

## Синтез нановолоконного композита, легированного азотными группами, из биомассы путем химической активации

М.С. Кунарбекова\*, И.О. Сапаргали, Л.Н. Сеймуханова, К.К. Кудайбергенов, С. Азат

Лаборатория инженерного профиля, Satbayev University, ул. Сатпаева, 22 а, Алматы, Казахстан

### АННОТАЦИЯ

Углеродные сорбенты широко применяются в системе водоочистки ввиду своих адаптируемых свойств к различного вида загрязнителям. Удаление радионуклидов, в частности, радиоактивного йода представляет собой сложную задачу, поскольку его состав включает анионы и молекулярный йод ( $I_2$ ) в воде и воздухе. В данной работе обсуждаются способность и механизм сорбции йода углеродными сорбентами на основе биомассы. В данном исследовании впервые была получена серия активированных углей на основе скорлупы грецкого ореха, прошедшей химическую активацию КОН и модифицированной азотными группами за счет гидротермального внедрения мочевины в структуру активированного угля. Легирование азотом проводилось для внедрения положительно заряженных активных центров. Работа включает оценку подготовки, характеристики и эффективности углеродсодержащих сорбентов для удаления соединений йода из водных сред. Разработан простой однореакторный синтез композита WN Urea КОН на основе активированного угля, модифицированного азотсодержащими группами. Сорбционная емкость сорбента составила 459,42 мг I на грамм композита с начальной концентрацией йодид иона 100 мг/л. Сорбционная емкость композита WN КОН без модификации азотными группами составила 432,5 мг/г с начальной концентрацией йодид иона 100 мг/л.

*Ключевые слова:* адсорбция, композит, йод, активированный уголь, мочевина.

### 1. Введение

Учитывая растущий спрос на электроэнергию, атомная энергетика во всем мире является очевидным способом обеспечения данного спроса на электроэнергию. Это, в свою очередь, ведет к накоплению радиоактивных отходов, в том числе радиоизотопов йода  $^{129}I$  и  $^{131}I$  (период полураспада ( $t_{1/2}$ ): 8,04 дней для  $^{131}I$  и  $1,57 \times 10^7$  лет для  $^{129}I$ ). Различные углеродные материалы применяются для сорбции радиоактивного йода: сорбенты с преобладанием графеновой структуры [1], аэрогели [2], МХены [3] и активированный уголь на основе биомассы [4, 5]. На рисунке 1 схематично представлены обзор углеродных сорбентов и их сорбционная емкость к радиоактивному йоду. Из представленных образцов одним из перспективных углеродных сорбентов можно отметить гидроуголь из отходов апельсиновой корки, легированный мочевиной, который сорбировал  $\sim 2,25$  г/г [6]. Среди наноматериалов двумерные пирен-алкадиинные каркасы графеновой струк-

туры могут извлекать из водного раствора до 2,57 г  $I^2$ /г [7].

Активированные угли, изготовленные из агропромышленных отходов, хорошо известны своей эффективной сорбционной способностью к загрязнителям как в водной среде, так и в газовой [8]. Физико-химические свойства активированного угля во многом зависят от способа его получения, который включает в себя карбонизацию, модификацию, химическую активацию, пиролиз, а также температурный режим и инертность среды во время синтеза. Одним из распространенных методов получения сорбента является химическая активация. Для этого часто используют гидроксид калия (КОН) в качестве активирующего агента, который способствует образованию пор и увеличению удельной поверхности. Кроме того, для улучшения адсорбционных свойств активированного угля часто применяют легирование азотсодержащими и серосодержащими реагентами [9]. Один из таких реагентов – мочевина, которая при гидротермальной обработке разлагается с

\*Ответственный автор  
E-mail: vasli6689@mail.ru



Рис. 1. Максимальная сорбционная емкость радиоактивного йода углеродными материалами.

образованием оксидов азота [6]. Эти оксиды взаимодействуют с поверхностью активированного угля, образуя азотсодержащие функциональные группы, что повышает его адсорбционную способность по отношению к различным веществам.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Получение активированных углей

Из скорлупы грецкого ореха WN методом карбонизации в печи для осаждения из паровой фазы CVD (BS-HTF-1200 °C, Kazakhstan, 2023) получали карбонизированную массу (WN-500, выход 27-30%). Карбонизацию проводили в инертной среде азота при температуре 500 °C в течение 1 ч. Далее карбонизированную биомассу подвергали активации сухим методом путем перемешивания с KOH (порошок) в соотношении по массе (1:2) и пиролизу при 800 °C в инертной среде азота в течение 2 ч со скоростью нагрева 10 °C/мин (WN-KOH). Параллельно были получены активированные угли методом физической активации при 800 °C в инертной среде азота в течение 2 ч, скорость нагрева 10 °C/мин (WN-800). Для изучения влияния азотного легирования карбонизированную массу (15 г) погружали в раствор мочевины (10% р-р, 150 мл) и подвергали автоклавированию в течение 24 ч при температуре 180 °C и давлении 5 МПа. Полученный карбонизированный продукт сушили при температуре 105 °C в течение 4-6 ч и подвергали последовательной активации с KOH (порошок) сухим способом в соотношении по массе (1:2). Полученный активированный уголь далее в тексте обозначили WN Urea KOH.

