

Эти данные свидетельствуют об исключительно важной роли соединений серы и кислорода для структуры и реакционной способности природных углей.

Выводы

1. В работе показано, что гетероатомные элементы являются важнейшими элементами, определяющими энергетическую, химическую ценность и экологию процессов переработки ТГИ.

2. Установлены значительные различия в выходе и составе продуктов пиролиза изометаморфных пар мало- и высокосернистых углей. Высокое содержание серы и кислорода резко изменяет выход жидких продуктов, ответственных за процессы спекания и коксообразования, выход газообразных продуктов полукоксования. Полукоксы восстановленных углей характеризуются большей прочностью межмолекулярных взаимодействий.

3. Показаны различия в механизме процессов, протекающих в температурном интервале полукоксования для спекающихся и не спекающихся углей. Преимущественное образование оксиметиленовых или полиметиленовых мостиков в полукоксах приводит к изменению способа упаковки ароматических колец и формированию различных по структуре твердых остатков.

4. Установлено, что газ пиролиза восстановленных углей обогащен H_2 , H_2S и CH_4 (для спекающихся углей), т.е. является более калорийным топливом по сравнению с газом, полученным их слабовосстановленных углей.

Литература

1. **Бутузова Л. Ф., Сафин В. А., Гонсалвеш Л., Маринов С.** Роль гетероатомов в процессах термодеструкции углей / Збірка тез доповідей VI науково-практичної конференції «Поступ в нафто газопереробній та нафтохімічній промисловості». — Львов, 2007. — С. 118–119.

2. **Бутузова Л.Ф., Сафин В.А., Гонсалвеш Л.Н. Д., Маринов С., Исаева Л.Н.** Влияние гетероатомов на процессы термической переработки углей / Сборник Российской научной конференции с международным участием «Глубокая переработка твердого ископаемого топлива — стратегия России в 21 веке». — Звенигород, 2007. — С. 9.

3. **Butuzova L.F., Safin V.A., Marinov S., Jankowska A., Shevkopyas V.N., Butuzov G.N.** The influence of the sulphur-containing compounds on the coal pyrolysis mechanism / Proc. 7-th European Coal Conference. —Lviv, 2008. — P. 27–28.

4. **Бутузова Л.Ф., Сафин В.А., Бутузов Г.Н.** Механизм воздействия серосодержащих соединений на процессы пиролиза углей / Труды V международной научно-практической конференции «Экологические проблемы промышленных мегаполисов». — Донецк, 2008. — С. 45.

5. **Butuzova L.F., Safin V.A., Marinov S., Yaneva N., Shevkopyas V.N., Butuzov G.N.** The pathways for thermal decomposition of coals with high content of sulphur and oxygen / Proc. 11th Coal Geology Conference. — Prague, 2008. — P. 3.

© Бутузова Л.Ф., Сафин В.А., Бутузов Г.Н., Маринов С., 2009

Рецензент д.х.н., профессор ДонНТУ Приседский В.В.

УДК 553.96+66.094.7

Бован Л.А., Тамко В.А., Тамаркина Ю.В., Кучеренко В.А. (ИнФОРУ НАНУ)

СОСТАВ ЛЕТУЧИХ ПРОДУКТОВ ЩЕЛОЧНОЙ АКТИВАЦИИ АЛЕКСАНДРИЙСКОГО БУРОГО УГЛЯ

Определены выходы твердых, жидких и газообразных продуктов из бурого угля и соединения «бурый уголь-КОН» при их термоллизе в следующем режиме: неизотермическое (4 град/мин) нагревание до 800 °С и

изотермическая выдержка (1 ч, 800 °С). Установлено, что введение щелочи в бурый уголь увеличивает выход жидких органических продуктов (в 1,7–1,8 раза), снижает общий выход газов (в 1,3–1,4 раза), изменяет состав газообразных продуктов: повышает выходы H_2 , CO , C_2H_6 , C_3H_8 ; снижает выходы CO_2 и CH_4 ; полностью подавляет образование изобутана. Изменения состава газов объяснены термоинициируемыми реакциями органического вещества угля с КОН: декарбонилированием, расщеплением каркасообразующих цепей, дегидрированием и деалкилированием ареновых и алкановых структурных фрагментов.

