УДК 661.183.2

Пташник В.В. *кафедра електротехнічних систем*
к.т.н., старший викладач *Факультет механіки та енергетики*
Львівський національний аграрний університет
Львів, Україна
E-mail: *ptashnykproject@gmail.com*
Садова М. *кафедра прикладної фізики та наноматеріалознавства*
аспірант *Інститут прикладної математики та*
Бордун І.М. *фундаментальних наук*
к. ф.-м. н., доцент *Національний університет "Львівська політехніка"*
Борисюк А. *Львів, Україна*
провідний інженер ***E-mail:*** *mari4ka17_2011@mail.ru*
E-mail: *bordun.igor@gmail.com*
E-mail: *akborys@yandex.ua*
Ткач О.В. *кафедра машиновикористання в АПК*
к.т.н., доцент, *Інженерно-технічний факультет*
завідувач кафедри *Подільський державний аграрно-технічний університет*
Кам'янець-Подільський, Україна
E–mail: *oleg.v.tkach@gmail.com*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ З ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ КУКУРУДЗИ

Проаналізовано потенціал біомаси відходів вирощування та переробки кукурудзи на зерно в Україні. Одержано активоване вугілля з кукурудзяних рилець, стебел та стрижнів качанів кукурудзи. Піроліз проведено у інертній атмосфері з подальшою активацію водяною парою за температури 800±5 °С. На основі отриманих вуглецевих матеріалів підготовлено і досліджено лабораторні зразки конденсаторів подвійного електричного шару з лужним електролітом. Методами циклічної вольтамперометрії і хроноамперометрії вивчено властивості отриманих біовуглецевих матеріалів. Встановлено оборотність процесів заряджання та розряджання і порівняно високі значення питомої ємності – 101 Ф/г для вугілля з кукурудзяних рилець, 86 Ф/г для вугілля зі стрижнів качанів і 114 Ф/г для вугілля зі стебел кукурудзи. Показано високу гідрофільність серцевини та здерев'янілого кільця стрижня качана кукурудзи. На мікрофотографії зрізу здерев'янілого кільця встановлено наявність розвиненої системи рівномірно розподілених каналів-капілярів з діаметром 10–30 мкм та товщиною стінок, в основному, порядку 2 мкм. Враховуючи цей факт, а також екологічну безпечність та дешевизну вихідної сировини, відходи переробки кукурудзи, зі значним вмістом каналів для сорбції легуючих домішок, є перспективною сировиною для одержання активованого вугілля з наперед заданими властивостями.

Ключові слова: *відходи кукурудзи, активоване вугілля, конденсатор подвійного електричного шару, питома ємність, гідрофільність.*

Вступ. Унікальні фізико-хімічні властивості вуглецевих адсорбентів забезпечують вирішення багатьох технічних задач, пов'язаних з хімічною, біологічною та радіаційною безпекою людини та навколишнього середовища. Світове виробництво активованого вугілля (АВ) перевищує півмільйона тон на рік. У промислово розвинутих країнах маса

© Пташник В.В., Садова М., Бордун І.М., Борисюк А., Ткач О.В., 2016

виробленого АВ у перерахунку на одного мешканця становить близько 0,5 кг, а в Україні цей показник є меншим за 0,02 кг [1]. Така ситуація робить нашу державу імпортером активованих вуглецїв і вимагає пошуку доступних та дешевих методів отримання вуглецевих сорбентів власного виробництва. Альтернативою застосуванню для цієї мети викопного вугілля може бути використання матеріалів на основі відновлюваної сировини – лігниноцелюлозних матеріалів рослинного походження.