### 2.2. Метод сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

Изучение структуры и химического состава поверхности активированного угля проводили с использованием метода сканирующей электронной микроскопии (СЭМ-ЭДС) на приборе Zeiss Evo 50 (Oxford Instruments, Кембридж, Великобритания). Микрофотографии были получены при ускоряющем напряжении 20 кВ.

### 2.3. Метод низкотемпературной адсорбции азота

Информацию о микро- и мезо пористой текстуре (область от 1,7 до 300 нм) углеродных образцов получали методом низкотемпературной адсорбции азота на приборе BSD-660S A3 (Китай, 2024) после предварительной подготовки образцов, проводимой при 200 °C и остаточном давлении не менее 0,001 бар. Далее проводили измерения изотерм адсорбции/десорбции азота при температуре жидкого азота 77 К в диапазоне относительного давления 0,005-0,991 бар. Стандартную обработку результатов проводили по методу Barret-Jouner-Halenda (BJH) с применением условной модели цилиндрических пор с расчетом суммарной поверхности  $S_{\Sigma}$  и поверхности микропор  $S_{\mu}$  методом Брунауэр-Эммет-Теллера (БЭТ), суммарного объема пор  $V_{\Sigma}$ ; объема микропор  $V_{\mu}$ ; среднего диаметра пор  $D_{cp}$  (с учетом микро- и мезо пор) и метода теории функционала плотности.

**Таблица 1.** Характеристика активированных углей

№	Наименование образца	Удельная поверхность, (м <sup>2</sup> /г)	Общий объем пор, (см <sup>3</sup> /г)	Размер пор		
				микро, (нм)	мезо, (нм)	макро, (нм)
1	WN-500	0,61	0,01			918,45
2	WN-800	71,32	0,07		3,974	
3	WN-КОН	2192,67 (микропор 1947,84)	0,77 (объем микропор: 0,67)	1,03		
4	WN Urea КОН	2104,13 (микропор 1868,26)	0,82 (объем микропор: 0,65)	1,02		

#### 2.4. Метод инфракрасная спектроскопия (ИК)

Метод инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье (FTIR) был использован для исследования химического состава активированного угля. Спектры были получены с использованием спектрометра (JSM-6490LA, Japan). Образцы активированного угля готовили путем смешивания активированного угля с KBr (соотношение 99,5%:0,5%) по массе и прессовали в диск с нагрузкой 10 т/см перед анализом, который состоял из 32 сканирований с разрешением 1 см<sup>-1</sup>.

#### 2.5. Метод ультрафиолетовое облучение (УФ)

Спектр поглощения в ультрафиолетовом диапазоне измеряли спектрофотометром (PI-C-7000UV, Китай, 2018). Для построения градуировочного графика использовали раствор йодида калия в диапазоне концентраций от 5 до 20 мг/л.

Сорбционную емкость рассчитывали по следующему уравнению:

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)v}{m}$$

где:  $C_0$  и  $C_t$  – начальная и конечная концентрации ионов йода (г/л);  $v$  – объем;  $m$  – масса навески сорбента.

### 3. Результаты и обсуждения

#### 3.1 Текстуальные характеристики и размер пор

Образцы активированного угля исследовали методом низкотемпературной адсорбции азота. В таблице 1 приведены значения площади поверхности, объема и размера пор активированных углей, полученных методом физической активации, химической активации с добавлением КОН и активированных углей, модифицированных азотсодержащими группами.

Из данных таблицы 1 следует, что активированные угли, полученные методом химической активации с КОН, и угли, модифицированные азотсодержащими группами, имеют наиболее развитую удельную поверхность. На рис. 2 приведены изотермы сорбции и десорбции активированных углей.

Образование микро- и мезо пор происходит в основном за счет процесса взаимодействия КОН с карбонизированным углем и, как следствие, образованием отходных газов. Окончательное сравнение четырех образцов показало, что WN-КОН имеет наибольший объем пор с удельной поверхностью 2192,67 м<sup>2</sup>/г и общим объемом пор 0,78 см<sup>3</sup>/г.

