

## CO-PROCESSING OF COTTON SOAPSTOCK, COAL DUST AND POLYMER WASTE BY PYROLYSIS METHOD

Ye.A. Aubakirov<sup>1</sup>, Zh.Kh. Tashmukhambetova<sup>1\*</sup>, Ye.I. Imanbayev<sup>2</sup>, N.D. Nurtazina<sup>1</sup>, B.Zh. Kenzheev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>RSE on PVC "Institute of Combustion Problems", Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: [zheneta@mail.ru](mailto:zheneta@mail.ru)

**Abstract:** *Introduction.* The work is aimed at solving the problems of rational consumption of secondary raw materials on the basis of carbon-containing waste of industries, saturation of the market with additional products and protection of the environment from the toxic effects of waste. *Aim of work:* the study of the co-pyrolysis process of gossypol resin (GR) from cotton soapstock of "Shymkentmay" JSC, coal dust (CD) of Kulan deposit and plastics waste (PW) in N<sub>2</sub> medium. *The methodology of work* included the establishment of optimal modes of the process, determination of yield, composition and properties of pyrolysis products. Analysis of pyrolysis products by IR spectroscopy, XRD, chromatomass spectrometry. Study of the component composition of liquid pyrolysis products by the method of extraction separation in Soxhlet apparatus into oils, asphaltenes and resins. Assessment of perspective of co-pyrolytic processing of carbon-containing wastes from different industries for industrial development. *Results and discussion.* The optimum temperature of GR pyrolysis (T=450 °C) was established, at which the yield of liquid product was on average 33.01 wt.%, gas yield – 60.33 wt.%, yield of solid residue – 6.65 wt.%. The co-pyrolysis of GR and CD at 1:1 ratio and T=500 °C in N<sub>2</sub> atmosphere was investigated for the first time. A high yield of liquid product – 47.34 wt.%, low gas formation – 2.31 wt.% and a large amount of solid residue – 50.34 wt.% were observed, which is apparently due to the formation of coal semicoke and coke. The process of co-pyrolysis of GR, CD with D=90 μm and PW (PE:HPPP – 1:1) at the ratio of 1:1:1 and temperatures of 500 °C-700 °C in N<sub>2</sub> atmosphere was investigated for the first time. It is shown that the main contribution to the formation of liquid products in the given temperature regimes is made by GR and PW. *Conclusion.* Co-processing of carbon-containing wastes was found to be of interest and practical importance, both in terms of obtaining marketable products and maintaining a safe ecology.

**Key words:** gossypol resin, soap stock, biomass, coal dust, polymer waste, pyrolysis, destruction, hydrocarbons, catalysis, pyrolysis products

---

**Citation:** Aubakirov Ye.A., Tashmukhambetova Zh.Kh., Imanbayev Ye.I., Nurtazina N.D., Kenzheev B.Zh. Co-processing of cotton soapstock, coal dust and polymer waste by pyrolysis method. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 3(87), 157-166. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-3.2710-1185.41>

<i>Aubakirov Yermek Aytkazynovich</i>	<i>Doctor of Chemical Sciences, Professor; E-mail: miral64@mail.ru</i>
<i>Tashmukhambetova Zheneta Khalilovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor; E-mail: zheneta@mail.ru</i>
<i>Imanbayev Yerzhan Imanbayevich</i>	<i>PhD, Associate Professor; E-mail: erzhan.imanbayev@mail.ru</i>
<i>Nurtazina Nargiza Dosmurzayevna</i>	<i>Master of Science, PhD student; E-mail: nurtazina.nn@gmail.com</i>
<i>Kenzheev Beibit Zhakhangirkhozhaevich</i>	<i>PhD student; E-mail: beko99999@mail.ru</i>

## СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА ХЛОПКОВОГО СОАПСТОКА, УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ И ОТХОДОВ ПОЛИМЕРОВ МЕТОДОМ ПИРОЛИЗА

*Е.А. Аубакиров<sup>1</sup>, Ж.Х. Ташмухамбетова<sup>1\*</sup>, Е.И. Иманбаев<sup>2</sup>, Н.Д. Нуртазина<sup>1</sup>, Б.Ж. Кенжеев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>РГП на ПВХ «Институт проблем горения», Алматы, Казахстан