Термолиз ископаемых углей в присутствии гидроксидов щелочных металлов, так же называемый «щелочной активацией», применяют для получения активированных углей (АУ) с развитой пористой системой [1]. Такие АУ обладают высокой удельной поверхностью (1000–3000 м²/г), развитой системой микропор (поры диаметром до 2 нм) и высокой адсорбционной активностью [2–4].

Эти углеродные пористые материалы образуются вследствие параллельно протекающих термоинициируемых реакций деструкции ковалентных связей ископаемого угля и конденсации органических фрагментов, идущих как самостоятельно, так и при участии щелочи [5–7]. Помимо твердых продуктов — АУ — образуются различные газы: водород, метан, CO , CO_2 и др, а также летучие вещества, которые, конденсируясь, образуют жидкие продукты термолиза [2, 8, 9]. В таком процессе АУ является целевым продуктом, газообразные и жидкие продукты термолиза являются сопутствующими продуктами, но также представляют реальный практический интерес как органическое сырье [10].

Ранее показано [11], что нагревание Александрийского бурого угля (БУ) с КОН при весовом соотношении КОН/уголь 0,5–1,0 г/г ведет к образованию АУ с высокой адсорбционной емкостью. Температурный режим процесса включает период неизотермического нагревания (со скоростью 4 град/мин) до 800 °С, изотермическую выдержку при этой температуре в течение 1 ч. Этот процесс ведет к трансформации органического каркаса исходного бурого угля в углеродный пространственный каркас АУ (с выходом 30% и площадью поверхности 600–700 м²/г) и сопровождается выделением газообразных продуктов. Известно, что введение даже относительно небольшого количества щелочи в уголь (0,5 моль КОН на 1 кг угля) влияет на состав газов термолиза [9]. Возможные причины такого влияния обсуждаются [3–7], но в целом закономерности образования газообразных продуктов термолиза углей со щелочами изучены пока недостаточно.

Цель настоящей работы — исследование газообразных продуктов, образующихся при конверсии Александрийского бурого угля в АУ при термолизе в присутствии гидроксида калия.

Экспериментальная часть

Для эксперимента взяли два образца бурого угля (Александрийское месторождение) с различной зольностью, $A^d=9,6\%$ и $A^d=16,4\%$. Фракция 0,5–1 мм. Усредненный элементный состав органического вещества угля (% daf): С 70,4; Н 6,0; S 3,8; N 2,0; O 17,8.

Высушенный уголь (100 г) приводили в контакт с 260 см³ 30%-го водного раствора КОН (плотность — 1,29 г/см³), полученную смесь выдерживали 24 ч при комнатной температуре и сушили при 110±5 °С до постоянного веса.

Получали твердый продукт с весовым соотношением КОН/уголь, которое составляет 1 г/г. По результатам предыдущих исследований [12] оно является оптимальным для процесса конверсии бурого угля в АУ. Импрегнированный щелочью образец обозначили как соединение «БУ-КОН».

Термолиз выполняли в вертикальном трубчатом реакторе (0,5 дм³) следующим образом. Образец (80 г) нагревали со скоростью 4±1°С/мин до 800°С, выдерживали 1 ч, охлаждали до комнатной температуры. Газообразные и летучие продукты термолиза проходили через холодильник, в котором жидкие продукты конденсировались, а газы поступали в камеру для сбора газов. В первую камеру собирали все газы термолиза, выделившиеся до 400°С. В последующие камеры отбирали газы, выделившиеся в интервале температур, повышающихся с шагом 50°С до 800°С. В последней камере собран газ, выделившийся в период изотермической выдержки (1 ч).

Объем газообразных продуктов определяли газометром, состав — хроматографическим методом: прибор ЛХМ-80, катарометр (ток 130 мА), газ-носитель — гелий (40 см³/мин). Разделение Н₂, СН₄ и СО проведено на колонке из нержавеющей стали диаметром 3 мм и длиной 1,5 м, заполненной молекулярными ситами 5 А, предварительно активированными 3 ч при 400–500°С. Для определения С₂Н₆, С₃Н₈, С₄Н₁₀, СО и СО₂ использовали колонку с силикагелем, соединенную параллельно с первой колонкой. Порядок выхода компонентов газа уточняли введением индивидуальных веществ. Количественное определение компонентов смеси производили определением площади хроматографических пиков с учетом поправочных коэффициентов, являющихся постоянными величинами для данного вида детектора и газ-носителя. Выходы основных продуктов рассчитаны на сухую массу исходного вещества.