#### 3.2. Текстуальные характеристики и элементный состав

Морфология и структура поверхности полученных активированных углей WN 800, WN КОН и WN Urea КОН были исследованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Для определения полуколичественного содержания элементов на поверхности активированных углей испытуемые образцы исследовали методом энергодисперсионного рентгеновского микроанализа (ЭДС-анализ) на электронном микроскопе QUANTA 3D 200i, оборудованном энергодисперсионным рентгеновским спектрометром (EDAX Co). На рис. 3 представлены электронно-микроскопические снимки активированных углей WN 800, WN КОН и WN Urea КОН, а также приведены спектрограммы ЭДС-анализа образцов различных участков.

Как видно на снимках, структура всех образцов пористая, наблюдается наличие макропор, переходящих в мезо- и микропоры. Примечательно, что допирование азотсодержащим агентом (мочевинной) имеет незначительный эффект на площадь поверхности и наличие микропор.

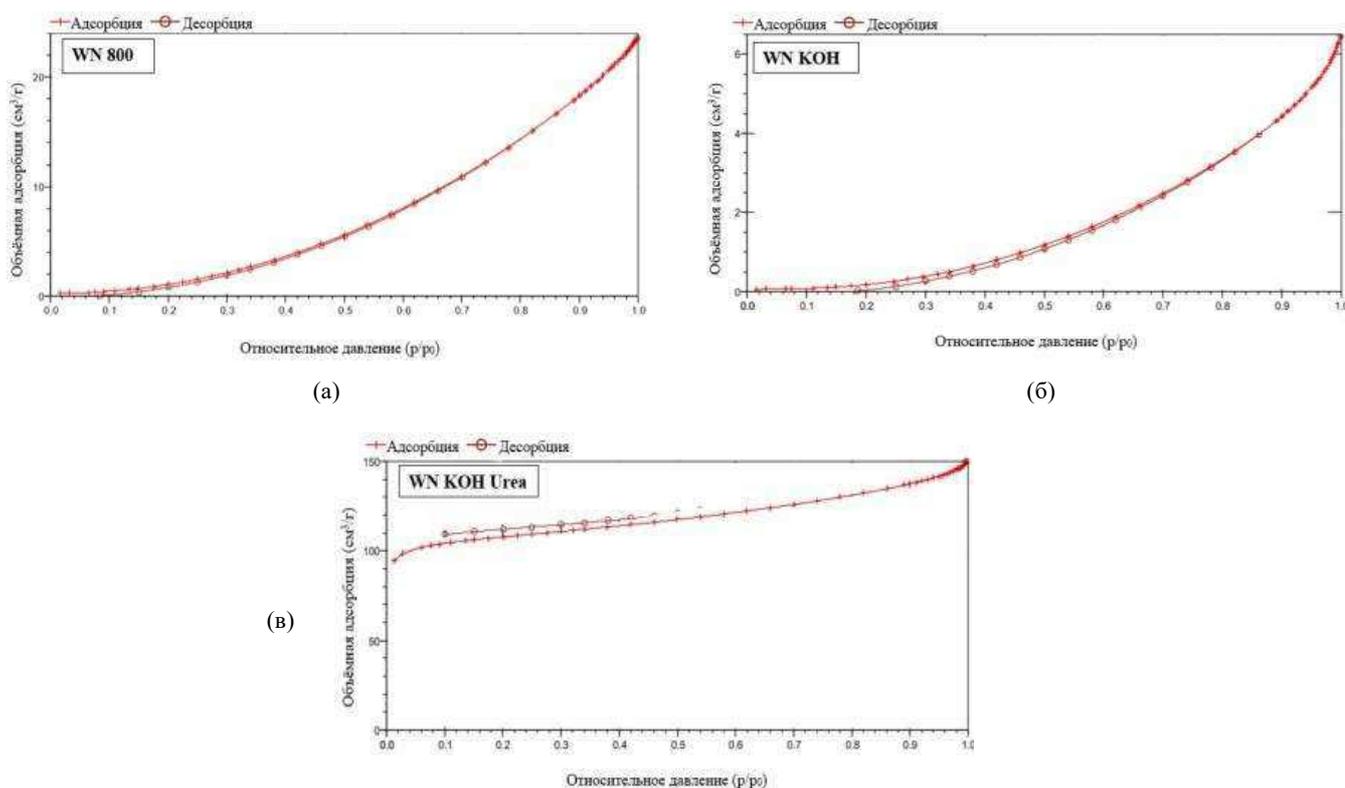


Рис. 2. Низкотемпературная адсорбция азота для образцов: (а) – WN 800; (б) – WN KOH и (в) – WN KOH Urea.

