



УДК 546.05+661.183.2

СОВМЕСТНАЯ ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕШЛАМА С РИСОВЫМИ ОТХОДАМИ

•••••

JOINT TREATMENT OF OIL SLUDGE WITH RICE WASTE

Аппазов Нурбол Орынбасарулы

кандидат химических наук, профессор,
директор института химических исследований и технологий,
Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
nurasar.82@mail.ru

Базарбаев Баурат Маликулы

инженер лаборатории инженерного профиля
«Физико-химические методы анализа»,
Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
fbinbbm@mail.ru

Диярова Бану Маралбеккызы

PhD-докторант по специальности 6D060600 – Химия,
Казахский национальный женский педагогический университет
banu_92_06@mail.ru

Шурагазиева Асель Торебековна

магистрант по специальности 6M072000 – Химическая
технология неорганических веществ,
Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
assel.290982@mail.ru

Жаппарбергенев Рахметулла Умирбекович

магистр технических наук, научный сотрудник,
Институт химических исследований и технологий,
Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
ulagat-91@mail.ru

Акылбеков Нургали Икрамович

PhD, руководитель лаборатории инженерного профиля
«Физико-химические методы анализа»,
заместитель директора института химических исследований и
технологий,
Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
nurgali_089@mail.ru

Аннотация. Проведен со-термолиз рисовой шелухи и соломой с нефтешламом с целью получения широкоприменяемого адсорбента – активированный уголь. Карбонизацию проводили в трубчатой печи, изготовленной из нержавеющей при температуре 500 °C и активацию карбонизата осуществляли водяным паром при температуре 800 °C. Изучено влияние соотношения исходных компонентов сырья (шелуха / солома : нефтешлам) на свойства продукта.

Оптимальным соотношением для со-термолиза шелуха : нефтешлам является 9 : 1 (по массе), соответственно. Оптимальным условием получения активированного угля со-термолизом рисовой соломы и нефтешлама является температура карбонизации 500 °C с продолжительностью 100 мин, активации карбонизата при температуре 850 °C и при соотно-

Appazov Nurbol Orynbasaruly

Candidate of Chemical Sciences, Professor,
Director of the Institute of Chemical Research
and Technology,
Kyzylorda State University named
after Korkyt Ata
nurasar.82@mail.ru

Bazarbayev Baurat Malikuly

Engineer of the laboratory of engineering
profile «Physical and chemical methods
of analysis»,
Kyzylorda State University named
after Korkyt Ata
fbinbbm@mail.ru

Diyarova Banu Maralbekkyzy

PhD Doctoral Student in 6D060600 –
Chemistry,
Kazakh National Teacher Training University
for Women
banu_92_06@mail.ru

Shuragazieva Asel Torrebekovna

Master's degree 6M072000 – Chemical
Technology of Neogranic Substances,
Kyzylorda State University named
after Korkyt Ata
assel.290982@mail.ru

Zhapparbergenov

Rakhmetulla Umirbekovich
Master of Technical Sciences,
Research Associate,
Institute for Chemical Research
and Technology,
Kyzylorda State University named
after Korkyt Ata
ulagat-91@mail.ru

Akylbekov Nurgali Ikramovich

PhD, Head of the Engineering Profile
Laboratory «Physical and chemical
methods of analysis»,
Deputy Director, Institute of
Chemical Research and Technology,
Kyzylorda State University named
after Korkyt Ata
nurgali_089@mail.ru

Annotation. Co-thermolysis of rice husk and straw with oil sludge was carried out in order to obtain a widely used adsorbent – activated carbon. Carbonization was carried out in a tubular furnace made of stainless steel at a temperature of 500 °C and the activation of carbonization was carried out with water vapor at a temperature of 800 °C. The influence of the ratio of the initial components of the raw material (husk / straw : oil sludge) on the properties of the product was studied. The optimal ratio for co-thermolysis of the husk: oil sludge is 9 : 1 (by weight), respectively. The optimal condition for the production of activated carbon by co-thermolysis of rice straw and oil sludge is a carbonization temperature of 500 °C with a duration of 100