Результаты и обсуждение

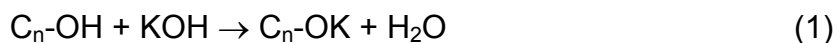
Введение щелочи в уголь влияет на выходы основных продуктов (табл. 1). Сходимость материального баланса достаточно высока, ошибка не превышает 2,1%. Для образцов из угля с меньшей зольностью наблюдается более высокий выход газов и органических веществ — компонентов смолы, что связано с большим содержанием органической массы угля (ОМУ).

Таблица 1. Выходы (%) продуктов термолиза БУ и соединения «БУ-КОН» в расчете на сухую (d) и органическую (daf) массу угля

Исходное вещество	Расчет	Выход (%) от веса исходных веществ				
		Газы	Жидкие		ТПТ ³	Σ
			ОВ ¹	Н ₂ О ²		
БУ (A ^d 16,4%)	d	26,7±0,6	8,4±0,1	7,6±0,2	56,6±1,2	99,3±2,1
	daf	32,0±0,7	10,1±0,1	9,1±0,3	48,1±1,3	99,3±2,4
БУ-КОН (A ^d 56,6%)	d	10,6±0,2	8,1±0,3	7,4±0,2	74,2±0,7	100,3±1,4
	daf	24,4±0,5	18,7±0,7	17,1±0,5	40,6±0,7	100,8±2,4
БУ (A ^d 9,6%)	d	29,6±0,5	9,3±0,3	7,9±0,3	52,3±0,9	99,1±2,0
	daf	32,7±0,6	10,3±0,4	8,7±0,3	47,2±0,9	98,9±2,2
БУ-КОН (A ^d 53,1%)	d	10,8±0,3	8,0±0,2	6,6±0,2	75,3±1,1	100,7±1,8
	daf	23,0±0,7	17,1±0,5	14,1±0,5	47,3±1,2	101,5±2,9

Примечание. 1 — ОВ — органические вещества, 2 — пирогенетическая вода, 3 — ТПТ — твердый продукт термолиза.

При пересчете выхода продуктов на органическую массу соединения «БУ-КОН» учитывали следующее. В ходе импрегнирования, т.е. при трансформации исходного угля в соединение «БУ-КОН» протекают реакции взаимодействия щелочи с ОН-кислотными группами ОМУ:



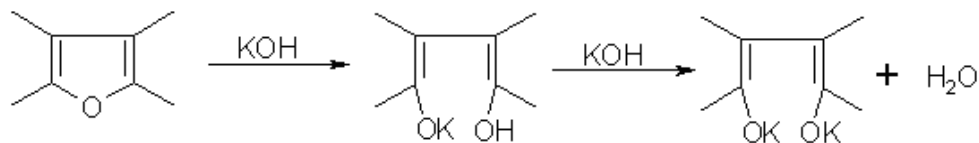
При высушивании соединения «БУ-КОН» образовавшаяся по реакции (1) вода удаляется и в последующих термохимических процессах не участвует.

Ионно-обменным методом определено [13], что содержание ОН-групп в буром угле составляет 4,6 моль/кг ОМУ. Таким образом, при образовании соединения «БУ-КОН» при весовом соотношении КОН/уголь 1 г/г или 17,9 молей КОН на 1 кг угля, 4,6 моля КОН расходуется в реакции (1), остальная часть — 13,3 моля КОН присутствует в угольном каркасе в виде отдельных молекул или молекулярных кластеров. Таким образом, расчетная зольность соединений «БУ-КОН», приведенная в табл. 1, включает собственную зольность угля, свободную щелочь и ионы калия в солеобразных структурах типа $C_n\text{-OK}$, образовавшихся по реакции (1).

