

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УГЛЯ И ПРОДУКТОВ ЕГО ПИРОЛИЗА

^{1,2}Н.У. Нурғалиев✉, ¹Ж.Б. Исакова✉, ³А. Колпек, ¹Е.К. Айбульдинов✉, ³А.С. Сабитов, ³Э.Е. Копишев, ^{1,4}Р.М. Салихов, ^{1,4}М.С. Петров, ¹Г.Ж. Алжанова, ^{1,5}Г.Г. Абдюсупов, ^{1,6}М.Т. Өмірзақ

¹Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

²Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан,

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

⁴ ООО «ТТУ ЛТД», Санкт-Петербург, Россия,

⁵CCS Services – Central Asia, Алматы, Казахстан,

⁶Sauda Exports&Import, Алматы, Казахстан

✉Корреспондент-автор: nurgaliev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

В статье проведен низкотемпературный пиролиз угля месторождения «Сарыадыр» с определением физико-химических свойств угля и продуктов его термической деструкции. Выполнены элементный анализ угля и анализ минеральной части угля. Проведены 6 параллельных опытов процесса низкотемпературного пиролиза угля, в результате которых определены выходы таких продуктов, как полукокс, смола, горючий газ, а также определены их основные характеристики (компонентный состав, теплотворная способность и др.). При этом сходимость результатов (от 6 опытов) вполне удовлетворительна. Проведен тепловой баланс пиролиза угля с учетом усредненных выходов продуктов.

Ключевые слова: уголь, пиролиз, полукокс, смола, горючий газ, тепловой баланс

КӨМІРДІҢ ЖӘНЕ ОНЫҢ ПИРОЛИЗ ӨНІМДЕРІНІҢ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫН ЗЕРТТЕУ

^{1,2}Н.У. Нурғалиев✉, ¹Ж.Б. Исакова✉, ³А. Колпек, ¹Е.К. Айбульдинов✉, ³А.С. Сабитов, ³Э.Е. Копишев, ^{1,4}Р.М. Салихов, ^{1,4}М.С. Петров, ¹Г.Ж. Алжанова, ^{1,5}Г.Г. Абдюсупов, ^{1,6}М.Т. Өмірзақ

¹Жаңа химиялық технологиялар ғылыми-зерттеу институты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

²Қ.Құлажанов атындағы технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан,

⁴ ООО «ТТУ ЛТД», Санкт-Петербург, Россия,

⁵CCS Services – Central Asia, Алматы, Қазақстан,

⁶Sauda Exports&Import, Алматы, Қазақстан,

e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

Мақалада көмірдің физика-химиялық қасиеттерін және оның термиялық деструкция өнімдерін анықтай отырып, "Сарыадыр" кен орнының төмен температуралы көмір пиролизінің жүргізілуі кел-

тірілген. Көмірдің элементтік талдауы және көмірдің минералды бөлігінің талдауы берілген. Көмірдің төмен температуралы пиролиз процесінің 6 параллель тәжірибесі жүргізілді, нәтижесінде жартылай кокс, шайыр, жанғыш газ сияқты өнімдердің шығымы анықталды, сондай-ақ олардың негізгі сипаттамалары (компоненттік құрамы, калориялық құндылығы және т.б.) анықталды. Сонымен қатар, нәтижелердің тоғысуы (6 тәжірибеден) айтарлықтай қанағаттанарлық. Өнімдердің орташа шығымдылығын ескере отырып, көмір пиролизінің жылу балансы жүргізілді.