шении вода:карбонизат = 2 : 1. Изучены такие пока-затели, как адсорбционная активность по йоду, суммарный объем пор по воде, массовая доля влаги и насыпная плотность. Микроструктуры полученных активированных углей изучали на сканирующем растровом электронном микроскопе. Активированный уголь полученный совместной переработкой рисовой шелухи и нефтешлама в соотношениях 9 : 1 соответствует активированному углю марки ДАК. Полученный продукт на основе рисовой соломы и нефтешлама соответствует активированным углям марки БАУ-МФ, БАУ-А и БАУ-Ац.

Ключевые слова: активированный уголь, рисовая шелуха, рисовая солома, нефтешлам, со-термолиз, карбонизация, активация карбонизата.

min, activation of the carbonizate at a temperature of 850 °C and with a ratio of water:carbonizate = 2 : 1. Indices such as iodine adsorption activity, total pore volume in water, mass fraction of moisture, and bulk density were studied. The microstructures of the obtained activated carbons were studied on a scanning electron microscope. Activated carbon obtained by the joint processing of rice husk and oil sludge in a ratio of 9 : 1 corresponds to activated carbon brand DAK. The resulting product based on rice straw and oil sludge corresponds to the activated carbons BAU-MF, BAU-A and BAU-Ats.

Keywords: activated carbon, rice husk, rice straw, oil sludge, co-thermolysis, carbonization, activating of carbonizate.

Аktivированный уголь находит широкое практическое применение в очистке воздуха и газов, в обесцвечивании и очистки жидкостей и растворов, в водоподготовке, в качестве катализаторов и носителей катализаторов, в медицине, в табачном производстве и т.д. [1].

Важнейшим сырьем для получения активного угля, являются: древесина (в виде опилок), древесный уголь, торф, торфяной кокс, каменные и бурые угли, а также полукоксы бурых углей. Известны способы получения активированного угля из фруктовых косточек, скорлупы орехов, сельскохозяйственных отходов, отходов бумажного производства, мусора, осадков сточных вод, изношенных резиновых покрышек, отходов производства синтетических полимеров и т.д., которые не нашли широкого промышленного применения [1–5].

Известны способы получения активированного угля из растительных отходов, в частности из отходов ячменя (шелуха и некондиционное зерно) и из соломы рапса [6, 7]. Авторы [8, 9] в исследованиях использовали кукурузные початки в качестве сырья для производства активированного угля. Активацию проводили с использованием диоксида углерода при температурах 800–900 °C, времени активации 20–120 мин и степени обжига 1–71 %.

Имеются работы по получению высокопористого активного угля из рисовой шелухи, который имеет селективную сорбционную активность на ионы свинца [10, 11]. Имеются сведения, что совместная переработка рисовой шелухи с политетрафторэтиленом показывает высокую пористую структуру [3].

Авторами [12] получен активированный уголь из рисовой шелухи, карбонизацию проводят при температуре 500–700 °C с выдержкой 100–120 мин, активацию осуществляют при температуре 780–800 °C при расходе водяного пара 2,0–2,5 кг на 1 кг карбонизированного продукта. Адсорбционная активность по йоду активированного угля полученного данным способом составляет 20–25 %. Недостатком данного способа является низкая адсорбционная активность.

Активированные угли, получены из рисовой шелухи путем активации с помощью фосфорной кислотой [13–16], а также получен активированный уголь из рисовой шелухи методом активации с фосфорной кислотой в одностадийном процессе [17].

Ранее нами был получен активированный уголь из рисовой соломы и шелухи [18], а также совместной переработкой рисовой шелухи и нефтешлама [19].

При проведении со-термолиза используются многокомпонентные смеси или композиты, различных по своей природе органических материалов с целью получения синергизма термолиза компонентов и, соответственно, улучшения выхода и селективности вторичных продуктов. Процессы со-карбонизации смесей техногенного сырья и природных углеродных материалов с целью получения твердых пористых сорбентов относительно новая и малоизученная область применения со-термолиза к задачам переработки органического сырья.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Рисовая шелуха и солома была измельчена до порошкового состояния на лабораторной мельнице.