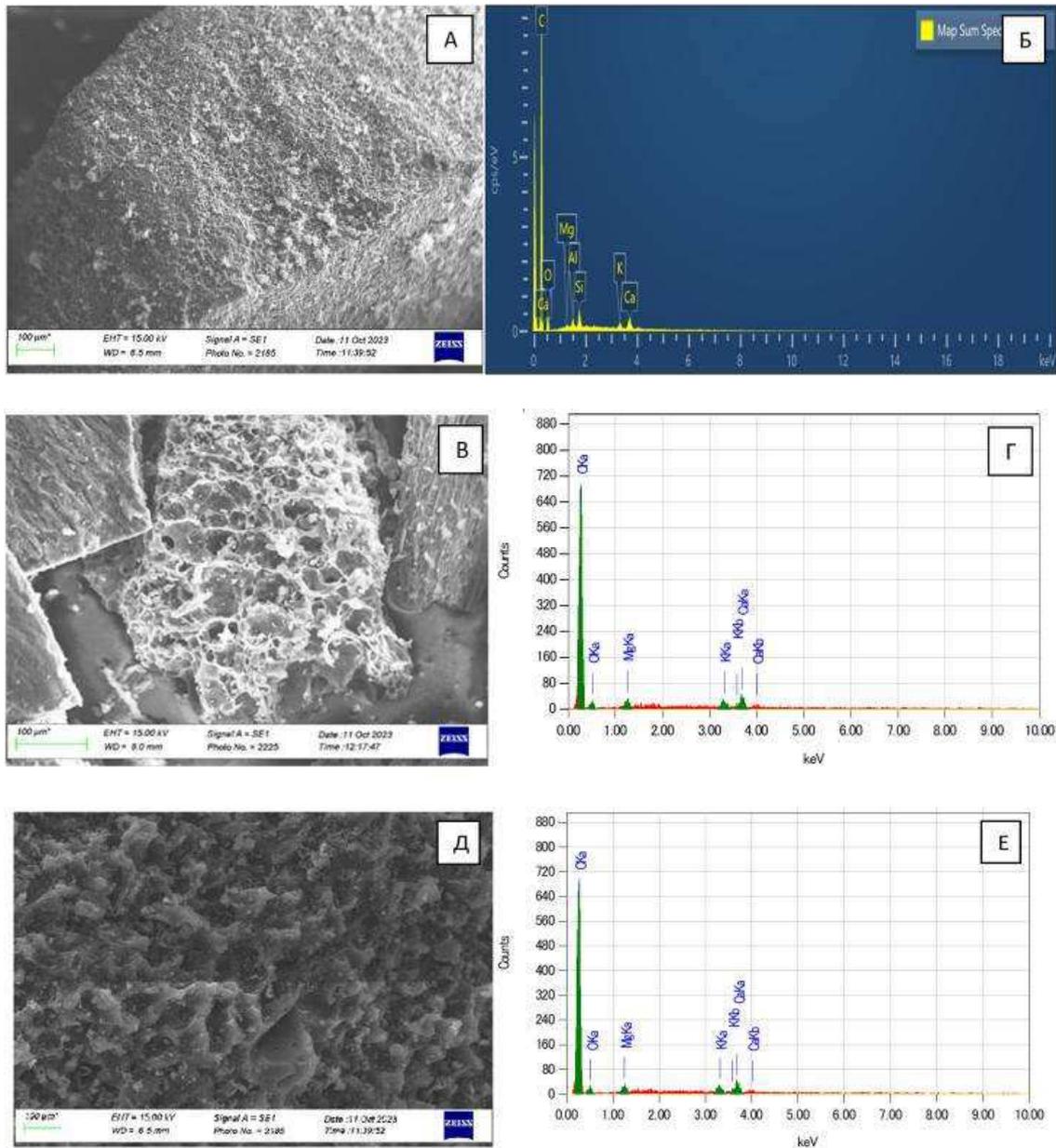
Из данных, представленных в таблице 2, видно, что количественное содержание углерода в образце WN-800 составляет порядка 84% атомных углерода, кислорода – около 13 атомных %, также установлено наличие небольшого количества остаточных примесей. В WN-KOH углерод составляет 80%, кислород – 17%. В образце WN Urea KOH количество углерода составило 83%, кислорода – 14%, а также установлено наличие остаточных примесей в массовой доле не более 2%. Массовая доля азота не была определена методом СЭМ-ЭДС ввиду его следовых количеств или ограничений прибора.