Түйін сөздер: көмір, пиролиз, жартылай кокс, шайыр, жанғыш газ, жылу балансы

STUDY OF PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF COAL AND ITS PYROLYSIS PRODUCTS

^{1,2}N.U. Nurgaliyev✉, ¹Zh.B. Iskakova✉, ³A. Kolpek, ¹Ye.K. Aibuldin✉,
^A³.S. Sabitov, ³E.Ye. Kopishev, ^{1,4}R.M. Salikhov, ^{1,4}M.S. Petrov, ¹G.Zh. Alzhanova,
^{1,5}G.G. Abdiyussupov, ^{1,6}M.T. Omirzak

¹ Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

² Kazakh University of Technology and Business named after K. Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

⁴ TTU LTD, St. Petersburg, Russia,

⁵CCS Services – Central Asia, Almaty, Kazakhstan,

⁶Sauda Exports&Import, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: nurgaliyev_nao@mail.ru, zhanariskakova@mail.ru, elaman_@mail.ru

In the article low-temperature pyrolysis of coal of “Saryadyr” deposit with determination of physical and chemical properties of coal and products of its thermal destruction is carried out. Elemental analysis of coal and analysis of mineral part of coal were carried out. 6 parallel experiments of the process of low-temperature pyrolysis of coal were carried out, as a result of which the yields of such products as semi-coke, tar, combustible gas were determined, as well as their main characteristics (component composition, calorific value, etc.) were determined. The convergence of the results (from 6 experiments) is quite satisfactory. The thermal balance of coal pyrolysis was carried out taking into account the average yields of products.

Keywords: coal, pyrolysis, semi-coke, tar, combustible gas, heat balance.

Введение. Топливо-энергетические ресурсы являются основой экономики Казахстана, среди которых особо выделяются нефть, уголь, газ. Казахстан входит в топ-10 стран по доказанным запасам угля (около 2,4% мировых запасов), где 2/3 приходится на бурый уголь, 1/3 – на каменный уголь.

Будучи ценным горючим ископаемым, уголь остается мировым лидером по использованию в топливо-энергетическом комплексе и применяется для получения металлургического кокса, смолы, углеродных материалов, гуминовых

кислот, сырья для химической промышленности (бензол, толуол, ксилол и др.) [1-3]. Из угля извлекают высокоценные жидкие и газообразные топлива с полным использованием структуры и реакционной способности угля [4,5].

Для эффективного использования угля важно понимать структуру угля. Органическую структуру угля принято считать сложным полимером с высокой степенью сшивки, включающим ароматические и алифатические компоненты [6], [7]. Имеются существенные различия в органическом строении углей разной степени метаморфизма

[8], а также очевидные различия в промышленном применении. Тщательное знание структуры угля различной степени метаморфизма необходимо для эффективного использования угольных ресурсов.

В настоящее время среди существующих методов термопереработки угля пиролиз является наиболее перспективным и исследуемым термическим направлением переработки таких отходов, как низкосортные угли, нефтешламы и др. [9]. Пиролиз представляет собой общую стадию многих процессов, таких как сжигание, сжижение, карбонизация, газификация, которые обычно работают в тесных системах в инертной, восстановительной или окислительной атмосфере при различных давлениях и времени пребывания [10]. Среди ценных продуктов (получаемых из угля) каменноугольная смола является основным продуктом пиролиза и может использоваться в качестве важного сырья для получения олефинов [11,12], ароматических соединений с добавленной стоимостью [13], и материалов на основе каменноугольной смолы [11].

Целью данной работы является исследование процесса низкотемпературного пиролиза (полукоксование) угля месторождения «Сарыадыр» (Казахстан) с определением физико-химических свойств угля и продуктов его термического разложения.

Материалы и методы. Для проведения анализа исходного угля готовили аналитическую пробу. Для оценки химического состава золы угля была приготовлена проба в количестве 10 грамм.

