

УДК 541.136

АКТИВИРОВАННЫЙ УГОЛЬ МАРКИ «NORIT В Test EUR» КАК ЭЛЕКТРОДНЫЙ МАТЕРИАЛ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА

В. В. Чернявина[✉], А. Г. Бережная, Е. А. Жихарева

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»,
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, Зорге, 7

[✉] E-mail: vchernyavina@yandex.ru

Поступила в редакцию 22.10.2018 г.

Методами циклической вольтамперометрии, гальваностатических заряд-разрядных кривых и импедансной спектроскопии оценены электрохимические характеристики электродного материала на основе активированного угля марки «NORIT В Test EUR» в 1 М растворе сульфата натрия. Установлено, что данный материал обладает невысоким сопротивлением, а удельная ёмкость электрода составила 45 Ф/г.
Ключевые слова: суперконденсатор, активированный уголь, водный электролит, удельная ёмкость.

Activated Carbon “NORIT В Test EUR” as an Electrode Material for Supercapacitors

Valentina V. Chernyavina[✉], <https://orcid.org/0000-0002-6111-0444>, vchernyavina@yandex.ru

Aleksandra G. Berezhnaya, <https://orcid.org/0000-0002-9931-6333>, ber@sfedu.ru

Elena A. Zhikhareva, <https://orcid.org/0000-0002-3138-9261>, lena.zhiharewa2010@yandex.ru

Southern Federal University,
7 Zorge St., Rostov-on-Don 344090, Russia

Received 22 October 2018

The electrochemical characteristics of the electrode material based on activated “NORIT В Test EUR” carbon in 1 M sodium sulfate solution were evaluated by cyclic voltammetry, galvanostatic charge-discharge curves, and impedance spectroscopy. It is established that this material has low resistance, and the specific capacity of the electrode was 45 F/g.

Keywords: supercapacitor, activated carbon, aqueous electrolyte, specific capacity.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2018-18-4-192-198>

ВВЕДЕНИЕ

Электрохимические конденсаторы (ЭХК), известные также как ультраконденсаторы и суперконденсаторы (СК), являются перспективными накопителями энергии. Они имеют высокую плотность мощности, большую скорость заряда и разряда, длительный срок службы и способны работать в широком диапазоне температур [1].

Одним из ограничений существующих устройств ЭХК является то, что они имеют более низкую плотность энергии по сравнению с традиционными батареями. Как правило, повышение плотности энергии ЭХК часто приводит к снижению плотности мощ-

ности. Мощность и энергия ультраконденсаторов во многом определяются материалом электродов, поэтому современные исследования направлены на поиск новых электродных материалов и улучшение их характеристик [2–7].

Активированные угли часто используются в ЭХК благодаря их высокой электропроводности, большой площади поверхности и оптимальному распределению размеров пор [8, 9]. Количество энергии, которая накапливается и хранится в суперконденсаторе, определяется удельной ёмкостью углерода, электрической и ионной проводимостью электродного слоя, ионной проводимостью сепаратора, пропитанного электро-

литом, а также рабочим напряжением электролита [10]. Удельная ёмкость, удельная площадь поверхности, размер пор активных электродных материалов являются доминирующими факторами, влияющими на способность к накоплению и хранению энергии [11, 12].

Большинство коммерчески доступных электрохимических конденсаторов используют органические электролиты, что позволяет достичь значений напряжения до 2.7–2.8 В [1, 13]. Однако они имеют недостатки в применении из-за относительно высокой стоимости, экологической небезопасности и низкой проводимости. Замена органических электролитов на водные электролиты, такие как серная кислота или гидроксид калия, позволяет повысить электропроводность и ёмкость, но их рабочий диапазон напряжений ограничен 0.7–0.8 В [13, 14]. Кроме этого, подобно органическим электролитам, они являются небезопасными для окружающей среды при производстве, эксплуатации и утилизации.