\*E-mail: zheneta@mail.ru

**Резюме:** Введение. Работа направлена на решение задач рационального потребления вторичных сырьевых ресурсов на основе углеродсодержащих отходов производств, насыщение рынка дополнительной продукцией и защиту экологии от токсичного воздействия отходов. Цель работы: изучение процесса совместного пиролиза госсиполовой смолы (ГС) из хлопкового соапстока АО «Шымкентмай», угольной пыли (УП) Куланского месторождения и отходов пластмасс (ОП) в среде N<sub>2</sub>. Методология работы включала установление оптимальных режимов проведения процесса, определение выхода, состава и свойств продуктов пиролиза. Анализ продуктов пиролиза методами ИК-спектроскопии, РФА, хроматомасс-спектрометрии. Исследование компонентного состава жидких продуктов пиролиза методом экстракционного разделения в аппарате Сокслета на масла, асфальтены и смолы. Оценка перспективности совместной пиролитической переработки углеродсодержащих отходов различных производств для промышленного освоения. Результаты и обсуждение. Установлена оптимальная температура пиролиза ГС (T=450 °C), при которой выход жидкого продукта составил в среднем 33.01 масс. %, выход газа – 60.33 масс.%, выход твердого остатка – 6.65 масс.%. Впервые исследован процесс совместного пиролиза ГС и УП при соотношении 1:1 и T=500 °C в атмосфере N<sub>2</sub>. При этом наблюдался высокий выход жидкого продукта – 47.34 масс. %, низкое газообразование – 2.31 масс.% и большое количество твердого остатка – 50.34 масс. %, что обусловлено, по-видимому, образованием угольного полукокса и кокса. Впервые исследован процесс совместного пиролиза ГС, УП с D=90 мкм и ОП (ПЭ:ППВД – 1:1) при соотношении 1:1:1 и температурах 500 °C-700 °C в атмосфере N<sub>2</sub>. Показано, что основной вклад в образование жидких продуктов в заданных режимах температур вносят ГС и ОП. Заключение. Установлено, что совместная переработка углеродсодержащих отходов представляет интерес и имеет практически важную направленность, как в плане получения товарных продуктов, так и в плане поддержания безопасной экологии.

**Ключевые слова:** госсиполовая смола, соапсток, биомасса, угольная пыль, отходы полимеров, пиролиз, деструкция, углеводороды, катализ, продукты пиролиза

<i>Аубакиров Ермак Айтказынович</i>	<i>доктор химических наук, профессор</i>
<i>Ташмухамбетова Женета Халиловна</i>	<i>кандидат химических наук, доцент</i>
<i>Иманбаев Ержан Иманбаевич</i>	<i>PhD, ассоциированный профессор</i>
<i>Нуртазина Нургиза Досмурзаевна</i>	<i>магистр естественных наук, PhD докторант</i>
<i>Кенжеев Бейбит Жахангирхожаевич</i>	<i>PhD докторант</i>

## 1. Введение

Целью эксперимента было изучение процесса совместного пиролиза госсиполовой смолы (ГС) из хлопкового соапстока АО «Шымкентмай», угольной пыли (УП) Куланского месторождения и отходов пластмасс (ОП) в среде  $N_2$ . В задачи исследования входило: исследование процесса совместного пиролиза и установление оптимальных режимов проведения процесса, определение выхода, состава и свойств продуктов пиролиза; оценка перспективности совместной пиролитической переработки отходов различных производств для промышленного освоения.