При сопоставлении данных материального баланса обнаружено следующее. Для образцов с разной зольностью выходы достаточно близки, что свидетельствует о слабом влиянии минеральных компонентов на термолиз органической массы угля либо соединения «БУ-КОН».

В присутствии щелочи общий выход газов снижается в 1,3–1,4 раза, а выход жидких органических веществ повышается в 1,7–1,8 раза. Гидроксид калия раскалывает (фрагментирует) органический каркас угля на относительно крупные фрагменты с большей молекулярной массой. При более низких температурах ($\leq 400^\circ\text{C}$) такие фрагменты еще крупнее и представляют собой гуматы щелочных металлов [14]. Эффект «щелочной фрагментации» органического каркаса впервые обнаружен в работе [15], позднее подтвержден для углей Канско-Ачинского бассейна (Россия) [16] и Александрийского месторождения (Украина) [17].

Выход пирогенетической воды в расчете на ОМУ из соединений «БУ-КОН» в 1,6–1,9 раз превышает выход из исходного угля. Мы полагаем, что этот эффект обусловлен протеканием вторичных реакций, например, взаимодействия находящейся в объеме угля свободной щелочи с ОН-группами, образовавшимися при термоинициируемом щелочном расщеплении гетероциклов [18]:



С ростом температуры суммарный выход газообразных продуктов линейно растет (рис. 1), как для БУ, так и для соединения «БУ-КОН». Они хорошо описываются функциями: $Y = 0,66t - 229$ ($R^2=0,992$) для БУ и $Y = 0,52t - 189$ ($R^2=0,996$) для «БУ-КОН». Выход газообразных продуктов из БУ во всем интервале температур выше. Общее количество газа, выделившегося при термолизе соединения «БУ-КОН», составляет 244 ± 5 г/кг, из БУ — 320 ± 7 г/кг, что в 1,3 раза выше. В то же время, объемный выход газа из исходного угля в 1,15 раза ниже, чем из соединения «БУ-КОН» ($241 \text{ дм}^3/\text{кг}$ против $276 \text{ дм}^3/\text{кг}$), что вызвано повышенным содержанием легких газов, прежде всего, H_2 и CO (табл. 2).

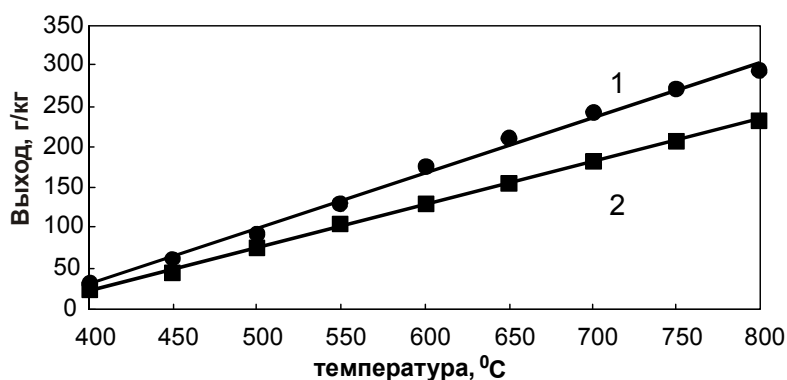


Рис 1. Суммарный выход газообразных продуктов термолиза БУ (1) и соединения «БУ-КОН» (2)

Выход индивидуальных газов для углей с разной зольностью различается. Наиболее заметная разница наблюдается для CO и CO_2 , выход которых зависит от величины A^d (Табл. 2). Вероятная причина этого — различное содержание карбонатных минеральных включений, генери-

рующих CO_2 при нагревании.

Таблица 2. Выход (г/кг ОМУ) газов термолиза образцов бурого угля (БУ) и соединения «БУ-КОН»

Компонент газа	БУ (A^d 16,4%)		БУ (A^d 9,6%)	
	БУ	БУ-КОН	БУ	БУ-КОН
H_2	4,5	7,7	4,7	8,4
CO	50,4	73,1	51,3	52,9
CO_2	195,9	92,7	180,0	106,3
CH_4	36,0	29,5	35,2	28,8
C_2H_6	17,6	18,9	18,3	22,3
C_3H_8	8,0	13,1	8,1	13,2
i- C_4H_{10}	6,9	0	7,3	0
n- C_4H_{10}	8,5	7,0	8,9	10,8

Состав газов термолиза угля и соединения «БУ-КОН», полученный при нагревании до 800°C с изотермической выдержкой (1 ч), приведен в табл. 3. Газообразные продукты из соединения «БУ-КОН» обогащены водородом и оксидом углерода, содержание этана и пропана также возросло. Содержание негорючего компонента — диоксида углерода — снизилось существенно, примерно в 2 раза.