Рослинництво України щорічно генерує великі обсяги різноманітних відходів та залишків. Частина з них використовується на внутрішні потреби сільського господарства (органічне добриво, підстилка та корм худобі), частина йде на інші виробництва, однак основна маса залишається незадіяною і підлягає утилізації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз результатів наукових досліджень підтверджує, що однією з основних зернових культур України є кукурудза. Валовий збір кукурудзи у 2014 році становив 28,5 млн. т [2]. При цьому утворилося 822 тис. т відходів лише сухих стебел кукурудзи [3]. Якщо врахувати, що на кожні 100 кг зерна кукурудзи припадає до 20 кг стрижнів кукурудзяних качанів [4], то такі відходи становили орієнтовно 6 тис. т. Наведені показники обумовлюють дослідження з утилізації даних відходів для одержання вуглецевих сорбентів, які можуть бути використані у різних галузях народного господарства [5, 6].

Мета. Метою даного дослідження було вдосконалення технології одержання активованого вугілля з кукурудзяних качанів, стебел і кукурудзяних рилець та дослідження електрохімічних властивостей такого вугілля. Другим завданням було вивчення гідрофільно-гідрофобних властивостей складових частин стрижня кукурудзяного качана для встановлення можливості подальшого модифікування поверхні з водних розчинів різних реагентів перед карбонізацією.

Методологія. Вихідною сировиною для піролізу слугували кукурудзяні качани, стебла з листям та рильця сорту цукрової кукурудзи Брусниця. На першому етапі сировину промивали у дистильованій воді за кімнатної температури та висушували до постійної маси за температури 100–110 °С. Далі вихідні матеріали подрібнювали до розміру частинок 5–8 мм. Для піролізу сировини використовували сталевий тигель, поміщений у трубчастий реактор, виготовлений із неіржавної сталі. Активація відбувалася водяною парою, носієм якої був аргон. Тривалість активації становила 2 год за температури 800 ± 5 °С. Одержані зразки АВ промивали дистильованою водою та висушували.

Для дослідження електрохімічних властивостей АВ механічно подрібнювали, просівали на просівній машині та відбирали фракцію 40–63 мкм. З відібраного таким способом АВ виготовляли електроди для електрохімічних конденсаторів подвійного електричного шару (КПЕШ). Для формування електродів використано тефлоновий в'яжучий компонент у співвідношенні АВ: в'яжуче = 19:1. Електролітом для КПЕШ слугував 30-ти % водний розчин калію гідроксиду марки о.с.ч.. Електрохімічні дослідження виконували за допомогою імпедансного спектрометра EcoChemie AutoLab PGStat-100, обладнаного модулем FRA-2 та програмою вольтамперометричних досліджень GPES. Гальваностатичні цикли "заряд-розряд" здійснювали електронним гальваностатуючим пристроєм у області напруг 0–1 В.

Мікроскопічні дослідження зрізу стрижня качана кукурудзи проводили методом електронної растрової мікроскопії при детектуванні вторинних електронів за допомогою електронного мікроскопа JSM-6490LV фірми JEOL.

Для визначення гідрофільності та гідрофобності поверхні різних частин стрижня кукурудзяного качана його перпендикулярний зріз розташовували горизонтально і на його різні частини – зовнішню лускоподібну, середню здерев'янілу та серцевину –

наносили за допомогою мікропіпетки краплі дистильованої води об'ємом 1 мкл. Спостереження за поведінкою краплі здійснювали за допомогою мікроскопа МП-7 з горизонтально встановленим тубусом, обладнаним цифровим об'єктивом eTREK DCM 220. Загальне збільшення оптичної системи становило ×36. З одержаних таким чином фотографій визначали кут змочування.

Результати. КПЕШ – це молекулярні накопичувачі енергії, які займають проміжну ланку між електрохімічними акумуляторами та електростатичними конденсаторами. За питомими значеннями потужності та ємності вони переважають і перші, і другі на декілька порядків, а за принципом роботи – поєднують їх [7, 8]. Тобто базовий принцип залишається тим самим: позитивний заряд накопичується на одному електроді, а негативний – на іншому. Обидва електроди розділені, як і у традиційних системах, сепаратором. Для КПЕШ також важливими є три параметри – діелектрична проникність середовища, площа поверхні електроду та відстань між електродами. Відмінність полягає у тому, що для симетричного КПЕШ, у якому є два ідентичні електроди, електрична ємність визначається з формули:

$$\frac{1}{C}=\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_2}, \qquad (1)$$

де C_1, C_2 – відповідні ємності кожного електроду.