ГС из соапстоков растительных масел представляет собой распространенный возобновляемый источник энергии, обладающий высокой теплотворной способностью и характеризующийся образованием безуглеродных выбросов [1]. В работе [2] было изучено влияние температуры пиролиза соапстока растительного масла (Цзянси, Китай) при температурах 500 °С, 550 °С, 600 °С, 650 °С, 700 °С и 750 °С на выход продуктов. Продукты пиролиза соапстока содержали алканы  $C_3$ - $C_4$ , алкены и небольшое количество  $CO_2$ . Показано, что в условиях высоких температур соли жирных кислот претерпевают декарбоксилирование, расщепление, изомеризацию и другие превращения и легко образуют газовые молекулы. [3]. В результате быстрого пиролиза соапстока при 500 °С был получен жидкий продукт, содержащий алканы, циклоалканы, алкены, циклоалкены, ароматические углеводороды и кислородсодержащие соединения (спирты, альдегиды, кислоты и сложные эфиры). Показано, что ненасыщенные жирные кислоты имеют тенденцию приводить к разрыву связи  $C-C$  с образованием диена с последующей реакцией Дильса-Альдера с другими алкенами с образованием циклоалкенов, циклоалканов и ароматических соединений посредством гидрирования и дегидрирования, соответственно. Установлено, что выход жидких продуктов достигает 90 % при температуре 900 °С [4]. В последние годы, наряду с пиролизом угля, большое внимание уделяется пиролизу биомассы, что особенно важно при переходе на возобновляемое сырье путем совместной переработки биомассы с углем. Совместный пиролиз позволяет за счет водорода, выделяющегося из биомассы, стабилизировать крупные радикалы, образующиеся из угля, что приводит к улучшению качества продуктов [5]. Показано, что при совместном пиролизе торрефицированной (обработанной мягким пиролизом) биомассы и угля выделяется больше смол, меньше угля,  $CH_4$  и  $C_2H_4$ , также снижается выход  $CO$  и  $H_2$  по сравнению с необработанной биомассой [6]. В ряде работ был исследован совместный пиролиз биомассы и угля вместе с другими видами сырья, такими как отходы пластмасс и автошин. Было выявлено, что совместный пиролиз скорлупы арахиса и полипропилена является эффективным методом переработки пластиковых отходов и снижает энергопотребление [7]. Также исследованы характеристики сопиролиза биомассы из рисовой соломы, опилок,

микрористаллической целлюлозы, лигнина и битуминозного угля при 900 °С при скоростях нагрева 10, 15, 20, 25 и 30 °С/мин [8].

## 2. Экспериментальная часть

*Пиролиз исследуемого сырья проводили* в автоматизированной терморегулируемой печи пиролиза с горизонтальным реактором со стальной лодочкой длиной 19.5 см и шириной 1.7 см, в которую загружали 14 г исходного сырья. Температуру в реакторе поддерживали в заданном интервале при помощи змеевиков-холодильников. На входе в реактор с помощью реометра регулировали подачу азота из баллона в интервале значений скоростей 8-9 мл/мин. На выходе из реактора через систему конденсации, состоящую из обратного холодильника, приемника и стеклянных ловушек, охлаждаемых при помощи льда, собирали жидкий продукт, а образующийся газ направляли в газометр [9].

*Компонентный состав жидкого продукта* на содержание асфальтенов определяли «холодным» методом Гольде. Концентрацию смол в полученных мальтенах определяли адсорбционным методом на активированном силикагеле (АСК) в экстракторе Сокслета путем последовательного вымывания масел в н-гексане и смол в этанол-бензольной смеси (1:1).

*ИК-спектры* образцов снимали на ИК-Фурье спектрометре Spectrum 65 FT-IR (Perkin Elmer, США) со спектральным диапазоном: 8300-350 см<sup>-1</sup>.

*Хроматомасс-спектрометрию* газа осуществляли на хроматографе Хромос ГХ-1000 (Россия). Разделение С<sub>1</sub>-С<sub>5</sub> газов проводили на колонке длиной 7 м, диаметром 3 мм с неподвижной фазой ТЭГМ на сферохроме. Процесс проводили в изотермическом режиме при 40 °С. Скорость пропускания газа-носителя гелия (He) составляла 150 мл/мин.

*Рентгенофлуоресцентный анализ* образцов проводили на спектрометре «Фокус-М2» (Россия).