Для проведения процесса пиролиза угля предварительно была отобрана аналитическая проба угля весом 0,6 кг и подготовлена усредненная проба для проведения процесса пиролиза в реторте Фишера. Уголь высушивали на воздухе до достижения приблизительного равновесия между влажностью пробы и окружающей атмосферы. Проба угля была осторожно измельчена так, чтобы не менее 90% ее проходило через сито с отверстием размером 1 мм и не более чем 50% через сито 0,2 мм. Подготовленную пробу хранили в герметически закупоренной емкости. Навеску

угля (50 г) нагревали в алюминиевой реторте до 520 °С в течение 80 минут в соответствии с режимом нагрева, приведенном в таблице 1. Продукты разложения направляли в приемник, охлаждаемый водой со льдом. Смола и вода конденсировались. Газообразные продукты после отбора проб для анализа выбрасывались в атмосферу. Определение компонентного состава газа, полученного в результате пиролиза угля, проводили на хроматографе ЛХМ-8 МД.

Таблица 1 - Режим нагрева навески угля

Время от начала нагревания мин.	Температура, 0С
10	220
20	310
30	380
40	440
50	480
60	505
70	520
80	520

Результаты и обсуждение.

3.1 Характеристика исходного угля. Результаты анализа исходного угля представлены в таблице 2.

Проведенный анализ на содержание массовой доли хлора и мышьяка показал их следующие значения: Cl – 0.043%, As – 0,0025%. Полученные показатели соответствуют «следам» и в дальнейшем в расчет не принимаются.

3.2 Характеристика золы угля

Химический состав минеральной части угля представлен в таблице 3.

Определены основные показатели плавкости минеральной части угля: температура, при которой появляются первые признаки оплавления составляет 1220 °С, а температура, при которой образец растекается >1500 °С.

3.3 Результаты балансовых опытов. В ходе исследований было проведено шесть балансовых опытов по пиролизу угля, результаты которых представлены в таблице 4.

Таблица 2 - Характеристика исходного угля

Свойства	Условное обозначение	Показатели на массу, %		
		аналитическую	сухую	горючую
Массовая доля влаги	W	4	-	-
Массовая доля золы	A	30,06	31,31	-
Летучие вещества	V	21,48	22,38	-
Элементный состав:				
Углерод	C	55,95	58,29	84,85
Водород	H	5,35	5,57	8,11
Сера общая	S	0,45	0,47	0,68
Кислород	O	3,19	3,03	4,84
Азот	N	1	1,04	1,52
Теплота сгорания, низшая	Q _н	5752,81, ккал/кг		
Теплота сгорания, высшая	Q _в	5983,14, ккал/кг		

Таблица 3 - Химический состав минеральной части угля

№	Химическая формула	Значение, %
1	SiO ₂	64,1
2	Fe ₂ O ₃	0,21
3	Al ₂ O ₃	32,72
4	CaO	< 0,1
5	MgO	0,28
6	SO ₃	< 0,025
7	TiO ₂	1,7
8	P ₂ O ₅	0,12
9	Na ₂ O	< 0,2
10	K ₂ O	0,52

Таблица 4 - Результаты процесса пиролиза угля

№	Загружено Массы пробы, г	Получено									
		Полукокс		Смола сухая		Вода внешняя		Вода пироге- нетическая		Газ и потери	
		г	мас, %	г	мас, %	г	мас, %	г	мас, %	г	%
1	50,42	42,82	84,92	2,47	4,91	2,1	4,17	0,92	1,82	2,11	4,18
2	51	43,14	84,59	2,63	5,15	2,13	4,17	1,07	2,11	2,03	3,98
3	51	43,14	84,59	2,89	5,69	2,03	3,99	1,47	2,88	1,47	2,88
4	51	43,12	84,55	2,82	5,53	2,04	4	1,38	2,7	1,64	3,21
5	51	43,53	85,36	2,45	4,8	2,04	4	0,96	1,88	2,02	3,96
6	51	43,12	84,55	2,38	4,67	1,9	3,72	1,5	2,94	2,1	4,12
Усредненные значения		-	84,76	-	5,13	-	4	-	2,39	-	3,72
Сходимость результатов		0,25		0,33				0,45		0,45	