Со-термолиз рисовой шелухи и нефтешлама в соотношениях 9 : 1, 8 : 2, 7 : 3, 6 : 4, 5 : 5 проводили в трубчатой печи, изготовленной из нержавеющей стали высотой 250 мм и внутренним диаметром 25 мм при температуре 500 °C и активацией карбонизата водяным паром при температуре 800 °C.

Со-термолиз смеси рисовой соломы и нефтешлама проводили в трубчатой печи, изготовленной из нержавеющей стали высотой 250 мм и внутренним диаметром 25 мм. В печь помещают смесь из 9 г рисовой соломы и 1 г нефтешлама (оптимальное соотношение согласно работе [19]), карбонизацию проводили при температурах 350–500 °C. Затем с нижней части трубчатой печи подключается сосуд для подачи пара воды при температуре 750–900 °C.



Поверхность полученных активированных углей изучали на растровом сканирующем электронном микроскопе JSM-6510 LV фирмы JEOL (Япония).

Свойства полученных активированных углей (адсорбционная активность по йоду, суммарный объем пор по воде, массовая доля влаги, насыпная плотность) определяли по известной методике [20–23].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Совместная переработка рисовой шелухи и нефтешлама проводили по общей методике: в трубчатую печь помещают смесь рисовой шелухи и нефтешлама в различных соотношениях (табл. 1), герметизируют и осуществляют карбонизацию со скоростью подъема температуры 10 °С в минуту до 500 °С и выдерживают при этой температуре 100 мин. Затем с нижней части трубчатой печи подключается сосуд для подачи пара воды с расходом 2 : 1 на массу карбонизата. Активацию проводят при температуре 800 °С.

Физико-химические показатели полученного активированного угля показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Совместная переработка рисовой шелухи и нефтешлама

Наименование показателя	Результаты экспериментальных исследований				
Массовое соотношение рисовой шелухи и нефтешлама	9 : 1	8 : 2	7 : 3	6 : 4	5 : 5
Выход карбонизата, мас. %	42,7	40,6	36,8	33,7	33,0
Выход активированного угля, мас. %	35	32,4	29,4	26,6	26,2
Адсорбционная активность по йоду, %	46,99	43,18	38,10	31,75	26,67
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	1,41	1,38	1,31	1,28	1,20
Массовая доля влаги, %	4,1	4,5	4,9	5,1	5,3
Насыпная плотность, г/дм ³	201,4	207,9	211,3	213,2	220,8

Со-термолиз смеси рисовой соломы и нефтешлама проводили со скоростью подъема температуры 10 °С в минуту до необходимой температуры (350–500 °С) и выдерживали при данных температурах 50–150 мин. Выход карбонизата при со-термолизе в различных условиях составляет 27,9–32,5 %. Активацию карбонизата проводили парами воды с расходами воды на массу карбонизата 1–4 : 1 при температурах 750–900 °С. Выход активированного угля составляют 20,0–29,0 % от массы взятой смеси соломы и нефтешлама.

Оптимальным условием получения активированного угля со-термолизом рисовой соломы и нефтешлама является температура карбонизации 500 °С с продолжительностью 100 мин, активации карбонизата при температуре 850 °С и при соотношении вода:карбонизат = 2 : 1. Адсорбционная активность по йоду полученного таким способом активированного угля составляет 94,03 % (табл. 2).

Выход и физико-химические параметры полученного активированного угля показаны в таблице 2.