## 3. Результаты и обсуждение

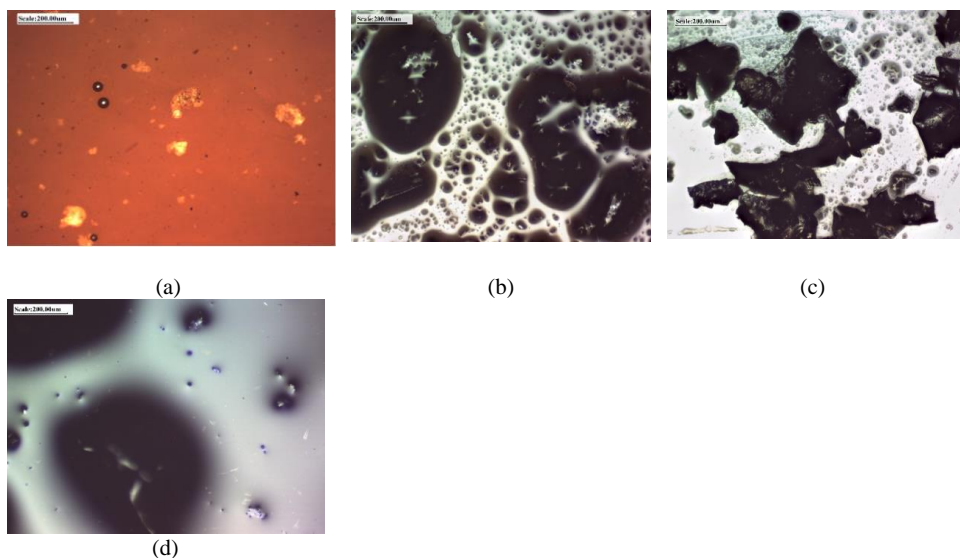
Как известно из литературных источников ГС подвергается дистилляции уже при T=220-230 °С, что обусловлено наличием в ее составе полифенолов, жирных кислот, углеводородов, азот- и фосфорсодержащих соединений, а также продуктов превращения госсиполовой смолы. В ГС содержится до 4 % воды, однако разделить эмульсию невозможно, вследствие ее особой устойчивости. Исследован пиролиз ГС при варьировании температуры процесса от 450 до 550 °С в атмосфере N<sub>2</sub>. Осуществлен расчет материального баланса процесса по каждому эксперименту. В таблице 1 приведены средние значения выхода продуктов пиролиза ГС для 3-х опытов при различных температурах.

**Таблица 1** – Средние значения выхода продуктов пиролиза ГС при разных температурах

T, °C	№ опыта	Жидкий продукт, масс.%	Газ, масс.%	Твердый остаток, масс.%
450	1-3	33.01	60.33	6.65±0.01
500	1-3	19.69	64.00	16.24±0.01
550	1-3	16.23	75.74	8.02±0.01

Для пиролиза ГС оптимальной является  $T=450$  °C. С ростом температуры пиролиза до 550 °C наблюдается снижение выхода жидкого продукта, а также существенное снижение выхода твердого остатка, что может быть объяснено достижением полноты расщепления компонентов ГС до газов пиролиза.

Проведен фотографический анализ поверхности исследуемых образцов исходной ГС и жидких продуктов ее пиролиза при разных температурах и увеличении 200  $\mu\text{m}$  (рисунок 1).



**Рисунок 1** – Фотоэлектронные снимки поверхности исходной ГС - (а), жидкого продукта пиролиза ГС: при  $T=450$  °C (b), при  $T=500$  °C (c), при  $T=550$  °C (d) при увеличении 200  $\mu\text{m}$

ГС представляла достаточно однородную по консистенции вязкую эмульсию со светлыми включениями приблизительно овальной формы (рисунок 1a). При температурах пиролиза ГС 450 °C, 500 °C и 550 °C наблюдалось существенное изменение поверхности жидкого продукта (рисунки 1b, 1c, 1d). При  $T=450$  °C образовалась смолообразная масса с белыми пенообразными включениями. С ростом до 500 °C степень пенообразования снизилась. Уже при 550 °C пена отсутствовала и наблюдалась достаточно неоднородная жидкая смолообразная масса.

Проведен хроматографический анализ газов пиролиза ГС при  $T=500$  °C в атмосфере  $N_2$ . В газах пиролиза присутствуют  $C_1-C_5$  парафины,  $C_2-C_4$  олефины и изо-пентан. Также в газе пиролиза присутствуют CO и  $CO_2$ .

Исследован пиролиз сырья на основе ГС и УП с  $D=90$  мкм при соотношении 1:1 при  $T=500$  °C в атмосфере  $N_2$  (таблица 2). При совместном присутствии ГС и УП – (1:1) наблюдается высокий выход жидкого продукта преимущественно за счет установленного нами вклада ГС; большое количество твердого остатка, что можно объяснить значительным коксообразованием, обусловленным присутствием УП.

**Таблица 2** – Средний выход продуктов пиролиза смеси ГС-УП (1:1) при  $T=500$  °C в среде  $N_2$

T, °C	№ опыта	Жидкий продукт, масс.%	Газ, масс.%	Твердый остаток, масс.%
500	1-3	47.34	2.31	50.34±0.01

Исследовано влияние сырья на основе ГС, УП и ОП при соотношении 1:1:1 на выход продуктов пиролиза при  $T=500, 600$  и  $700$  °C, соответственно, в атмосфере  $N_2$  (таблица 3).