Перспективным направлением является разработка электрохимических конденсаторов на основе экологически чистых углеродных материалов с применением водных нейтральных электролитов, например сульфата натрия или лития. Они имеют высокую ионную проводимость, рабочее окно напряжения до 1.5–2.0 В, экологически безопасны, не вызывают коррозию устройства и позволяют проводить сборку в обычных условиях [15, 16].

Целью данной работы являлось исследование электрохимических свойств электродов на основе активированного угля марки «NORIT B Test EUR» и установить возможность его использования в симметричном углерод/углеродном суперконденсаторе на водном нейтральном электролите.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Активированный уголь в количестве 90% с поливинилиденфторидом 10% смешивали в растворителе N-метилпирроли-

доне и выдерживали в ультразвуковой ванне в течение 15 мин до полной гомогенизации смеси. Углеродную смесь равномерным слоем наносили на предварительно обезжиренную этанолом поверхность никелевого коллектора тока. Полученные электроды площадью $S = 4 \text{ см}^2$ помещали в сушильный шкаф, нагревали до 60°C в течение 1 ч и охлаждали. Данную операцию повторяли несколько раз до получения постоянного веса, по которому определяли массу нанесенного углеродного материала. Удельная масса угольных электродов составляла 10–11 мг/см², толщина слоя – 425 мкм.

Двухэлектродная ячейка была изготовлена из герметичного корпуса (полиэтилен), угольных электродов, которые разделяли между собой сепаратором из полипропилена и пропитывали 1М раствором Na₂SO₄. Корпус макета герметизировали с помощью контактной сварки на специальной установке. Для лучшего контакта электродов и раствора перед электрохимическими измерениями использовали специальные прижимные устройства фильтр-прессного типа.

Структуру активированного угля изучали с помощью просвечивающего электронного микроскопа марки Tescan G2 BioTwin (США).

Электрохимические измерения проводили на потенциостате Р-301М (Electrochemical Instruments, Россия) по двухэлектродной схеме. Циклические вольтамперограммы снимали при скоростях сканирования потенциала 2–50 мВ/с в диапазоне напряжения от 0 до 1.0 В.

По результатам циклической вольтамперометрии рассчитывали удельную ёмкость ячейки $C_{\text{уд}}$ (Ф/г) по формуле:

$$C_{\text{уд}} = \frac{1}{v m_{\text{ac}}}, \quad (1)$$

где I – ток в прямоугольной области, а v – скорость развёртки (изменение напряжения со временем dU/dt), при которой записана циклическая кривая, m_{ac} – общая масса активного угля в ячейке на два электрода.

Удельную ёмкость отдельного угольного электрода $C_{\text{Э}}$ (Ф/г) рассчитывали по формуле:

$$C_{\text{Э}} = 4C_{\text{уд}}. \quad (2)$$

Измерения гальваностатическим методом в циклах «заряд-разряд» проводили на потенциостате Р-30ИМ по двухэлектродной схеме в диапазоне напряжения от 0 до 1.0–1.6 В при постоянном токе от 2–10 мА.

Расчёт удельной ёмкости ячейки $C_{\text{уд}}$ (Ф/г) при различной плотности тока проводили по формуле

$$C_{\text{уд}} = \frac{I \cdot \Delta t}{m_{\text{ac}} \Delta U}, \quad (3)$$

где I – ток разряда, Δt – время разряда, ΔU – изменение напряжения при разряде.

Импедансные измерения проводили на импедансметре «Z-Pack-2» (Electrochemical Instruments, Россия) в двухэлектродной ячейке с одинаковыми электродами при потенциале 0 В в интервале частот от 10 мГц до 500 КГц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Углеродный материал марки «NORIT В Test EUR» представляет собой совокупность частиц близких к сферической форме с размером 5–8 нм, что свидетельствует о мезопористой структуре, большой площади поверхности $S_{\text{уд}} = 1700 \text{ м}^2/\text{г}$ и перспективности его использования в качестве электродного материала (рис. 1).