Таблица 2 – Со-термолиз рисовой соломы и нефтешлама

Наименование показателя	Результаты экспериментальных исследований										
Температура карбонизации, °С	500	350	400	450	500	500	500	500	500	500	500
Продолжительность карбонизации, мин	100	100	100	100	100	100	50	150	100	100	100
Выход карбонизата, мас. %	31,1	32,5	31,6	30,8	31,1	31,1	31,6	27,9	31,1	31,1	31,1
Температура активации карбонизата, °С	850	800	800	800	750	900	850	850	850	850	850
Соотношение вода:карбонизат	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	2:1	3:1	4:1	1:1
Выход активированного угля, мас. %	22,1	25,2	24,6	27,3	28,3	24,0	22,4	20,0	25,3	25,0	29,0
Адсорбционная активность по йоду, %	94,03	60,97	51,84	49,29	73,34	92,71	45,58	42,24	31,75	35,56	30,47
Суммарный объем пор по воде, см ³ /г	2,12	1,43	1,99	0,98	1,93	1,35	0,94	1,51	1,09	1,13	2,20
Массовая доля влаги, %	0,06	0,52	0,85	0,41	0,58	1,26	7,20	0,32	1,68	1,09	2,33
Насыпная плотность, г/дм ³	144,7	154,0	142,4	141,9	143,2	168,0	167,3	149,9	117,7	124,3	114,9

Микрофотографии активированных углей приведены на рисунках 1 и 2, на рисунках можно увидеть развитую пористую структуру полученных сорбентов.

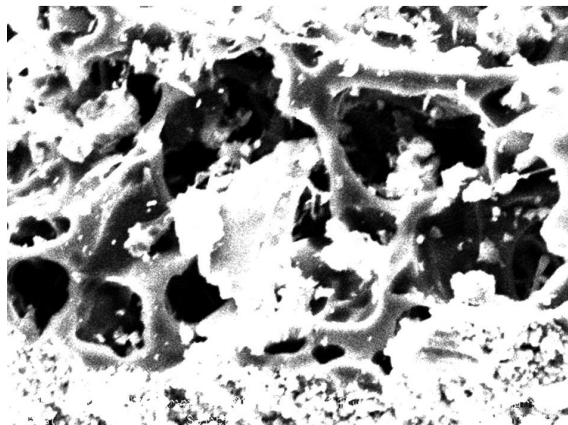


Рисунок 1 – Микрофотография активированного угля полученной из рисовой шелухи и нефтешлама

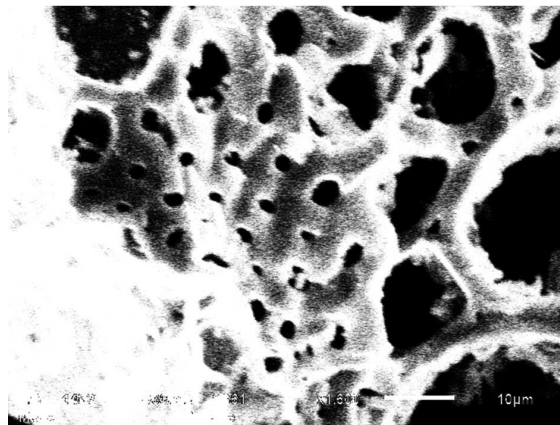


Рисунок 2 – Микрофотография активированного угля полученной со-термолизом рисовой соломы и нефтешлама

По результатам экспериментальных исследований, полученный продукт при совместной переработке рисовой шелухи и нефтешлама в соотношениях 9 : 1 соответствует активированному углю марки ДАК (ГОСТ 6217-74. Уголь активный древесный дробленый). Полученный продукт при совместной переработке рисовой соломы и нефтешлама в соотношениях 9 : 1, при температуре карбонизации 500°C с продолжительностью 100 мин, при температуре активации 850 °C в соотношении вода:карбонизат = 2 : 1 (самый оптимальный), соответствует активированным углям марки БАУ-МФ, БАУ-А и БАУ-Ац (ГОСТ 6217-74. Уголь активный древесный дробленый).

Использование предлагаемых способов получения активированного угля по сравнению с известным способом обеспечивает высокую адсорбционную активность и в качестве сырья предлагается использовать рисовую шелуху и солому с нефтешламом. Результаты исследований позволяют рационально использовать природные ресурсы и имеют природоохранное значение.