Полученные результаты процесса пиролиза угля показали, что основными продуктами пиролиза исследуемого угля являются полукокс, смола и горючий газ, усредненные значения которых (от 6 опытов) составляют соответственно 84,76 %, 5,13 % и 3,72 %. Причем в наибольшем количестве извлекается полукокс. Данные результаты хорошо сопоставляются с аналогичными результатами, полученными в работе [14] для 2 образцов угля месторождений Nariinsukhait и Tavantolgoi при 500 °С. Для данных образцов угля выходы полукокса, смолы и горючего газа составили соответственно: 93,0 %, 1,1 %, 2,5 % (для месторождения Nariinsukhait) и 92,3 %, 2,5 %, 2,3 % (для месторождения Tavantolgoi). Следует также отметить, что сходимость полученных результатов 6 опытов вполне удовлетворительна.

3.4 Характеристика продуктов пиролиза. Продуктами пиролиза угля являются газ, смола с

подсмольной водой и полукокс. Для того, чтобы провести исследование состава продуктов пиролиза необходимо было накопить около 50 грамм смолы с подсмольной водой и собрать достаточное количество газа. Поэтому, для накопления смолы был проведен один опыт на укрупненной реторте с загрузкой топлива массой 1 кг. Однако все расчеты и балансы представлены по усредненным результатам 6 опытов пиролиза.

3.4.1 Характеристики газа пиролиза угля. Отбор пирогаза проводили при 2-х различных температурах: 480 °С и 520 °С, соответствующих началу газовыделения и периоду максимального газовыделения для наиболее точного расчета его теплоты сгорания.

В таблице 5 представлены результаты анализа компонентного состава полученного пиролизного газа, % (об.).

Таблица 5 - Компонентный состав пиролизного газа

Температура отбора	CO ₂	H ₂ S	H ₂	N ₂	CH ₄	CO	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄
480 °С	16,27	1,27	3,99	3,78	39,71	12,16	9,74	2,99
520 °С	8,16	1,27	8,64	1,54	50,19	13,77	9,5	1,82
Ср. значение	12,21	1,27	6,33	2,66	44,96	12,97	9,63	2,41

Продолжение таблицы 5

Температура отбора	C ₃ H ₈	C ₃ H ₆	iC ₄ H ₁₀	nC ₄ H ₁₀	C ₄ H ₈	iC ₄ H ₈	Тяж
480 °С	3,78	2,29	0,21	1,06	0,69	0,86	1,2
520 °С	2,18	1,14	0,13	0,53	0,28	0,27	0,58
Ср. значение	2,98	1,72	0,11	0,8	0,5	0,56	0,89

В полученном пиролизном газе в наибольших количествах присутствуют CH₄ (44,96 %), CO₂ (16,27 %), CO (12,16 %), C₂H₆ (9,74 %) по убывающему порядку. Остальные компоненты составляют менее 4 % в газе. Расчет теплотворной способности газа проводили по эмпирической формуле Менделеева Д.И. Теплотворная способность газа (низшая) по усредненным данным составила 7731,95 ккал/кг. Данный высококалорийный газ

получился в основном за счет высоких концентраций метана и этана. Расчетная плотность газа по усредненным данным составляет 1,13 кг/м³.

3.4.2 Характеристики суммарной смолы пиролиза угля. Смола суммарная представляет собой темную вязкую жидкость, которая легче воды, с характерным запахом. Смола собранная из разных шести опытов отделялась от воды. Для исследования физико-химических характеристик смо-

ла обезвоживалась.

Физико-химические показатели смолы составили: плотность (кг/м^3)– 0.83; вязкость относительная– 2.17; вязкость кинематическая (сСт)–

13.22; температура вспышки в открытом тигле– 75 °С; температура застывания– 7 °С.

Компонентный состав смолы, полученной из угля, представлен в таблице 6.