Оскільки $C_1 = C_2$, то формулу (1) можна звести до наступного виразу:

$$C=\frac{C_1}{2}. \qquad (2)$$

Ємність окремого електрода C_1 визначається з формули [9]:

$$C_1=\frac{C_H \cdot C_{SC}}{C_H + C_{SC}}, \qquad (3)$$

де C_H – ємність шару Гельмгольца;

C_{SC} – ємність області просторового заряду в АВ, яка визначається зі співвідношення:

$$C_{SC}=e\left(\varepsilon_0 \varepsilon_{SC} D\left(E_F\right)\right)^{1/2}, \qquad (4)$$

де e – заряд електрона;

ε_0 – діелектрична постійна;

ε_{SC} – відносна діелектрична проникність середовища;

$D(E_F)$ – густина станів делокалізованих носіїв заряду на рівні Фермі.

Отже, у процесі одержання АВ для виготовлення електродів КПЕШ, необхідно забезпечити максимальне деблокування ємності шару Гельмгольца зі сторони лімітуючого впливу ємності збідненої області просторового заряду АВ. Відповідно до співвідношень (3) та (4) цьому сприятиме ріст густини станів делокалізованих носіїв заряду на рівні Фермі. У першу чергу це забезпечуватиме високопровідне АВ з добре розвиненою пористою структурою.

Під час піролізу вихідної сировини на поверхні АВ утворюються різні поверхневі групи, склад яких визначається як умовами карбонізації та активації, так і хімічним складом сировини. На сьогодні не встановлено чіткого критерію впливу функціональних поверхневих груп на ієрархію вкладів електростатичної та редокс-ємності у загальну ємність вуглецевого матеріалу електродів КПЕШ [10]. Тому було прийнято рішення проводити активацію у інертному середовищі аргону, що зменшувало імовірність утворення кисневмісних поверхневих груп та збільшувало провідність АВ.

Вольтамперограми, одержані у триелектродній дослідній комірці для усіх досліджуваних видів АВ виявилися ідентичними за формою. Для АВ, одержаного з

кукурудзяних качанів, за швидкості розгортки 10 мВ/с у діапазоні напруг –0,8 ... +0,2 В вольтамперограма наведена на рис. 1. Як бачимо, на ній не проявляються піки, типові для вольтамперограм хімічних джерел струму чи гібридних КПЕШ, для яких характерні редокс-процеси. Отже, можна стверджувати, що усі досліджувані матеріали володіють хімічною та електрохімічною стабільністю у області прикладених напруг, а процеси заряджання та розряджання є добре оборотними.

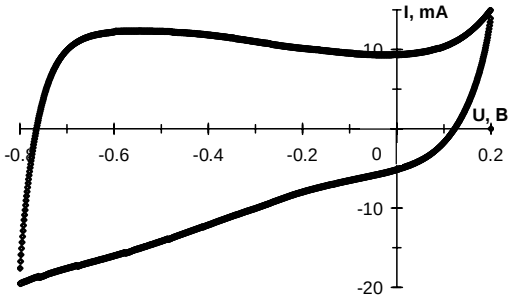

Рис. 1. Типова вольтамперограма досліджених зразків АВ (триелектродна дослідна комірка, АВ з качанів кукурудзи, швидкість розгортки 10 мВ/с)

Встановлено, що зміна напруги на електродах конденсатора має квазілінійний характер, що також вказує на визначальний вплив фарадеївських процесів накопичення заряду на ємність одержаних КПЕШ та практичну відсутність електрохімічного масоперенесення на межі поділу електрод/електроліт. Розрахована кулонівська ефективність при цьому становить близько 97–99 % для різних величин густини струму заряджання та розряджання КПЕШ.