Работа выполнена при поддержке Комитета науки МОН РК за счет грантового финансирования AP05134356.

Литература:

1. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. – Л. : Химия, 1984. – 216 с.
2. Arezou Niksiar, Bahram Nasernejad. Activated carbon preparation from pistachio shell pyrolysis and gasification in a spouted bed reactor // Biomass and Bioenergy. – 2017. – V. 106. – P. 43–50. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.08.017.
3. Facile Synthesis of Highly Porous Carbon from Rice Husk / Yeru Liang [et al.] // ACS Sustainable Chem. Eng., Just Accepted Manuscript. – 2017. – V. 5. – № 8. – P. 7111–7117. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b01315.
4. Direct carbonization of rice husk to prepare porous carbon for supercapacitor applications / Wenli Zhang [et al.] // Energy. – 2017. – V. 128. – P. 618–625. DOI: 10.1016/j.energy.2017.04.065.
5. Пред. патент РК № 15933. Способ получения карбонизированного сорбента для извлечения золота из растворов / Мансуров З.А., Мансурова Р.М., Николаева А.Ф., Васильев Д.Г.; дата опубл. 15.07.2005. Бюл. № 7.
6. Патент РФ № 2315712 на изобретение. Способ получения активированного угля из отходов сельского хозяйства / Хоанг Ким Бонг, Тимофеев В.С., Тёмкин О.Н., Гафаров И.Г., Тимошенко А.В., Артамонова Т.В., Горбачева О.В., Кольвах И.П., Мишулин Г.М., Щепакин М.Б., Кожура Е.А., Хазиев Р.М., Ватолин А.К.; дата опубл. 27.01.2008.
7. Патент РФ № 2527221 на изобретение. Способ получения активного угля из растительных отходов / Мухин В.М., Воропаева Н.Л., Карпачев В.В., Харламов С.А., Спиридонов Ю.Я., Гурьянов В.В., Дмитрикова Е.Е.; дата опубл. 27.08.2014.
8. Aworn A. Preparation of CO₂ activated carbon from corncob for monoethylene glycol adsorption / A. Amphol, T. Paitip, N. Woranan // Colloids and Surfaces A: Physicochem and Eng. Asp. – 2009. – V. 333. – № 1–3. – P. 19–25.
9. Chang Ch-F. Effects of Burn-off and Activation Temperature on Preparation of Activated Carbon from Corn Cob Agrowaste by CO₂ and Steam / Ch-F. Chang, Ch-Y. Chang, W-T. Tsai // Journal of Colloid and Interface Science. – 2000. – V. 232. – № 1. – P. 45–49.
10. Hanum F., Bani O., Wirani L.I. Characterization of Activated Carbon from Rice Husk by HCl Activation and Its Application for Lead (Pb) Removal in Car Battery Wastewater // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – V. 180, 012151. DOI: 10.1088/1757-899X/180/1/012151.
11. Hanum F., Bani O., Izdihar A.M. Characterization of Sodium Carbonate (Na₂CO₃) Treated Rice Husk Activated Carbon and Adsorption of Lead from Car Battery Wastewater // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2017. – V. 180, 012149. DOI: 10.1088/1757-899X/180/1/012149.
12. Патент РФ № 2609802 на изобретение. Способ получения активного угля из растительного сырья / Клушин В.Н., Тху Аунг Си, Мухин В.М., Вин Мьинт Со, Нистратов А.В., Воропаева Н.Л.; дата опубл. 06.02.2017. Бюл. № 4.