**Таблица 3** – Средний выход продуктов пиролиза смеси ГС-УП-ОП - (1:1:1) при разных температурах в среде  $N_2$

T, °C	№ опыта	Жидкий продукт, масс.%	Газ, масс.%	Твердый остаток, масс.%
500	1-3	22.73	36.70	40.56±0.01
600	1-3	26.55	34.74	38.70±0.01
700	1-4	22.39	40.18	37.42±0.01

При пиролизе смеси ГС-УП-ОП основной вклад в образование жидкого продукта вносят ГС и ОП, которые при более низких температурах пиролиза расщепляются до бензинов и дизтоплив. С повышением температуры до  $700$  °C вклад в образование жидких продуктов и смол преимущественно может вносить УП и ОП, нежели ГС. ГС при высокой температуре преимущественно образует газы пиролиза. Вклад в образование тяжелого остатка с повышением температуры пиролиза преимущественно вносит УП. Как известно, при высокой температуре пиролиза  $450$  °C и выше ОП (ПЭ и ПП) полностью расщепляются до газов и жидких продуктов пиролиза. Твердые отходы пиролиза ГС представлены в незначительных количествах, чем выше  $T$  °C пиролиза, тем выше степень расщепления ГС. Таким образом, в тяжелом остатке преимущественно содержится полукоксы пиролиза УП, как и было ранее нами установлено.

Согласно хроматографическому анализу в газах пиролиза смеси ГС-УП-ОП  $T=700$  °C в среде  $N_2$  установлено присутствие  $C_1-C_5$  парафинов,  $C_2-C_4$  олефинов, изо-пентана. В газе пиролиза обнаружены  $H_2$  и  $O_2$ .

ИК спектры пропускания исходной ГС показали наличие колебаний:  $\nu=3015.08$  ( $-\text{CH}_2$  в фенолах),  $\nu=2925.96$  и  $\nu=2854.29$  ( $-\text{CH}$  и  $-\text{CH}_2$  в жирных кислотах),  $\nu=1710.03$  и  $\nu=1615.74$  ( $\text{C}=\text{O}$  и  $\text{C}=\text{C}$  в жирных кислотах),  $\delta=1454.89$  ( $-\text{OH}$  деформационные и  $-\text{CH}_2$  - веерные и маятниковые в фенолах),  $\nu=1377.59$ ,  $1364.00$ ,  $1287.00$ ,  $1233.00$  ( $-\text{OH}$  в фенолах),  $\nu=1160.00$  ( $\text{C}-\text{C}$  сл. в алканах, симм.  $\text{SO}_2$  в сульфонах).

При  $T=500-600$  °C в ИК спектрах твердого остатка смеси ГС-УП-ОП наблюдаются идентичные колебания как при  $T=700$  °C (таблица 4). Наблюдаются характерные колебания, соответствующие функциональным группам производных жирных кислот, производных фенола, а также угольного полукокса, что соответствовало некоторым данным литературы.

**Таблица 4** – Сравнительные данные ИК спектров пропускания твердого остатка пиролиза смеси ГС-УП-ОП при  $T=500$  °C,  $600$  °C,  $700$  °C в среде  $\text{N}_2$

Колебания	$\lambda$ , $\text{cm}^{-1}$
$-\text{CH}_2$ валентные колебания в фенолах; $\text{Ar}-\text{OH}$ в фенолах и гидропероксидах и $>\text{NH}$ в аминах, валентные колебания амидной группы $\text{NH}_2$	$\nu=3435.79$ ; $3436.43$ ; $3436.55$
$-\text{CH}$ валентные колебания в олеиновой и линолевой кислотах	$\nu=2925.20$ ; $2976.32$ ; $2933.53$
$-\text{CH}_2$ валентные колебания в олеиновой и линолевой кислотах	$\nu=2855.25$
$\text{C}=\text{O}$ и $\text{C}=\text{C}$ валентные колебания в олеиновой и линолевой кислотах	$\nu=1635.63$ ; $1635.03$
$\text{C}=\text{C}$ в ядре с полярным заместителем и $\text{C}=\text{O}$ в хинонах с водородным мостиком	$\nu=1635.63$
$-\text{OH}$ деформационные колебания, $-\text{CH}_2$ - веерные и маятниковые колебания в фенолах	$\nu=1563.41$
$-\text{OH}$ деформационные колебания, $-\text{CH}_2$ - веерные и маятниковые колебания в фенолах	$\delta=1426.74$ ; $1466.00$ ; $1430.03$
Ароматические, $\text{C}-\text{H}$ колебания	$\nu=881.05$ ; $877.13$ ; $873.22$