Таблица 2. Результаты элементного анализа образцов активированного угля

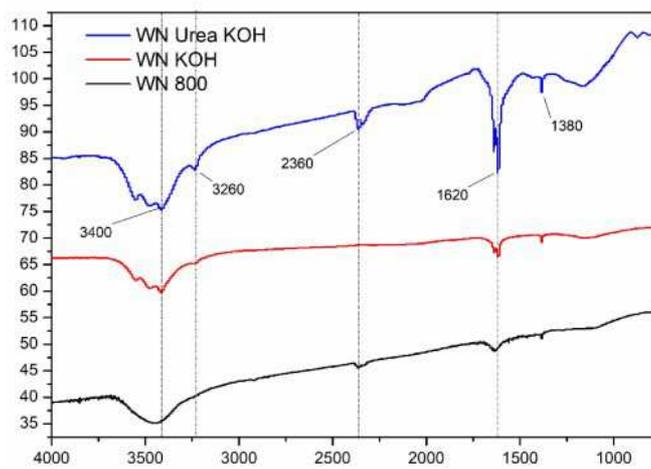
Элементы	WN-800	WN-KOH	WN Urea KOH
C	84,32%	79,65%	83%
O	12,70%	16,64%	14,15%
Mg	-	1,24%	0,17%
Al	-	-	0,41%
Si	-	-	0,84%
K	0,62%	0,68%	0,46%
Ca	0,86%	1,79%	0,97%
P	1,49	-	-

Для определения химического состава активированного угля и основных функциональных групп использовали метод FTIR. На рис. 4 представлены спектры активированных углей WN 800, WN KOH и WN Urea KOH.

В образцах активированного угля, модифицированного азотными группами, наблюдается больше пиков, чем в углях, активированных KOH, и активированных углях после физической активации. Это указывает на то, что произошла некоторая реорганизация поверхностных оксидов при активации при высокой температуре. Наблюдаемый пик поглощения около  $3400\text{ см}^{-1}$  на поверхности всех образцов указывает на наличие вибрации растяжения гидроксильной группы O-H. Пики в районе  $2360\text{ см}^{-1}$  указывают на колебания O-H. В случае с активированным углем WN Urea KOH наблюдается наличие пиков при длине волн  $3260\text{ см}^{-1}$  и  $1620\text{ см}^{-1}$ , что соответствует колебаниям N-H группы, появление пиков низкой интенсивности при  $2356, 2360\text{ см}^{-1}$  связано с колебаниями растяжения  $\text{C}\equiv\text{N}$  изонитрил-циано групп. Во всех трех образцах карбонильной группы –  $\text{C}=\text{O}$ , пик при  $1380\text{ см}^{-1}$  характеризуется вибрацией C-O.



**Рис. 3.** Снимки СЭМ (А: WN Urea KOH, увеличение x100; В: WN-KOH, увеличение x100; Д: WN 800, увеличение x100) и спектрограммы ЭДС-анализа (Б: WN Urea KOH; Г: WN-KOH; Е:WN 800).



**Рис. 4.** FT-IR-спектры активированных углей WN 800, WN KOH и WN Urea KOH.

**Таблица 3.** Экстракционная емкость активированных углей к загрязнителям

№	Наименование образца	Краткое описание метода получения	Удельная площадь, (м <sup>2</sup> /г)	Общий объем пор (см <sup>3</sup> /г)	Сорбционная емкость (мг/г)	Ссылка
1	WN Urea KOH	Карбонизируется при 500 °С в течение 1 ч в N <sub>2</sub> + мочевины 10% автоклавирование пиролиз с KOH (1:2) при 800 °С в течение 2 ч в N <sub>2</sub> .	2104,1262	1868,2555 (из них микропор: 1868,2555)	459,42 (Г)	*
2	Наночастицы Fe/Fe <sub>3</sub> C, нанесенные на грецкий орех	1. 10 г скорлупы грецкого ореха добавили в 200 мл смешанного раствора, содержащего 5% HCl, 5% HF и деионизированную воду. Смесь перемешивали с помощью магнитной мешалки в течение 2 ч, промывали до нейтрального pH. 2. Фильтровальный корж сушили при 393 К в конвекционной печи в течение 5 ч.	1779,3	0,9	531,0 (метилен синий)	[10]
3	Грецкий орех, пропитанный 30 %-ной фосфорной кислотой	1. Сушили при 80 °С в течение 12 ч, пропитывали 30% фосфорной кислотой в соотношении 2 г раствора H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> /г измельченной скорлупы в течение 24 ч при комнатной температуре. 2. Пропитанный материал подвергали термической активации в атмосфере азота в трубчатой печи при температуре 700 °С в течение 2 ч. 3. Материал замачивали в 0,1 М растворе соляной кислоты на 30 минут.	410,84	0,61	247,54 (фенантрен)	[11]

### 3.3. Сорбция йодид ионов

Полученные образцы были протестированы на определение сорбционной емкости по отношению к водному раствору йода с концентрацией 100 мг/л. Определение концентрации йода производили методом UV-Vis (PI-C-7000UV, Китай, 2018) спектроскопии. В таблице 3 приведены литературные и экспериментально полученные данные по сорбции загрязнителей активированными углями на основе грецкого ореха.