13. Daifullah A.A.M., Girgis B.S., Gad H.M.H. A study of the factors affecting the removal of humic acid by activated carbon prepared from biomass material // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2004. – V. 235. – № 1–3. – P. 1–10. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2003.12.020.
14. Mohamed M.M. Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2004. – V. 272. – № 1. – P. 28–34. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.08.071.
15. Rahman I.A., Saad B., Shaidan S., Sya Rizal E.S. Adsorption characteristics of malachite green on activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process // *Bioresource Technology*. – 2005. – V. 96. – № 14. – P. 1578–1583. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.015.
16. Kennedy L.J., Vijaya J.J., Sekaran G. Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk by Phosphoric Acid Activation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2004. – V. 43. – № 8. – P. 1832–1838. DOI: 10.1021/ie034093f.
17. Guo Y., Rockstraw D.A. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2007. – V. 100. – № 1–3. – P. 12–19. DOI: 10.1016/j.micromeso.2006.10.006.
18. Аппазов Н.О., Жусупбек У.А., Турманов Р.А., Любчик С.Б., Любчик А.И., Любчик С.И., Лыгина О.С., Байназарова С.Р., Базарбаев Б.М. Патент на полезную модель № 3892. Способ получения активированного угля из рисовой соломы и шелухи. Промышл. собственность. Офиц. бюлл. – 19.04.2019. – № 16.
19. Аппазов Н.О., Турманов Р.А., Байназарова С.Р., Диярова Б.М., Шурагазиева А.Т., Джиембаев Б.Ж., Лыгина О.С., Любчик А.И., Курманбаев Р.Х. Патент на полезную модель № 3821. Способ получения активированного угля из рисовой шелухи и нефтешлама. Промышл. собственность. Офиц. бюлл. – 05.04.2019. – № 14.
20. ГОСТ 6217. Уголь активный древесный дробленый. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2003.
21. ГОСТ 17219. Угли активные. Метод определения суммарного объема пор по воде. – М.: Издательство стандартов, 1988.
22. ГОСТ 12597. Сорбенты. Метод определения массовой доли воды в активных углях и катализаторах на их основе. – М.: Издательство стандартов, 1989.
23. ГОСТ 16190. Сорбенты. Метод определения насыпной плотности. – М.: Издательство стандартов, 1970.

References:

1. Kinle H., Bader E. Active carbons and their industrial application. – L.: Chemistry, 1984. – 216 p.
2. Arezou Niksiar, Bahram Nasernejad. Activated carbon preparation from pistachio shell pyrolysis and gasification in a spouted bed reactor // *Biomass and Bioenergy*. – 2017. – V. 106. – P. 43–50. DOI: 10.1016/j.biombioe.2017.08.017.
3. Facile Synthesis of Highly Porous Carbon from Rice Husk / Yeru Liang [et al.] // *ACS Sustainable Chem. Eng.*, Just Accepted Manuscript. – 2017. – V. 5. – № 8. – P. 7111–7117. DOI: 10.1021/acssuschemeng.7b01315.
4. Direct carbonization of rice husk to prepare porous carbon for supercapacitor applications / Wenli Zhang [et al.] // *Energy*. – 2017. – V. 128. – P. 618–625. DOI: 10.1016/j.energy.2017.04.065.
5. Patent of the Republic of Kazakhstan № 15933. A method of obtaining a carbonized sorbent for the extraction of gold from solutions / Mansurov Z.A., Mansurova R.M., Nikolaeva A.F., Vasiliev D.G.; publ. date 07/15/2005. Bull. Number 7.
6. RF patent № 2315712 for the invention. A method of producing activated carbon from agricultural waste / Hoang Kim Bong, Timofeev V.S., Tyomkin O.N., Gafarov I.G., Timoshenko A.V., Artamonova T.V., Gorbacheva O.V., Kolvakh I.P., Mishulin G.M., Schepakin M.B., Kozhura E.A., Khaziev R.M., Vatolin A.K.; publ. date 01/27/2008.
7. RF patent № 2527221 for the invention. A method of producing activated carbon from plant waste / Mukhin V.M., Voropaeva N.L., Karpachev V.V., Kharlamov S.A., Spiridonov Yu.Ya., Guryanov V.V., Dmitryakova E.E.; publ. date 08/27/2014.
8. Aworn A. Preparation of CO₂ activated carbon from corn cob for monoethylene glycol adsorption / A. Amphol, T. Paitip, N. Woranan // *Colloids and Surfaces A: Physicochem and Eng. Asp.* – 2009. – V. 333. – № 1–3. – P. 19–25.
9. Chang Ch-F. Effects of Burn-off and Activation Temperature on Preparation of Activated Carbon from Corn Cob Agrowaste by CO₂ and Steam / Ch-F. Chang, Ch-Y. Chang, W-T. Tsai // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2000. – V. 232. – № 1. – P. 45–49.
10. Hanum F., Bani O., Wirani L.I. Characterization of Activated Carbon from Rice Husk by HCl Activation and Its Application for Lead (Pb) Removal in Car Battery Wastewater // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – V. 180, 012151. DOI: 10.1088/1757-899X/180/1/012151.
11. Hanum F., Bani O., Izdihar A.M. Characterization of Sodium Carbonate (Na₂CO₃) Treated Rice Husk Activated Carbon and Adsorption of Lead from Car Battery Wastewater // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. – 2017. – V. 180, 012149. DOI: 10.1088/1757-899X/180/1/012149.
12. RF patent № 2609802 for invention. A method of producing activated carbon from plant materials / Klushin V.N., Thu Aung Si, Mukhin V.M., Vin Myint So, Nistratov A.V., Voropaeva N.L.; publ. date 02/06/2017. Bull. Number 4.
13. Daifullah A.A.M., Girgis B.S., Gad H.M.H. A study of the factors affecting the removal of humic acid by activated carbon prepared from biomass material // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2004. – V. 235. – № 1–3. – P. 1–10. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2003.12.020.
14. Mohamed M.M. Acid dye removal: comparison of surfactant-modified mesoporous FSM-16 with activated carbon derived from rice husk // *Journal of Colloid and Interface Science*. – 2004. – V. 272. – № 1. – P. 28–34. DOI: 10.1016/j.jcis.2003.08.071.