Таблица 6 - Компонентный состав смолы из угля

Наименование компонента	Содержание, %
Фенолы	16,13
Пиридиновые основания	2,23
Карбоновые кислоты	0,32
Нейтральные углеводороды	33,92
Механические примеси	19,96
Карбены, асфальтены	20,3
Осмоляющиеся	7,1
Элементный состав:	
Углерод	80,68
Водород	9,56
Сера	1,2
Азот	1,48
Кислород	7,08
Теплота сгорания, низшая, ккал/кг	8745,14

Таблица 7 - Результаты разгонки смолы

Температурный интервал разгонки, °С	Выход фракции %
н.к. = 69	-
69 – 180	6,60
180 – 280	24,40
280 – 337	21,50
>337	46,37
к.к. = 337	1,13
потери	
Итого	100

Как видно из полученных результатов, основными компонентами полученной смолы являются нейтральные углеводороды (33,92 %), карбены и асфальтены (20,30 %), фенолы (16,13 %), осмоляющиеся (7,10 %). В небольших количествах (менее 3%) присутствуют пиридиновые основания и карбоновые кислоты.

Разгонке подвергалась обезвоженная смола.

Результаты разгонки представлены в таблице 7.

Фракцию до 180 °С можно оценивать как бензиновую, выход ее незначителен. Фракции, относящиеся к дизельному топливу (в интервале температур 180-230 °С) и котельному топливу (при температуре > 280 °С), составляют более 50 %. Кубовый остаток сохраняет текучесть при нормальной температуре.

3.4.3 Характеристика подсмольной воды. Результаты исследования состава подсмольной воды представлены в таблице 8.

Таблица 8 - Характеристики подсмольной воды

Наименование показателей	Ед. измерения	Значения
pH	-	9,38
Химическое потребление кислорода	мгО/л	60
Летучие с паром фенола	г/л	0,9
Пиридиновые основания	г/л	2,4
Сульфаты	мг/л	0,05
Хлориды	мг/л	0,003

Таблица 9 - Характеристики полукокса из угля

Наименование показателя	Содержание на сухую массу, %	Содержание на органическую массу
Массовая доля золы (А)	35	-
Летучие вещества (V)	10,81	16,63
Элементный состав:		
Углерод	60,73	93,43
Водород	2,74	4,21
Сера общая	0,40	0,61
Кислород	0,63	0,97
Азот	0,50	0,78
Теплота сгорания (низшая), ккал/кг		5587,19

Таблица 10 - Тепловой баланс пиролиза угля

№ п/п	Пиролиз угля	Выход продуктов, %		Теплота сгорания на раб. массу, Q, ккал/кг	Тепловой баланс ккал/кг
		на аналитическую массу	на сухую массу		
1	Уголь исходный	-	100	5752,81	5752,81
Продукты пиролиза угля					
1	Полукок	84,76	88,29	5587,19	4735,7
2	Смола	5,13	5,34	8745,14	448,62
3	Пирогенетическая вода	2,39	2,49	-	-
4	Вода внешняя	4	-	-	-
5	Газ	3,72	3,87	7731,95	287,63
Итого		100	100	-	5471,95
Невязка баланса					280,86 (4,88%)

Подсмольная вода содержит небольшое количество растворенных смоляных компонентов.

3.4.4 Характеристика полукокса. Характеристики полукокса, полученного в результате пиролиза угля, представлены в таблице 9.

3.5 Тепловой баланс пиролиза угля. Расчет теплового баланса проводили по усредненным выходам продуктов, полученных при термическом разложении угля в температурном диапазоне 220-520 °С. Выходы продуктов, рассчитанные на сухую массу исходного угля и их теплота сгорания, представлены в таблице 10.

Как видно из таблицы 10, невязка теплового баланса составляет менее 5 % (4,88 %), что вполне допустимо и удовлетворяет требованиям по пределам допустимой случайной погрешности невязки.