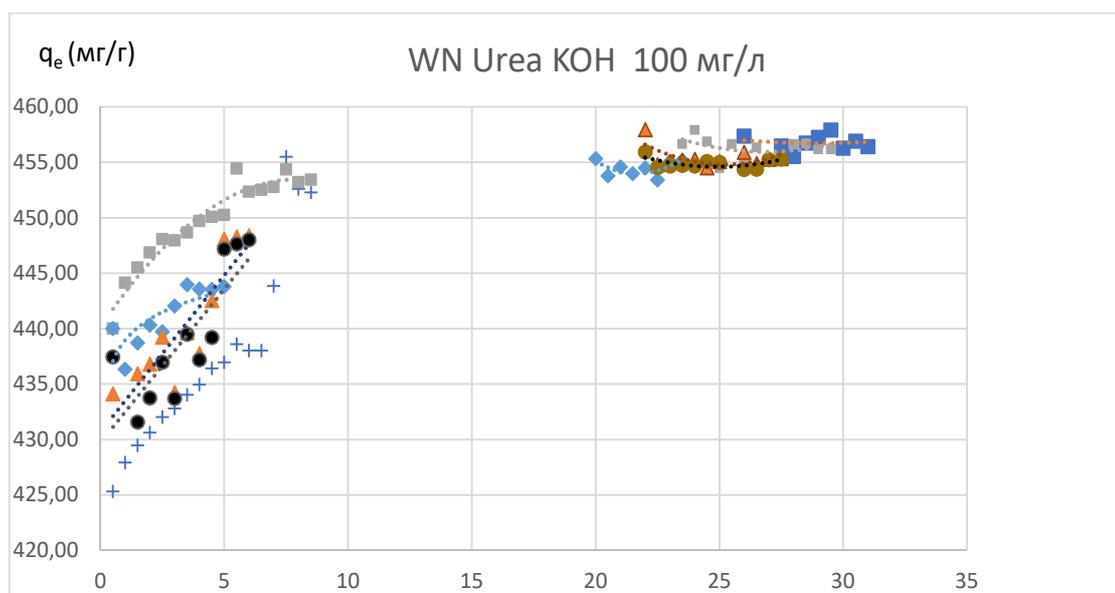
По данным в таблице видно, что активированные угли на основе скорлупы грецкого ореха широко применяются для сорбции: катионных красителей на примере метиленового синего, полициклических ароматических углеводородов на примере фенантрена, а также являются эффективным сорбентом для экстракции радиоактивного йода, растворенного в воде.

Сорбционную емкость композита WN Urea KOH анализировали путем улавливания йода в водном растворе. В экспериментах использовали стабильный нерадиоактивный изотоп йода

<sup>127</sup>I. Для этого 30 мг сорбента помещали в 150 мл раствора йодида калия концентрацией 100 мг/л в конической колбе емкостью 250 мл. Пробу объемом 2 мл отбирали каждые 10 мин, фильтровали фильтровальной бумагой для удаления адсорбента. Желто-коричневый цвет йода в воде меняется после добавления сорбента через 30 минут.

Для эффективного прогнозирования сорбционной емкости и механизма процесса адсорбции была применена псевдо-кинетическая модель первого порядка [11]. На рис. 5 приведена зависимость сорбционной емкости от времени для активированного угля, модифицированного мочевиной, образец WN Urea KOH.

Сорбционная емкость активированного угля WN KOH без добавления азотсодержащего реагента составила 432,5 мг/г с начальной концентрацией йодид ионов 100 мг/л. Сорбционная емкость активированных углей на основе скорлупы грецкого ореха, модифицированных азотными соединениями (образец WN Urea KOH), составила 459 мг/г, что немного выше по сравнению с сорбционной емкостью образца WN KOH. Это



**Рис. 5.** Сорбционная емкость анионов йода активированного угля WN Urea KOH при различном времени адсорбции (начальная концентрация анионов йода 100 мг/л).

позволяет сделать вывод, что внедрение азотных групп в структуру сорбента (подтверждено данными ИК) повышает сорбционную емкость за счет процесса хемосорбции. Возможно предположить, что положительно заряженные активные центры азотсодержащих групп взаимодействуют с отрицательно заряженными  $I^-$  ионами. Данный процесс ионного взаимодействия объясняет разницу в сорбционной емкости образцов WN KOH и WN Urea KOH.

#### 4. Заключение

Активированные угли на основе скорлупы грецкого ореха могут применяться для эффективной сорбции йодид ионов из жидких радиоактивных отходов. Активированный уголь WN Urea KOH, модифицированный азотсодержащими соединениями, показал экстракционную емкость 459 мг йодид ионов на грамм активированного угля по сравнению с активированными углями WN KOH без добавления азотных соединений (432,5 мг/г). Данные ИК-спектроскопии доказывают успешное внедрение азотсодержащих групп в структуру активированного угля с минимальным влиянием на площадь поверхности (2192,67  $m^2/g$  для активированного угля до модификации мочевиной и 2104,13  $m^2/g$  – после). В качестве дальнейших испытаний планируется внедрение серосодержащих соединений в структуру активированных углей.