Таблица 3. Состав (% об.) газов термолиза образцов БУ и соединения «БУ-КОН»

Компонент газа	БУ (A^d 16,4%)		БУ (A^d 9,6%)	
	БУ	БУ-КОН	БУ	БУ-КОН
H_2	19,2	33,6	20,0	36,5
CO	15,4	22,8	13,4	16,4
CO_2	37,8	18,4	39,0	20,8
CH_4	19,2	16,0	18,8	15,6
C_2H_6	4,5	5,5	5,0	6,5
C_3H_8	1,6	2,6	1,5	2,6
i- C_4H_{10}	1,0	0	1,1	0
n- C_4H_{10}	1,3	1,1	1,2	1,6

Изменения состава газа, обусловленные реакциями с КОН, наглядно иллюстрируются гистограммой на рис. 2, где приведено отношение содержания конкретного газа (например, водорода) в газообразных продуктах термолиза соединения «БУ-КОН» к содержанию этого же газа в продуктах термолиза БУ.

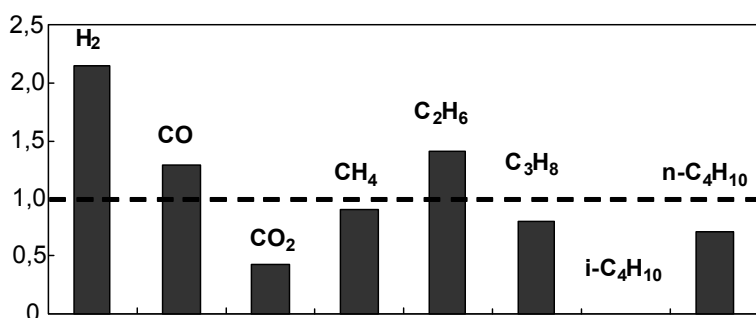


Рис 2. Отношение содержания конкретных газов в газообразных продуктах термолиза соединения «БУ-КОН» к содержанию этих газов в продуктах термолиза БУ

предположить протекание набора термоинициируемых реакций КОН с ОМУ. Одними из них являются хорошо известные, протекающие при $t > 400^\circ\text{C}$, реакции дегидрирования ареновых и алкановых фрагментов [19]:

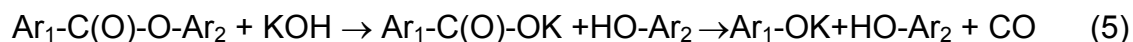


Как следствие, выход водорода повышается, что ведет к увеличению его содержания в газах термолиза соединения «БУ-КОН».

Увеличение выхода CO, вероятно, связано со вторичными реакциями



протекающими при 800°C и катализируемыми гидроксидом или карбонатом калия [20]. Кроме того, щелочь может способствовать реакциям декарбонирования, например:

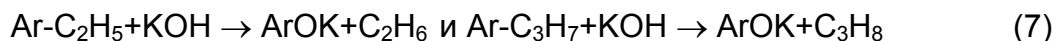


Содержание CO₂ существенно меньше, вероятнее всего, вследствие образования карбоната калия



Также вероятна убыль CO₂ за счет его превращения в CO вследствие взаимодействия с углеродной решеткой твердого продукта по реакции (4).

Более высокий выход этана и пропана из соединения «БУ-КОН» можно объяснить деалкилированием структурных фрагментов угольного каркаса



В этой реакции щелочь выступает донором протона, как и в реакции дегидрирования (2), (3). Интересно, что в присутствии щелочи не наблюдается образование изобутана, хотя при термолизе БУ он образуется (табл. 2). Это может быть следствием расщепления щелочью алифатических С-С связей разветвленных алкановых цепей буроугольного каркаса.