Выводы. Проведенное исследование процесса низкотемпературного пиролиза угля месторождения «Сарыадыр» показало, что основными продуктами пиролиза являются полукоксы (84,76

%) и в небольших количествах – горючий газ (3,72 %) и смола (5,13 %). Полукоксы представляют собой высококачественное малосернистое твердое топливо. Полученный полукоксы характеризуется низким выходом летучих (10,81 %) и высокой теплотворной способностью ($Q_p = 5587,19$ ккал/кг) и такой продукт может использоваться в качестве эффективного бездымного топлива, а также в качестве восстановителя для металлургической промышленности. Получаемый из угля горючий газ также обладает высокой калорийностью. Таким образом, полученные из угля ценные химические продукты могут быть эффективно использованы в области энергетики.

Финансирование. работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (№ BR21882171 «ЦУР 9.4: Развитие «зеленой» экономики Казахстана путем переработки минерального сырья и отходов методом пиролиза»).

Литература

1. Михайлова Е.С., Исмагилов З.Р., Шикина Н.В. Исследование физико-химических свойств катализаторов в реакции озонирования каменноугольного сырого бензола // Химия в интересах устойчивого развития. - 2016. - Т.24(3). - С.369-377. DOI 10.15372/KhUR20160312
2. Кузнецов П.Н., Маракушина Е.Н., Бурюкин Ф.А., Исмагилов З.Р. Получение альтернативных пеков из углей // Химия в интересах устойчивого развития. - 2016. - Т.24(3) - С. 325-333. DOI 10.15372/KhUR20160307
3. Жеребцов С.И., Малышенко Н.В., Смотрина О.В., Брюховецкая Л.В., Исмагилов З.Р. Сорбция катионов меди нативными и модифицированными гуминовыми кислотами // Химия в интересах устойчивого развития. - 2016. - Т.24(3) - С.399 - 403. DOI 10.15372/KhUR20160316
4. С. Ма, Y. Zhao, T. Lang, C. Zou, J. Zhao, Z. Miao. Pyrolysis characteristics of low-rank coal in a low-nitrogen pyrolysis atmosphere and properties of the prepared chars // Energy. - 2023. - 277(4): 127524. DOI:10.1016/j.energy.2023.127524
5. P.R. Solomon, M.A. Serio, E.M. Suuberg. Coal pyrolysis: experiments, kinetic rates and mechanisms // Progress in Energy and Combustion Science / - 1992. - Vol.18 (2). - P. 133-220. DOI 10.1016/0360-1285(92)90021-R
6. M.J. Fabianska et al. Biomarkers, aromatic hydrocarbons and polar compounds in the neogene lignites and gangue sediments of the Konin and Turossow Brown coal basins (Poland) // International Journal of Coal Geology. - 2013. - Vol 107. - P.24-44. DOI 10.1016/j.coal.2012.11.008.

-
7. M.X. Liu et al. The radical and bond cleavage behaviors of 14 coals during pyrolysis with 9,10 - dihydrophenanthrene // *Fuel*.- 2016.-182.- P. 480-486. DOI10.1016/j.fuel.2016.06.006.
 8. M. Baysal et al. Structure of some western Anatolia coals investigated by FTIR, Raman, ¹³C solid state NMR spectroscopy and X-ray diffraction // *International Journal of Coal Geology*.- 2016.-Vol. 163(1).- P.-166-176. DOI 10.1016/j.coal.2016.07.009.
 9. Шантарин В.Д. Безальтернативный метод утилизации углеродсодержащих отходов // *Наука и Мир*. 2014. № 9 (13). С. 41-45.
 10. Исламов С.Р., Степанов С.Г. Глубокая переработка угля: введение в проблему выбора технологии // *Уголь*.- 2007. - № 10 (978).- С. 53–58.
 11. Y. Liu, Q. Yao, M. Sun, X. Ma. Catalytic fast pyrolysis of coal tar asphaltene over zeolite catalysts to produce high-grade coal tar: an analytical Py-GC/MS study // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.- 2021.-156: 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127
 12. Y. Che, K. Shi, Z. Cui, H. Liu, Q. Wang, W. Zhu, et al. Conversion of low temperature coal tar into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking// *Energy*.-2023.- 264:126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169
 13. Z.-H. Ma, X.-Y. Wei, G.-H. Liu, F.-J. Liu, Z.-M. Zong. Value-added utilization of high-temperature coal tar: a review.// *Fuel*.-2021.-Vol.292:119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954
 14. B.Purevsuren, S.Batbileg, M.Battsetseg, S.Jargalmaa, B.Avid, A.Ariunaa, P.N.Kuznetsov, E.S. Kamenskii, L.I. Kuznetsova. Properties of Mongolian Coal and Its Semicoking Products// *Coke and Chemistry*.-2021.- Vol. 64(2).-P.58 - 63. DOI 10.3103/S1068364X21020058