Для кожного виду АВ розраховано значення питомої ємності матеріалу за формулою:

$$C_S = \frac{2\,C_e}{m}, \qquad (5)$$

де C_S – питома ємність матеріалу,

C_e – експериментально виміряне значення ємності при розряді КПЕШ,

m – маса активного матеріалу одного електроду.

Питома ємність АВ одержаного з кукурудзяних рилець становить 101 Ф/г, зі стрижнів качанів – 86 Ф/г, а зі стебел кукурудзи – 114 Ф/г. Зразки КПЕШ, електроди яких виготовлено на основі АВ, отриманого за вдосконаленою технологією з кукурудзяних качанів, мають питому ємність на 20 % вищу, ніж у [6], а АВ з кукурудзяних рилець показало нижчу питому ємність на 14 %. Тому для прикладного застосування більш перспективним є АВ, одержане зі стрижнів кукурудзяних качанів і стебел, а запропонована нами технологія може бути використана для утилізації цих відходів рослинництва.

Відомі на даний момент технології одержання АВ з рослинної сировини передбачають активне використання попереднього хімічного модифікування сировини для покращення тих чи інших параметрів одержуваних сорбентів [4, 11–13]. Однак цей процес є ефективним за умов інтенсивної сорбції використовуваного розчину. Оскільки більшість розчинів виготовляють на водній основі, то сировина має володіти гідрофільними властивостями.

У випадку використання відходів кукурудзи і стебла, і рильця добре просочуються активуючими розчинами. Але про стрижні качанів кукурудзи так сказати однозначно не

можна. При вивченні властивостей стрижнів качанів виділяють три його частини, які відрізняються морфологічними ознаками (рис. 2): зовнішня частина, якою є соти, де знаходилися зерна кукурудзи, здерев'яніле кільце та м'яка серцевина.

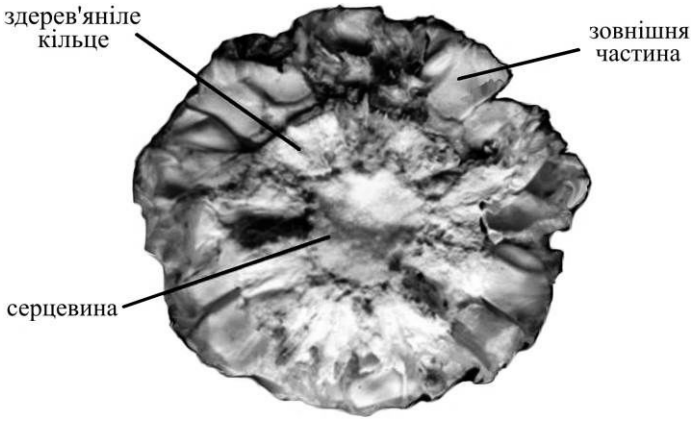

Рис. 2. Основні складові стрижня качана кукурудзи

У роботі [14] показано, що зовнішня частина стрижня та серцевина є гідрофобними і вода на них утворює краплі з кутом змочування більше 90º, а здерев'яніле кільце гідрофільне і добре поглинає воду. Однак, проведені нами дослідження показали дещо іншу картину. Зовнішня частина стрижня справді не поглинала воду і крапля довший час знаходилася на поверхні зрізу. Мікроскопічними дослідженнями встановлено, що кут змочування змінюється у досить широких межах – від 80º до 104º для різних крапель, що говорить про неоднорідність поверхні. Ця неоднорідність, найімовірніше, зумовлена структурними особливостями сот для зерна кукурудзи, які ще й мають велику кількість лусок. Серцевина, як і здерев'яніле кільце виявилися добре гідрофільними і швидко поглинали краплі води, нанесені на їхню поверхню. Така відмінність з роботою [14] може бути пояснена тим, що нами були використані висушені до сталої маси стрижні качанів кукурудзи.