15. Rahman I.A., Saad B., Shaidan S., Sya Rizal E.S. Adsorption characteristics of malachite green on activated carbon derived from rice husks produced by chemical-thermal process // *Bioresource Technology*. – 2005. – V. 96. – № 14. – P. 1578–1583. DOI: 10.1016/j.biortech.2004.12.015.
16. Kennedy L.J., Vijaya J.J., Sekaran G. Effect of Two-Stage Process on the Preparation and Characterization of Porous Carbon Composite from Rice Husk by Phosphoric Acid Activation // *Ind. Eng. Chem. Res.* – 2004. – V. 43. – № 8. – P. 1832–1838. DOI: 10.1021/ie034093f.
17. Guo Y., Rockstraw D.A. Activated carbons prepared from rice hull by one-step phosphoric acid activation // *Microporous and Mesoporous Materials*. – 2007. – V. 100. – № 1–3. – P. 12–19. DOI: 10.1016/j.micromeso.2006.10.006.
18. Appazov N.O., Zhusupbek U.A., Turmanov R.A., Lyubchik S.B., Lyubchik A.I., Lyubchik S.I., Lygina O.S., Bainazarova S.R., Bazarbaev B.M. Utility Model Patent № 3892. A method of producing activated carbon from rice straw and husk. Industry own. Officer bull. – 04/19/2019. – № 16.
19. Appazov N.O., Turmanov R.A., Bainazarova S.R., Diyarova B.M., Shuragazieva A.T., Dzhimbaev B.Zh., Lygina O.S., Lyubchik A.I., Kurmanbaev R.Kh. Utility Model Patent № 3821. A method of producing activated carbon from rice husk and oil sludge. Industry own. Officer bull. – 04/05/2019. – № 14.
20. GOST 6217. Crushed active charcoal. Technical conditions – M. : IPK Standards Publishing House, 2003.
21. GOST 17219. Active coals. Method for determining the total pore volume by water. – M. : Publishing house of standards, 1988.
22. GOST 12597. Sorbents. A method for determining the mass fraction of water in activated carbons and catalysts based on them. – M. : Publishing house of standards, 1989.
23. GOST 16190. Sorbents. Method for determining bulk density. – M. : Publishing house of standards, 1970.