References

1. Mihajlova E.S., Ismagilov 3.R., Shikina N.V. Issledovanie fiziko-himicheskikh svojstv katalizatorov v reakcii ozonoliza kamennougol'nogo syrogo benzola//*Himija v interesah ustojchivogo razvitija*.- 2016.- T.24(3).- S.369-377. DOI 10.15372/KhUR20160312
[in Russ.]
 2. Kuznecov P.N., Marakushina E.N., Burjukin F.A., Ismagilov 3.R. Poluchenie al'ternativnyh pekov iz uglej // *Himija v interesah ustojchivogo razviti*.- 2016.-T.24.(3)- S. 325-333. DOI 10.15372/KhUR20160307.
[in Russ.]
 3. Zherebcov S.I., Malysenko N.V., Smotrina O.V., Brjuhoveckaja L.V., Ismagilov 3.R. Sorbcija kationov medi nativnymi i modifitsirovannymi guminovymi kislotami // *Himija v interesah ustojchivogo razvitija*.- 2016.-T.24(3)- S.399 - 403. DOI 10.15372/KhUR20160316. [in Russ.]
 4. C. Ma, Y. Zhao, T. Lang, C. Zou, J. Zhao, Z. Miao. Pyrolysis characteristics of low-rank coal in a low-nitrogen pyrolysis atmosphere and properties of the prepared chars// *Energy*.-2023.- 277(4): 127524. DOI:10.1016/j.energy.2023.127524
 5. P.R. Solomon, M.A. Serio, E.M. Suuberg. Coal pyrolysis: experiments, kinetic rates and mechanisms // *Progress in Energy and Combustion Science*/-1992.-Vol.18 (2).- P. 133-220.
DOI 10.1016/0360-1285(92)90021-R
 6. M.J. Fabianska et al. Biomarkers, aromatic hydrocarbons and polar compounds in the neogene lignites and gangue sediments of the Konin and Turoszow Brown coal basins (Poland) // *International Journal of Coal Geology*.-2013.-Vol 107.-P.24-44. DOI 10.1016/j.coal.2012.11.008.
 7. M.X. Liu et al. The radical and bond cleavage behaviors of 14 coals during pyrolysis with 9,10 - dihydrophenanthrene // *Fuel*.- 2016.-182.- P. 480-486. DOI10.1016/j.fuel.2016.06.006.
-