Якщо м'яка серцевина має явно виражену пористу будову, то здерев'яніле кільце виглядає твердим та однорідним. Проте на мікрофотографії структури здерев'янілого кільця (рис. 3) чітко видно наявність розвиненої системи рівномірно розподілених каналів-капілярів з діаметром 10–30 мкм та товщиною стінок, в основному, порядку 2 мкм.

Ці дані дозволяють стверджувати, що при попередній хімічній модифікації сировини реагенти ефективно поступатимуть всередину структури досліджуваних матеріалів. Це дозволить у перспективі розробляти способи модифікації сировини для отримання АВ із заданими наперед властивостями.

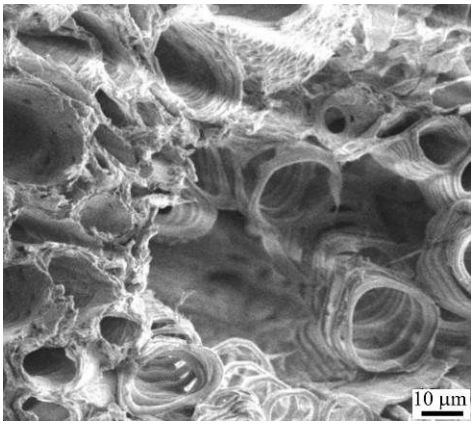

Рис. 3. Мікрофотографія структури здерев'янілого кільця стрижня качана кукурудзи

Висновки. Таким чином, проведені дослідження показали, що відходи переробки кукурудзи, в першу чергу – стебла та стрижні качанів, є доброю сировиною для одержання активованих вугільних матеріалів. Для одержаного АВ встановлено можливість використання як активної складової електродів КПЕШ, оскільки вольтамперографічні та хроноамперографічні дослідження підтверджують оборотність процесів їх заряджання та розряджання і достатньо високі значення питомої ємності матеріалу. Проте, найважливішим є те, що традиційні вихідні матеріали для отримання АВ – синтетичні полімери, гідратцелюлоза, викопне вугілля, деревина тощо, мають слабо придатну структуру до накопичення у своєму об'ємі легуючих та модифікуючих речовин, які уже на стадії карбонізації можуть регулювати пористу та електронну будову отримуваного вугілля. Враховуючи цей факт, а також екологічну безпеку та дешевизну вихідної сировини, відходи переробки кукурудзи, які мають значний вміст каналів для сорбції легуючих домішок, є перспективним матеріалом для одержання АВ із наперед заданими властивостями.

Список використаних джерел

1. Мухин, В. М. Производство и применение углеродных адсорбентов [Текст] / В. М. Мухин, В. Н. Клушин. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2012. – 308 с.

2. Підсумки збору врожаю основних сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду у 2014 році : № 8/0/06.1 вн-15 [Текст] : Державна служба статистики України, 2015. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/ (дата звернення 19.12.2015). – Назва з екрана.

3. Маковецька, Ю. М. Аналіз особливостей утворення та поводження з відходами на сільських територіях / Ю. М. Маковецька // Ефективна економіка [Електронний ресурс]. – Електрон. журн. – 2015. – № 12. – Режим доступу: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4684 (дата звернення 19.12.2015). – Назва з екрана.

4. Овчинникова, А. А. Исследование способов модификации свойств полисахаридных сорбентов [Електронний ресурс] / А. А. Овчинникова, А. В. Александрова // Научный журнал КубГАУ. – Електрон. журн. – 2011. – № 71(07). – Режим доступу : http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/51.pdf (дата звернення 15.12.2015). – Назва з екрана.