На данном этапе трудно объяснить снижение выходов метана и бутана. Исходя из предположения о промотировании щелочью реакций деалкилирования, можно было ожидать повышения выхода этих соединений.

Установление причин этого эффекта будет предметом последующих исследований.

Выводы

1. Введение гидроксида калия в бурый уголь увеличивает выход жидких органических продуктов (в 1,7–1,8 раза) и снижает общий выход газов термоллиза (в 1,3–1,4 раза).

2. Гидроксид калия изменяет состав газообразных продуктов: повышает выходы водорода, оксида углерода, этана и пропана; снижает выходы диоксида углерода и метана; полностью подавляет образование изобутана.

3. Предложены термоинициируемые реакции взаимодействия КОН с органическим веществом угля, включающие расщепление каркасообразующих цепей, дегидрирование и деалкилирование ареновых и алкановых структурных фрагментов, а также декарбонилирование.

4. Сравнением газообразных продуктов термоллиза бурых углей с разной зольностью и полученных из них соединений уголь-КОН установлено слабое влияние минеральных компонентов на выход и состав газов.

Литература

1. **Бутырин Г.М.** Высокопористые углеродные материалы / Г.М. Бутырин. — Москва: Химия, 1976. — 192 с.
2. **Ehrburger P., Addoun A., Addoun F., Donnet J.-B.** Carbonization of coals in the presence of alkaline hydroxides and carbonates: Formation of activated carbons // *Fuel*, 1986. — Vol. 65. — № 10. — P. 1447–1449.
3. **Illan-Gomez M. J., Garcia-Garcia A., Salinas-Martinez de Lecea C., Linares-Solano A.** Activated Carbons from Spanish Coals. 2. Chemical activation // *Energy & Fuels*, 1996. — Vol. 10. — P. 1108–1114.
4. **Verheyen V., Rathbone R., Yagtoyen M., Derbyshire F.** Activated extrudates by oxidation and KOH activation of bituminous coals // *Carbon*, 1993. — Vol. 33. — № 6. — P. 763–772.
5. **Lillo-Rodenas M. A., Cazorla-Amoros D., Linares-Solano A.** Understanding chemical reactions between carbons and NaOH and KOH. An insight into the chemical mechanism // *Carbon*, 2003. — Vol. 41. — № 2. — P. 267–275.
6. **Perrin A., Celzard A., Albinia A., Kaczmarczyk J., Mareche J. F., Furdin G.** NaOH activation of anthracites: effect of temperature on pore textures and methane storage ability // *Carbon*, 2004. — Vol. 42. — № 14. — P. 2855–2866.
7. **Raymundo-Pinero E., Azais P., Cacciaguerra T., Cazorla-Amoros D., Linares-Solano A., Beguin F.** KOH and NaOH activation mechanism of multiwalled carbon nanotubes with different structural organization // *Carbon*, 2005. — Vol. 43. — №4. — P. 786–795.
8. **Srivastava S. K., Saran T., Sinha J., Ramachandran L. V., Rao S. K.** Hydrogen production from coal-alkali interaction // *Fuel*, 1988. — Vol. 67. — № 12. — P. 1680–1680.
9. **Тамко В. А., Саранчук В.И.** Влияние обработки щелочами и кислотами низкометаморфизованных углей на выход и состав газообразных продуктов пиролиза // *ХТТ*, 2001. — № 4. — С. 30–37.
10. **Schobert H.H., Song C.** Chemicals and materials from coal in the 21st century // *Fuel*, 2002. — Vol. 81. — № 1. — P. 15–32.
11. **Тамаркина Ю.В., Маслова Л.А., Хабарова Т.В., Кучеренко В.А.** Адсорбционные свойства углеродных материалов, полученных термоллизом бурого угля в присутствии гидроксидов щелочных металлов // *Журнал прикладной химии*, 2008. — Т. 81. — Вып. 7. — С. 1088–1091.
12. **Тамаркина Ю.В., Маслова Л.А., Хабарова Т.В., Кучеренко В.А.** Получение активированных углей при термоллизе бурого угля, импрегнированного гидроксидом натрия или калия // *Вопросы химии и химической технологии*. 2007. — №5. — С. 193–197.
13. **Тамаркина Ю.В., Бован Л.А., Кучеренко В.А.** Изменение молекулярной структуры бурого угля при термоллизе в присутствии щелочи // *Вопросы химии и химической технологии*, 2008. — в печати.