8. M. Baysal et al. Structure of some western Anatolia coals investigated by FTIR, Raman, ¹³C solid state NMR spectroscopy and X-ray diffraction // International Journal of Coal Geology.- 2016.-Vol. 163(1).- P.-166-176. DOI 10.1016/j.coal.2016.07.009.
9. Shantarin V.D. Bezal'ternativnyj metod utilizacii ugljersoderzhashhikh othodov // Nauka i Mir. 2014. № 9 (13). S. 41-45. [in Russ.]
10. Islamov S.R., Stepanov S.G. Glubokaja pererabotka uglja: vvedenie v problemu vybora tehnologii // Ugol'.- 2007. - № 10 (978).- S. 53–58. [in Russ.]
11. Y. Liu, Q. Yao, M. Sun, X. Ma. Catalytic fast pyrolysis of coal tar asphaltene over zeolite catalysts to produce high-grade coal tar: an analytical Py-GC/MS study // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis.- 2021.-156: 105127. DOI 10.1016/j.jaap.2021.105127
12. Y. Che, K. Shi, Z. Cui, H. Liu, Q. Wang, W. Zhu, et al. Conversion of low temperature coal tar into high value-added chemicals based on the coupling process of fast pyrolysis and catalytic cracking// Energy.-2023.- 264:126169. DOI 10.1016/j.energy.2022.126169
13. Z.-H. Ma, X.-Y. Wei, G.-H. Liu, F.-J. Liu, Z.-M. Zong. Value-added utilization of high-temperature coal tar: a review.// Fuel.-2021.-Vol.292:119954. DOI 10.1016/j.fuel.2020.119954
14. B.Purevsuren, S.Batbileg, M.Battsetseg, S.Jargalmaa, B.Avid, A.Ariunaa, P.N.Kuznetsov, E.S. Kamenskii, L.I. Kuznetsova. Properties of Mongolian Coal and Its Semicoking Products// Coke and Chemistry.-2021.- Vol. 64(2).-P.58 - 63. DOI 10.3103/S1068364X21020058

Сведения об авторах

Нурғалиев Н.У.-кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана Казахстан, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Искакова Ж.Б.-кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: zhanariskakova@mail.ru;

Колпек А.-кандидат химических наук, ассоциированный профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Айбульдинов Е.Е. - доктор PhD, Научно-исследовательский институт Новых химических технологий, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, Астана, e-mail: elaman_@mail.ru;

Сабитов А.С.-докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: sawy552@gmail.com;

Копишев Э.К.-кандидат химических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Салихов Р.М.-главный инженер, ООО «ТТУ ЛТД», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, e-mail: info.galotar@gmail.com;

Петров М.С.-главный инженер, ООО «ТТУ ЛТД», Российская Федерация, г. Санкт-Петербург, e-mail: info.galotar@gmail.com;

Алжанова Г.Ж.- докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: galiya.alzhanova@gmail.com;

Абдиюсупов Г.Г.-менеджер, ТОО «CCS Services - Central Asia», Астана, Казахстан, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Өмірзақ М.Т.-доктор PhD, ТОО «Sauda Exports&Import», Астана, Казахстан, e-mail:

madi.omirzak@gmail.com

Information about the authors

Nurgaliyev N.U.-Candidate of Chemical Science, Associate Professor, Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: nurgaliev_nao@mail.ru;

Iskakova Zh.B.-Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail:

zhanariskakova@mail.ru;

Kolpek A.-Candidate of Chemistry Sciences, Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: aynagulk@mail.ru;

Aybuldinov E.K.-PhD, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: elaman_@mail.ru;

Sabitov A.S.-Doctoral Student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: sawy552@gmail.com;

Kopishev E.Ye.- Candidate of Chemistry Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: eldar_kopishev@mail.ru;

Salikhov R.M.-Chief Engineer, LLC "TTU LTD", Russian Federation, St. Petersburg, e-mail: info.galotar@gmail.com;

Petrov M.S.-Chief Engineer, LLC "TTU LTD", Russian Federation, St. Petersburg, e-mail: info.galotar@gmail.com

Alzhanova G. Zh.-Doctoral Student, Research Institute of New Chemical Technologies, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: galiya.alzhanova@gmail.com;

Abdiyussupov G.G.-Manager, CCS Services – Central Asia LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: gaziz_86@inbox.ru;

Ómirzak M.T.-PhD, Sauda Exports&Import LLP, Astana, Kazakhstan, e-mail: madi.omirzak@gmail.com