#### Благодарность

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан по проекту грантового финансирования AP19577049 «Синтез, характеристика и физико-химическое исследование сорбентов биомассового происхождения для очистки промышленных вод от радионуклидов».

#### Список литературы

- [1]. Scott S.M., Hu T., Yao T., Xin G., Lian J. Graphene-based sorbents for iodine-129 capture and sequestration // *Carbon NY.* – 2015. – Vol. 90. – P. 1-8.
- [2]. Ganesamoorthy R., Vadivel V.K., Kumar R., Kushwaha O.S., Mamane H. Aerogels for water treatment: A review // *Journal of Cleaner Production* – 2021. – Vol. 329. – P. 20.
- [3]. Huang H., Sha X., Cui Y., Sun S., Huang H., He Z., Liu M., Zhou N., Zhang X., Wei Y. Highly efficient removal of iodine ions using MXene-PDA- $Ag_2O_x$  composites synthesized by mussel-inspired chemistry // *J Colloid Interface Sci.* – 2020. – Vol. 567. – P. 190-201.
- [4]. Li J., Dai J., Liu G., Zhang H., Gao Z., Fu J., He Y., Huang Y. Biochar from microwave pyrolysis of biomass: A review // *Biomass and Bioenergy.* – 2016. – Vol. 94. – P. 228–244.
- [5]. Merckel A., Satayeva A., Cannon F., Howell C., Meikle St., László K., Inglezakis V., Jandosov J., Ray S., Mansurov Z., Mikhalovsky S. Characterisation of Activated Carbons

- Obtained from Rice Husk // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2016. – Vol. 18. – P.299-304.
- [6]. Xiao K., Liu H., Li Y., Yang G., Wang Y., Yao H. Excellent performance of porous carbon from urea-assisted hydrochar of orange peel for toluene and iodine adsorption // Chemical Engineering Journal. – 2020. – Vol. 382. – P.122997.
- [7]. Yin Y., Yang Y., Liu G., Chen H., Gong D., Ying Y., Fan J., Liu S., Li Zh., Wang C., Guo Zh., Li Zh., Yu C., Zeng G. Ultrafast solid-phase synthesis of 2D pyrene-alkadiyne frameworks towards efficient capture of radioactive iodine // Chemical Engineering Journal. – 2022. – Vol. 441. – P.135996.
- [8]. Mansurov Z.A., Smagulova G.T., Imash A.A., Taurbekov A.T., Elouadi B., Kaidar B.B., Carbon/NiO Compositional Fibers // Eurasian Chemico-Technological Journal. – 2022. – Vol. 24(2). – P.59-67.
- [9]. Bhakare M.A., Lokhande K.D., Dhumal P.S., Bondarde M.P., Some S. Multifunctional heteroatom doped sustainable carbon nanocomposite for rapid removal of persistent organic pollutant and iodine from water // Sep Purif Technol. – 2022. – Vol. 278. – P.119490.
- [10]. Zhou J., Zhang Ch., Niu T., Huang R., Li Sh., Sun J., Wang Y. Facile synthesis of reusable magnetic Fe/Fe<sub>3</sub>C/C composites from renewable resources for super-fast removal of organic dyes: Characterization, mechanism and kinetics // Powder Technol. – 2019. – Vol. 351. – P.314-324.
- [11]. Zheng X., Lin H., Tao Y., and Zhang H. Selective adsorption of phenanthrene dissolved in Tween 80 solution using activated carbon derived from walnut shells // Chemosphere. – 2018. – Vol. 208. – P.951-959.
- [6]. Xiao K, Liu H, Li Y, Yang G, Wang Y, Yao H (2020) Chemical Engineering Journal 382: 135996. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135996>
- [7]. Yin Y, Yang Y, Liu G, Chen H, Gong D, Ying Y, Fan J, Liu S, Li Zh, Wang C, Guo Zh, Li Zh, Yu C, Zeng G (2022) Chemical Engineering Journal 441:135996. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.135996>
- [8]. Mansurov ZA, Smagulova GT, Imash AA, Taurbekov AT, Elouadi B., Kaidar BB (2022) Eurasian Chemico-Technological Journal 24(2):59-67. <https://doi.org/10.18321/ectj1319>
- [9]. Bhakare MA, Lokhande KD, Dhumal PS (2022) Sep Purif Technol 278:119490. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2021.119490>
- [10]. Zhou J, Zhang Ch, Niu T, Huang R, Li Sh, Sun J, Wang Y (2019) Powder Technol 351:314-324. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.04.016>
- [11]. Zheng X, Lin H, Tao Y, and Zhang H (2018) Chemosphere 208:951–959. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.025>