5. Жилина, М. В. Актуальность исследования процесса карбонизации для получения активированного угля с целью утилизации отходов растительного происхождения [Текст] / М. В. Жилина, П. В. Карножицкий // Інтегровані технології та енергозбереження. – 2012. – № 2. – С. 9–11.

6. Пташник, В. В. Перспективи використання відходів переробки кукурудзи як матеріалу

для одержання активованого вугілля для суперконденсаторів [Текст] / В. В. Пташник, І. М. Бордун, М. М. Садова та ін. // Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. – 2015. – № 19. – С. 90–95.

7. Shukla, A. K. Electrochemical supercapacitors: energy storage beyond batteries [Text] / A. K. Shukla, S. Sampath, K. Vijayamohanan // Current Science. – 2000. – Vol. 79, № 2. – pp. 1656–1661.

8. Kötz, R. Principles and applications of electrochemical capacitors [Text] / R. Kötz, M. Carlen // Electrochimica Acta. – 2000. – № 45. – P. 2483–2498.

9. Mott, N. F. Electronics processes in noncrystallin materials [Text] / N. F. Mott, E. A. Davis – Oxford : Clarendon Press, 1979. – 608 p.

10. Centeno, T. The role of textural characteristics and oxygen containing surface groups in the supercapacitor performances of activated carbons [Text] / T. Centeno, F. Stoeckli // Electrochimica Acta. – 2006. – Vol. 52. – pp. 560–566.

11. Kadirvelu, K. Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for removal of dyes and metal ions from aqueous solutions [Text] / K. Kadirvelu, M. Kavipriya, C. Karthika et al. // Bioresource Technology. – 2003. – Vol. 87. – pp. 129–132.

12. Soleimani, M. Agricultural waste conversion to activated carbon by chemical activation with phosphoric acid [Text] / M. Soleimani, T. Kaghazchi // Chem. Eng. Technol. – 2007. Vol. 30, № 5. – pp. 649–654.

13. Pragya, P. Preparation and study of properties of activated carbon produced from agricultural and industrial waste shells [Text] / P. Pragya, S. Shiral, Y. Maheshkumar // Res. J. Chem. Sci. – 2013. Vol. 3(12). – pp. 12–15.

14. Левчук, А. А. Разработка способа получения полисахаридного сорбента с улучшенными экологическими характеристиками для ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов [Текст] : автореф. дис. … канд. техн. наук : 03.02.08, 05.18.01 / А. А. Левончук ; Кубан. гос. Технолог ун-т. – Краснодар, 2012. – 25 с.

References

1. Muhin, V. M., & Klushin, V. N. (2012). *Proizvodstvo i primenenie uglerodnyh adsorbentov [Production and use of carbon adsorbents]*. Moscow: RHTU im. D. I. Mendeleeva.

2. Pidsumky zboru vrozhaiu osnovnykh silskohospodarskykh kultur, plodiv, yahid ta vynohradu u 2014 rotsi: stat. zbirn. № 8/0/06.1-15 [The results of major crops, fruits, berries and grapes harvest in 2014: Statistical Yearbook 8/0/06.1-15]. (2015). Ukraine State Statistics Service. Retrieved from: http://www.ukrstat.gov.ua/ [in Ukrainian].

3. Makovetska, Iu. M. (2015). Analiz osoblyvostei utvorennia ta povodzhennia z vidkhodamy na silskykh terytoriiakh [Analysis of generation of waste and waste management in rural areas]. *Efektyvna ekonomika – Effective economy, 12.* Retrieved from: http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4684 [in Ukrainian].

4. Ovchinnikova, A. A., & Aleksandrova, A. V. (2011). Issledovanie sposobov modifikacii svojstv polisaharidnyh sorbentov [Research of methods modification properties of polysaccharide sorbents]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU – Scientific Journal of KubSAU, 71(07).* Retrieved from: http://ej.kubagro.ru/2011/07/pdf/51.pdf [in Russian].