Согласно данным РФА образцов твердого остатка пиролиза ГС, УП с  $D=90$  мкм, ГС-УП (1:1) при  $T=500$  °C, в среде азота в твердых образцах пиролиза УП отсутствуют такие элементы как  $\text{Cr}$  и  $\text{Ni}$ , в отличие от ГС. В образце пиролиза ГС отсутствует  $\text{Ti}$ . Все образцы обогащены преимущественно  $\text{Fe}$ .

#### 4. Заключение

Таким образом впервые предпринята попытка совместного пиролиза отходов на основе ГС из soapстока производства хлопкового масла (АО Шымкентмай), УП Куланского месторождения с  $D=90$  мкм и ОП на основе

ПЭ и ПП (1:1). Подобраны исходные соотношения компонентов сырья. Установлен оптимальный температурный режим проведения процессов при скорости подачи N<sub>2</sub> 8-9 мл/мин; выходы и составы продуктов пиролиза. Проведен анализ продуктов методами хроматомасс-спектрометрии, ИКС, РФА и экстракционного разделения с целью установления фракционного состава жидкого продукта. Установлено, что газы пиролиза исследуемых смесей отходов представляют ценные источники углеводородов состава: C<sub>1</sub>-C<sub>5</sub> парафины, C<sub>2</sub>-C<sub>4</sub> олефины, изо-пентан. При совместном использовании ГС, УП и ОП с ростом температуры до 700 °С основной вклад в газообразование, по-видимому, вносят ГС и ОП, и незначительное количество УП. Твердый остаток преимущественно представлен коксом и полукоксом – продуктами термодеструкции УП. В жидких продуктах пиролиза обнаружены масла, смолистые вещества и твердый остаток. Очевиден синергетический эффект, так как вследствие деструкции полифенолов и жирных кислот ГС образуется H<sub>2</sub>, который стабилизирует углеводородные радикалы деструкции УП и ОП, в результате этого образуются олефины, ароматические углеводороды и смолистые вещества. Так, в жидком продукте пиролиза ГС при 500 °С установлено содержание 24.6 масс. % масел, 73.3 масс. % смолы, 9.1 масс. % твердого остатка, а в ГС-УП – 25.0 масс. % масел, 72.5 масс. % смолы, 2.1 масс. % твердого остатка, соответственно. Для сравнения в продуктах пиролиза ГС-УП-ОП с ростом температуры до 700 °С установлено содержание 64.0 масс. % масел, 23.8 масс. % смолы, 12.2 масс. % твердого остатка. Методом РФА твердого остатка пиролиза установлено присутствие металлов, которые могут проявлять в ходе процесса каталитические свойства и изменять направления превращения продуктов пиролиза.

Таким образом, было установлено, что наиболее подходящими являются более высокие температуры (600-700 °С), что важно для совместной пиролитической переработки исследуемых и других твердодобытовых отходов.

**Финансирование:** Исследование выполнено при поддержке Комитета науки МНВО РК по Гранту BR18574207 «Разработка технологии утилизации твердодобытовых и органических отходов путем комплексной их переработки для решения региональных экологических проблем».

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют, что между ними нет конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

## ПИРОЛИЗ ӘДІСІМЕН МАҚТА САБЫНЫН, КӨМІР ШАҢЫН ЖӘНЕ ПОЛИМЕР ҚАЛДЫҚТАРЫН БІРГЕ ӨНДЕУ

*Е.А. Әубәкіров<sup>1</sup>, Ж.Х. Ташимұхамбетова<sup>1\*</sup>, Е.И. Иманбаев<sup>2</sup>, Н.Д. Нуртазина<sup>1</sup>, Б.Ж. Кенжеев<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>ШЖҚ РМК «Жану проблемалары институты», Алматы, Қазақстан