14. Кучеренко В.А., Зубова Т.И. Образование и термолитиз соединений включения угля с гидроксидами щелочных металлов // Журнал общей химии, 1995. — Т. 65. — Вып. 8. — С. 1256–1264.

15. Ганкина Л.В., Сухов В.А., Луковников А.Ф. Особенности термической деструкции модифицированных бурых углей // ХТТ, 1980. — № 1. — С. 105–112.

16. Кучеренко В.А., Зубова Т.И., Шапранов В.В., Ярошенко А.П. Образование соединений внедрения в системах уголь-гидроксид щелочного металла // Укр. хим. Журнал, 1992. — Т. 58. — № 6. — С. 446–452.

17. Тамаркина Ю.В., Бован Л.А., Кучеренко В.А. Свойства твердых продуктов термолитиза бурого угля, импрегнированного щелочью // Химия твердого топлива, 2008. — № 4. — С. 14–20.

18. Utz B.R., Novak M.A., Fouth D.J. Nucleophilic properties of molten hydroxides in the desulfurization properties / Proc. of Int. Conference on Coal Science, Tokyo, Japan, 1989. — Vol. 1. — P. 197–200.

19. Yoshizawa N., Maruyama K., Yamada Y., Ishikawa E., Kobayashi M., Toda Y., Shiraishi M. XRD evaluation of KOH activation process and influence of coal rank // Fuel, 2002. — Vol. 81. — № 13. — P. 1717–1722.

20. Moulijn J.A., Kapteijn F. Catalytic gasification. — Carbon and Coal Gasificat. Sci. and Technol. Proc. NATO, — Adv. Study Inst., Alvor, May 20–31, 1985.

© Бован Л.А., Тамко В.А., Тамаркина Ю.В., Кучеренко В.А., 2009

Рецензент д.х.н., профессор ИнФОУ НАНУ Шендрик Т.Г.

УДК 552.57:541.183.03

Исаева Л. Н., Симонова В. В., Тамаркина Ю. В., Бован Д. В., Кучеренко В. А., Шендрик Т. Г. (ИнФОУ НАНУ)

АДСОРБЦИЯ ФЕНОЛА ХИМИЧЕСКИ АКТИВИРОВАННЫМ БУРЫМ УГЛЕМ

Исследована адсорбция фенола активированными углями, полученными термолитизом (800 °С, 1 ч) бурого угля, импрегнированного гидроксидом калия при весовом соотношении KOH/уголь 0,05–2,0 г/г. В области концентраций фенола $C_0 \leq 3$ мг/см³ получены кинетические кривые и изотермы (20 °С) адсорбции. Оценена степень извлечения фенола, которая составляет 98–100 % при $C_0 \leq 0,1$ мг/см³.

Адсорбция различных органических соединений, особенно экотоксикантов, является серьезной задачей, связанной с очисткой водных стоков и питьевой воды [1]. Одним из таких веществ является фенол, который выделяется, в частности, со сточными водами КХЗ и сам по себе является загрязнителем окружающей среды. Кроме того, в процессе обеззараживания содержащей фенол воды хлорированием могут образовываться хлорфенолы, являющиеся потенциальными предшественниками диоксинов [2]. В связи с этим, достаточно много внимания уделяется исследованию адсорбции фенола и его производных из водных сред [3–13]. В качестве адсорбентов применяют материалы на основе неорганических соединений, например, апатита [3] или алюмосиликатов [4]. Емкость по фенолу апатитов варьируется в пределах от 0,3 до 18 мг/г из растворов с концентрацией 11,6 мг/дм³ [3]. Среди алюмосиликатов максимальной емкостью обладает модифицированный монтмориллонит (до 2,5 мг/г из растворов с концентрацией 45 мг/дм³) [4].

Для адсорбции фенола чаще используют активированные угли (АУ) [5–13]. Их получают активацией карбонизатов биомассы (лигнина, древесины