5. Zhilina, M. V., & Karnozhickij, P. V. (2012). Aktual'nost' issledovanija processa karbonizacii dlja poluchenija aktivirovannogo uglja s cel'ju utilizacii othodov rastitel'nogo proishozhdenija [Relevance of research for carbonization process of activated carbon for waste disposal plant origin]. *Intehrovani tekhnolohii ta enerhozberezhennia – Integrated Technologies and Energy Conservation, 2*, 9–11.

6. Ptashnyk, V. V., Bordun, I. M., Sadova, M. M., & Borysiuk, A. K. (2015). Perspektyvy vykorystannia vidkhodiv pererobky kukurudzy yak materialu dlia oderzhannia aktyvovanoho vuhillia dlia superkondensatoriv [Perspectives of waste recycled corn using as the material for obtaining activated carbon with subsequent application in supercapacitors]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho universytetu : ahroinzhenerni doslidzhennia, 19*, 90–95 [in Ukrainian].

7. Shukla, A., Sampath, S., & Vijayamohanan, K. (2000). Electrochemical supercapacitors: energy storage beyond batteries. *Current Science, № 2 (79)*, 1656–1661.

8. Kötz, R., & Carlen, M. (2000). Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochimica Acta*, 45, 2483–2498.

9. Mott, N. F., & Davis, E. A. (1979). *Electronics processes in noncrystallin materials*. Oxford :

Clarendon Press.

10. Centeno, T., & Stoeckli, F. (2006). The role of textural characteristics and oxygen containing surface groups in the supercapacitor performances of activated carbons. *Electrochimica Acta, 52,* 560–566.

11. Kadirvelu, K., Kavipriya, M., … Karthika, C. (2003). Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for removal of dyes and metal ions from aqueous solutions. *Bioresource Technology, 87,* 129–132.

12. Soleimani, M., & Kaghazchi, T. (2007). Agricultural waste conversion to activated carbon by chemical activation with phosphoric acid. *Chem. Eng. Technology, 30, 5,* 649–654.

13. Pragya, P., Shiral, S., & Maheshkumar, Y. (2013). Preparation and study of properties of activated carbon produced from agricultural and industrial waste shells *Res. J. Chem. Science, 3(12),* 12–15.

14. Levchuk, A. A. (2012). *Razrabotka sposoba poluchenija polisaharidnogo sorbenta s uluchshennymi jekologicheskimi harakteristikami dlja likvidacii razlivov nefti i nefteproduktov* [Development of polysaccharide adsorbent with improved environmental characteristics producing method for the elimination of oil spills] *Extended abstract of candidate's thesis.* Krasnodar 2012. – 25 p. [in Russian].

Дата надходження статті до редакції: 27.02.2016.
рецензування 15.03.2016, прийняття в друк 30.03.2016 .
Recevied 27.02.2016. 1st Revision: 15.03.2016. Accepted: 30.03.2016

Maria Sadova *Department of Applied Physics and Nanophase Materials*
postgraduate student *Science*
Igor Bordun *Institute of Applied Mathematics and Fundamental Sciences*
PhD (phys.- math.), *Lviv Polytechnic National University*
Associate Professor *Lviv, Ukraine*
Anatilij Borysiuk ***E-mail:*** *mari4ka17_2011@mail.ru*
Lead Engineer ***E-mail:*** *bordun.igor@gmail.com*
E-mail: *akborys@yandex.ua*
Vadym Ptashnyk *Department of Electrical Systems, Faculty of Mechanics*
cand. sc. (techn.), *and Energy,*
senior instructor *Lviv National Agrarian University*
Lviv, Ukraine
E-mail: *ptashnykproject@gmail.com*
Oleg Tkach *Department of to use a machine in AIC, Engineering*
PhD (Techn.), *Faculty*
Associate Professor *State Agrarian and Engineering University in Podilya*
Kamyanets-Podilsky, Ukraine
E–mail*: oleg.v.tkach@gmail.com*