\*E-mail: [zheneta@mail.ru](mailto:zheneta@mail.ru)



**Түйіндемe:** *Kіріспе.* Жұмыс көміртегі бар өнеркәсіптік қалдықтар негізіндегі қайталама шикізатты ұтымды тұтыну мәселелерін шешуге, нарықты қосымша өнімдермен қанықтыруға және қоршаған ортаны қалдықтардың улы әсерінен қорғауға бағытталған. *Жұмыстың мақсаты:* «Шымкентмай» АҚ мақта сабын қорынан, Құлан кен орнының көмір шаңынан (КШ) және пластмасса қалдықтарынан (ПҚ) N<sub>2</sub> ортада госсиполды шайырдың (ГШ) бірлескен пиролизі процесін зерттеу. *Жұмыстың әдістемесі.* Процестің оңтайлы режимдерін белгілеуді, пиролиз өнімдерінің шығымын, құрамын және қасиеттерін анықтауды қамтиды. ИҚ-спектроскопия, РФА, хроматомасс-спектрометрия көмегімен пиролиз өнімдерін талдау. Сокслет аппаратында майларға, асфальтендерге және шайырларға экстракциялық бөлу арқылы сұйық пиролиз өнімдерінің құрамдас құрамын зерттеу. Өнеркәсіпті дамыту үшін әртүрлі өндірістердің көміртегі бар қалдықтарын бірлесіп пиролизикалық өңдеу перспективаларын бағалау. *Нәтижелер мен нiкiрталас.* ГШ пиролизі үшін оңтайлы температура белгіленді (T=450 °C), бұл кезде сұйық өнімнің шығымы орташа есеппен 33.01 мас. % құрады, газ шығымы – 60.33 мас.%, қатты қалдық шығымы – 6.65 мас.%. ГШ және КШ бірлескен пиролиз процесі алғаш рет N<sub>2</sub> атмосферасында 1:1 және T=500 °C қатынасында зерттелді. Бұл ретте сұйық өнімнің жоғары шығымдылығы байқалды – 47.34 мас. %, аз газ түзілуі – 2.31 мас.% және қатты қалдықтың көп мөлшері – 50.34 мас. %, бұл көмір жартылай кокс пен кокстың түзілуімен түсіндіріледі. Алғаш рет 500-700 °C температурасында, N<sub>2</sub> атмосферасында, 1:1:1 қатынасында ГШ, D=90 мкм КШ және ПҚ (ПЭ:ППЖҚ – 1:1) бірлескен пиролиз процесі зерттелді. Берілген температуралық режимдерде сұйық өнімдердің түзілуіне негізгі үлесті ГШ және ПҚ қосатыны көрсетілген. *Қорытынды.* Құрамында көміртегі бар қалдықтарды бірлесіп өңдеу қызығушылық тудыратыны және тауарлық өнім алу тұрғысынан да, қауіпсіз қоршаған ортаны сақтау тұрғысынан да іс жүзінде маңызды бағытқа ие екендігі анықталды.

**Түйінді сөздер:** госсипол шайыры, сабын қоры, биомасса, көмір шаңы, полимер қалдықтары, пиролиз, деструкция, көмірсутектер, катализ, пиролиз өнімдері

<i>Әубәкіров Ермек Айтқазынович</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Таймұхамбетова Жeнeтa Хaлilовнa</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, доцент</i>
<i>Иманбаев Ержан Иманбаевич</i>	<i>PhD, қауымдастырылған профессор</i>
<i>Нуртазина Наргиза Досмураевна</i>	<i>Жаратылыстану ғылымдарының магистрі, PhD докторант</i>
<i>Кенжеев Бейбит Жахангирхожаевич</i>	<i>PhD докторант</i>