### Химиялық активтендіру арқылы биомассадан азот топтарымен легирленген наноталшықты композитті синтездеу

М.С. Кунарбекова, И.О.Сапарғали, Л.Н. Сеймуханова, К.К.Кудайбергенов, С. Азат

Инженерлік бейінді зертхана, Satbayev University, Сатпаев көшесі, 22а, Алматы, Қазақстан

### АНДАТПА

Көміртекті сорбенттер суды тазарту жүйесінде әртүрлі ластаушы заттарға бейімделетін қасиеттеріне байланысты кеңінен қолданылады. Радионуклидтерді, атап айтқанда радиоактивті йодты жою қиын, өйткені оның құрамына су мен ауадағы аниондар мен молекулалық йод (I<sub>2</sub>) кіреді. Бұл жұмыста биомасса негізіндегі көміртекті сорбенттермен йодты сорбциялау қабілеті мен механизмі талқыланады. Жұмыста алғаш рет КОН химиялық белсендіруден өткен және белсендірілген көмір құрылымына мочевианы гидротермиялық енгізу арқылы азот топтарымен өзгертілген жаңғақ қабығына негізделген белсендірілген көмірлер сериясы алынды. Оң зарядталған белсенді орталықтарды енгізу үшін азотпен легирлеу жүргізілді. Бұл жұмыс су ортасынан йод қосылыстарын кетіру үшін құрамында көміртегі бар сорбенттердің дайындығын, сипаттамаларын және тиімділігін бағалауды қамтиды. Құрамында азот бар WN Urea КОН топтарымен модификация-

### References

- [1]. Scott SM, Hu T, Yao T, Xin G, Lian J (2015) Carbon NY 90:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2015.03.070>.
- [2]. Ganesamoorthy R, Vadivel V.K, Kumar R, Kushwaha O.S, Mamane H (2021) Journal of Cleaner Production 329:20. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129713>
- [3]. Huang H, Sha X, Cui Y, Sun S, Huang H, He Z, Liu M, Zhou N, Zhang X, Wei Y (2020) J Colloid Interface Sci 567:190-201. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2020.02.015>
- [4]. Li J, Dai J, Liu G, Zhang H, Gao Z, Fu J, He Y, Huang Y (2016) Biomass and Bioenergy 94:228-244. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.09.010>
- [5]. Merckell A, Satayeva A, Cannon F, Howell C, Meikle St, László K, Inglezakis V, Jandosov J, Ray S, Mansurov Z, Mikhalovsky S (2016) Eurasian Chemico-Technological Journal 18:299-304. <https://doi.org/10.18321/ectj472>

ланған активтендірілген көмір негізінде композиттің қарапайым бір реакторлы синтезі жасалды. Сорбенттің сорбциялық сыйымдылығы 100 мг/л йодид ионының бастапқы концентрациясы бар композит үшін 459.42 мг/л I<sup>-</sup> құрады, WN KOH азот топтарымен модификацияланбаған композиттің сорбциялық сыйымдылығы 100 мг/л йодид ионының бастапқы концентрациясы бар 432,5 мг/г құрады.

Түйін сөздер: адсорбция, композит, йод, белсендірілген көмір, мочеви́на.

### **Synthesis of nanofiber composite doped with nitrogen groups from biomass by chemical activation**

M.S. Kunarbekova, I.O. Sapargali, L.N. Seimukhanova, K.K. Kudaibergenov, S. Azat

Laboratory of Engineering Profile, Satbayev University, 22a Satpayev str., Almaty, Kazakhstan

#### **ABSTRACT**

Carbon sorbents are widely used in the wastewater treatment system due to their adaptable properties to various types of pollutants. The removal of

radionuclides, in particular radioactive iodine, is a difficult task, since its composition includes anions and molecular iodine (I<sub>2</sub>) in water and air. In this paper, the ability and mechanism of iodine sorption by carbon sorbents based on biomass are discussed. In this work, for the first time, a series of activated carbons based on walnut shells has been chemically activated by KOH and modified with nitrogen groups due to the hydrothermal introduction of urea into the structure of activated carbon. Nitrogen doping was carried out to introduce positively charged active centers. This work includes an assessment of the preparation, characteristics and effectiveness of carbon-containing sorbents for the removal of iodine compounds from aqueous media. A simple one-reactor synthesis of a composite based on activated carbon modified with nitrogen-containing groups of WN Urea KOH has been developed. The sorption capacity of the sorbent was 459.42 mg I<sup>-</sup> per g of composite with an initial concentration of 100 mg/l iodide ion. The sorption capacity of the composite without modification by WN KOH nitrogen groups was 432.5 mg/g with an initial concentration of 100 mg/l iodide ion.

Keywords: adsorption, composite, iodine, activated carbon, urea.