистительной промышленности. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Издательство стандартов, 1988. 8 с.
- [6] ГОСТ 17177-94. Материалы строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1995. 15 с. (Раздел «Сушка до постоянной массы»).
- [7] ГОСТ 21445-84. Материалы растительные. Подготовка проб для анализа. М.: Издательство стандартов, 1984. 10 с.
- [8] TAPPI T222 om-98. Acid-Insoluble Lignin in Wood and Pulp. TAPPI Press, 1998. 6 p.
- [9] Björkman A. Studies on finely divided wood. Part I. Extraction of lignin with neutral solvents // *Svensk Papperstidn*. 1956. Vol. 59, No. 13. P. 477-485.
- [10] ГОСТ 31866-2012. Фильтры и фильтрование. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с.
- [11] ГОСТ 29129-91. Центрифуги лабораторные. Общие технические требования и методы испытаний. М.: Издательство стандартов, 1991. 14 с.
- [12] Li J., Henriksson G., Gellerstedt G. Lignin depolymerization/repolymerization and its critical role for delignification of aspen wood by steam explosion // *Bioresource Technology*. 2015. Vol. 98, No. 16. P. 3061-3068. DOI: 10.1016/j.biortech.2007.06.029.
- [13] ГОСТ 9990-74. Автоклав для гидротермальной обработки материалов. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1975. 8 с.
- [14] Sarkanen K.V. Lignin // *Methods in Lignin Chemistry* / Ed. by S.Y. Lin, C.W. Dence. Berlin: Springer, 1980. P. 12-34.
- [15] ГОСТ 11022-95. Топливо твёрдое минеральное. Методы определения зольности. М.: Издательство стандартов, 1995. 12 с.
- [16] Elementar. Vario EL III - Operating Instructions. Hanau: Elementar Analysensysteme GmbH, 2018. 45 p.
- [17] Mansouri N.E., Salvadó J. Structural characterization of technical lignins for the production of adhesives: Application to lignosulfonate, kraft, soda-anthraquinone, organosolv and ethanol process lignins // *Industrial Crops and Products*. 2006. Vol. 24, No. 1. P. 8-16. DOI: 10.1016/j.indcrop.2005.10.002.
- [18] Agilent Technologies. Agilent 1260 Infinity GPC/SEC System - User Guide. Santa Clara: Agilent Technologies, 2015. 82 p.
- [19] Thermo Fisher Scientific. Nicolet iS5 FTIR Spectrometer - User Guide. Madison: Thermo Fisher Scientific, 2015. 68 p.
- [20] Bruker Corporation. Avance III 400 MHz NMR Spectrometer - Operation Manual. Billerica: Bruker, 2014. 56 p.
- [21] NETZSCH. STA 449 F3 Jupiter - Operating Manual. Selb: NETZSCH Gerätebau GmbH, 2014. 52 p.