### Список литературы

1. Wang J., Zhong Z., Zhang B., Ding K., Xue Z., Deng A., Ruan R. Upgraded bio-oil production via catalytic fast co-pyrolysis of waste cooking oil and tea residual. *Waste Management*, **2017**, *60*, 357-362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.008>
2. Wang Y., Ke L., Peng Y., Yang Q., Du Zh., Dai L., Zhou N., Liu Y., Fu G., Ruan R., Xia D., Jiang L. Characteristics of the catalytic fast pyrolysis of vegetable oil soapstock for hydrocarbon-rich fuel. *Energy Conversion and Management*, **2020**, *213*, 112860. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112860>
3. Adebajo A.O, Dalai A.K, Bakhshi N.N. Production of diesel-like fuel and other valueadded chemicals from pyrolysis of animal fat. *Energy Fuels*, **2005**, *19(4)*, 1735–1741. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef040091b>
4. Beims R., Botton V., Ender L., Scharf D.R, Simionatto E.L, Meier H.F. Effect of degree of triglyceride unsaturation on aromatics content in bio-oil. *Fuel*, **2018**, *217*, 175–184. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Fuel.2017.12.109>
5. Zhang J., Zhang K., Huang J., Feng, Chen T., Wu J. Synergistic effect and volatile emission characteristics during co-combustion of biomass and low-rank coal. *Energy*, **2024**, *289(7830)*, 130015. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Energy.2023.130015>

6. Faisal M., Ramli M., Nasir A.F. A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2014**, 39(C), 555-574. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Rser.2014.07.073>
7. Gouws S.M., Carrier M., Bunt J.R., Neomagus H.W.J.P. Co-pyrolysis of coal and raw/torrefied biomass: A review on chemistry, kinetics and implementation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2021**, 135, 110189. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Rser.2020.110189>
8. Huang Z., Wu J., Yang T., Wang Z., Yang L., Li G. Synergistic Effects and Kinetic Analysis in Co-Pyrolysis of Peanut Shells and Polypropylene. *Foods*, **2024**. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13081191>
9. Aubakirov Y., Tashmukhambetova Zh., Imanbayev Y., Nurtazina N., Kenzheyev B., Toshtay K. Comprehensive Investigation of Pyrolysis Products from Coal Dust in Southern Kazakhstan: An Experimental Study. *ES Mater. Manuf.*, **2024**, 24, 1123. DOI: <https://dx.doi.org/10.30919/esmm1123>

## References

1. Wang J., Zhong Z., Zhang B., Ding K., Xue Z., Deng A., Ruan R. Upgraded bio-oil production via catalytic fast co-pyrolysis of waste cooking oil and tea residual. *Waste Management*, **2017**, 60, 357-362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.09.008>
2. Wang Y., Ke L., Peng Y., Yang Q., Du Zh., Dai L., Zhou N., Liu Y., Fu G., Ruan R., Xia D., Jiang L. Characteristics of the catalytic fast pyrolysis of vegetable oil soapstock for hydrocarbon-rich fuel. *Energy Conversion and Management*, **2020**; 213, 112860. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112860>
3. Adebajo A.O., Dalai A.K., Bakhshi N.N. Production of diesel-like fuel and other value-added chemicals from pyrolysis of animal fat. *Energy Fuels*, **2005**, 19(4), 1735-1741. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef040091b>
4. Beims R., Botton V., Ender L., Scharf D.R., Simionatto E.L., Meier H.F. Effect of degree of triglyceride unsaturation on aromatics content in bio-oil. *Fuel*, **2018**; 217, 175-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Fuel.2017.12.109>
5. Zhang J., Zhang K., Huang J., Feng, Chen T., Wu J. Synergistic effect and volatile emission characteristics during co-combustion of biomass and low-rank coal. *Energy*, **2024**, 289(7830), 130015. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Energy.2023.130015>
6. Faisal M., Ramli M., Nasir A.F. A review on microwave assisted pyrolysis of coal and biomass for fuel production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2014**, 39(C), 555-574. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Rser.2014.07.073>
7. Gouws S.M., Carrier M., Bunt J.R., Neomagus H.W.J.P. Co-pyrolysis of coal and raw/torrefied biomass: A review on chemistry, kinetics and implementation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **2021**, 135, 110189. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.Rser.2020.110189>
8. Huang Z., Wu J., Yang T., Wang Z., Yang L., Li G. Synergistic Effects and Kinetic Analysis in Co-Pyrolysis of Peanut Shells and Polypropylene. *Foods*, **2024**. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods13081191>
9. Aubakirov Y., Tashmukhambetova Zh., Imanbayev Y., Nurtazina N., Kenzheyev B., Toshtay K. Comprehensive Investigation of Pyrolysis Products from Coal Dust in Southern Kazakhstan: An Experimental Study. *ES Mater. Manuf.*, **2024**, 24, 1123. DOI: <https://dx.doi.org/10.30919/esmm1123>