ELECTROCHEMICAL CHARACTERISTICS ANALYSIS OF ACTIVATED CARBON FROM CORN WASTES

The paper analyzes the potential of biomass waste of growing and processing corn for grain in Ukraine. Activated carbon is obtained from corn stigmas, stems and ears of corn. Pyrolysis was carried out in an inert atmosphere, followed by activation with the help of steam at the temperature of 800 ± 5 °C. Based on these obtained carbon materials, laboratory samples of capacitors of electric double layer with an alkaline electrolyte were prepared and studied. It is spoken in detail about cyclic voltammetry and chronoamperometry methods that were used during studying of properties of bio-carbonic materials. It draws our attention to reversibility of the charging and discharging processes and relatively high values of specific capacity – 101 F/g for coal of corn stigmas, 86 F/g for carbon of ears and 114 F/g for coal of

corn stalks. High hydrophilicity of the core and stiff ring of the ear of corn are shown. On microphotography of the cut stiff ring, the presence of a developed system with evenly allocated channels-capillaries with a diameter of 10–30 μm and wall thickness, mostly, about 2 μm is set. Due to this fact, as well as environmental safety and low cost of raw materials, waste processing of corn with high content of channels for sorption of dopants is a promising raw material for activated carbon with predetermined properties.

Keywords: *waste corn, activated carbon, electric double layer capacitors, specific capacity, hydrophilicity.*

Мария Садовая
аспирант
Игорь Бордун
к.ф.-м.н., доцент
Анатолий Борисюк
ведущий инженер
кафедра прикладной физики и наноматериаловедения, институт прикладной математики и фундаментальных наук
Национальный университет "Львовская политехника"
Львов, Украина
E-mail: *mari4ka17_2011@mail.ru*
E-mail: *bordun.igor@gmail.com*
E-mail: *akborys@yandex.ua*

Вадим Пташник
к.т.н., старший преподователь
кафедра электротехнических систем, факультет механики и енергетики
Львовский национальный аграрный университет
Львов, Украина
E-mail: *ptashnykproject@gmail.com*

Олег Ткач
к.т.н., доцент
кафедра машиноиспользования в АПК
Инженерно-технический факультет
Подольский государственный аграрно-технический университет
Каменец-Подольский, Украина
E–mail: *oleg.v.tkach@gmail.com*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВИРОВАННОГО УГЛЯ ИЗ ОТХОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ КУКУРУЗЫ

Проанализирован потенциал биомассы отходов выращивания и переработки кукурузы на зерно в Украине. Получен активированный уголь из кукурузных рылец, стеблей и стержней кочанов кукурузы. Пиролиз выполнен в инертной атмосфере с дальнейшей активацией водяным паром при температуре 800±5 °С. На основе полученных углеродных материалов подготовлено и исследовано лабораторные образцы конденсаторов двойного электрического шара с щелочным электролитом. Методами циклической вольтамперометрии и хроноамперометрии изучено свойства полученных биоуглеродных материалов. Установлена обратимость процессов заряда и разряда конденсаторов и относительно высокие значения удельной емкости – 101 Ф/г для угля из кукурузных рылец, 86 Ф/г для угля из стержней кочанов и 114 Ф/г для угля из стеблей кукурузы. Показана высокая гидрофильность сердцевины и одревесневшего кольца стержня кочана кукурузы. На микрофотографии среза одревесневшего кольца установлено наличие развитой системы равномерно распределенных каналов-капилляров с диаметром 10–30 мкм и толщиною стенок, в основном, порядка 2 мкм. Учитывая этот факт, а также экологическую безопасность и низкую стоимость исходного сырья, отходы переработки кукурузы, со значительным содержанием каналов для сорбции легирующих примесей, являются перспективным сырьем для получения активированного угля с предварительно заданными свойствами.

Ключевые слова: *отходы кукурузы, активированный уголь, конденсатор двойного электрического шара, удельная емкость, гидрофильность.*