При низких скоростях развёртки 2–10 мВ/с наблюдается прямоугольная форма циклических кривых, что свидетельствует о равной доступности электрохимической активной поверхности (рис. 2). Удельная ёмкость угольного электрода при $v = 2 \text{ мВ/с}$ составляет 45 Ф/г. С увеличением скорости развёртки потенциала от 2 до 50 мВ/с происходит затруднение переноса ионов в порах углеродного материала [17, 18]. Падение ёмкости при $v \geq 25 \text{ мВ/с}$ больше 30%.

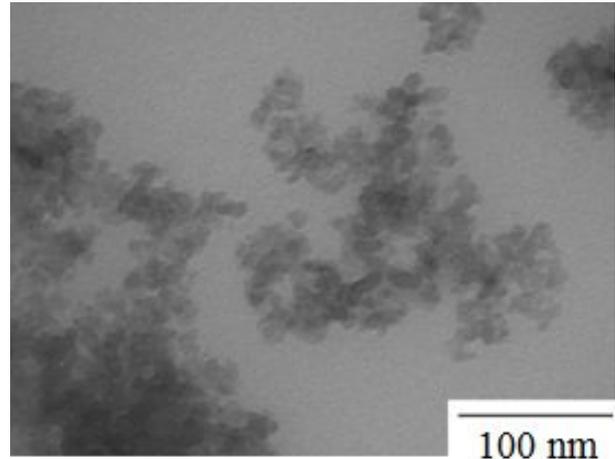


Рис. 1. ТЕМ-микрофотографии активированного угля марки «NORIT В Test EUR»

Fig. 1. TEM-microphotograph of “NORIT В Test EUR” carbon material

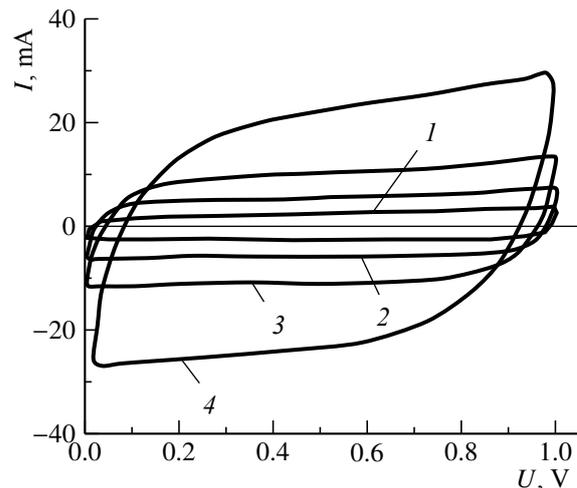


Рис. 2. Циклические кривые ячейки с электродами из активированного угля марки «NORIT В Test EUR» в 1 М Na_2SO_4 при скоростях развёртки, мВ/с: 1 – 2, 2 – 5, 3 – 10, 4 – 25

Fig. 2. Cyclic curves of the cell with electrodes from activated carbon of the “NORIT В Test EUR” in 1 M Na_2SO_4 by different potential scan rates, mV/s: 1 – 2, 2 – 5, 3 – 10, 4 – 25

Гальваностатические заряд-разрядные кривые в диапазоне напряжений ячейки от 0 до 1.0 В имеют симметричную форму, что указывает на ёмкостное поведение (рис. 3). Время заряда ячейки уменьшается при увеличении тока заряда. Удельная ёмкость угольных электродов при токе заряда-разряда $I = 2 \text{ мА}$ составила 40 Ф/г. При токах заряда-разряда $I > 6 \text{ мА}$ наблюдалось

уменьшение удельной ёмкости электродов на 25% (таблица).

Зависимость удельной ёмкости угольных электродов в ячейке от тока заряда-разряда и увеличения рабочего окна напряжения

The dependence of the specific capacity of the carbon electrodes in the cell from the charge-discharge current and increase the working voltage window

$\Delta U, \text{ V}$	Удельная ёмкость $C_{\text{уд}}$ (Ф/г) при токах заряда-разряда $I = 26 \text{ mA}$		
	2	4	6
1.0	40	36	30
1.2	45	41	39
1.4	55	53	50

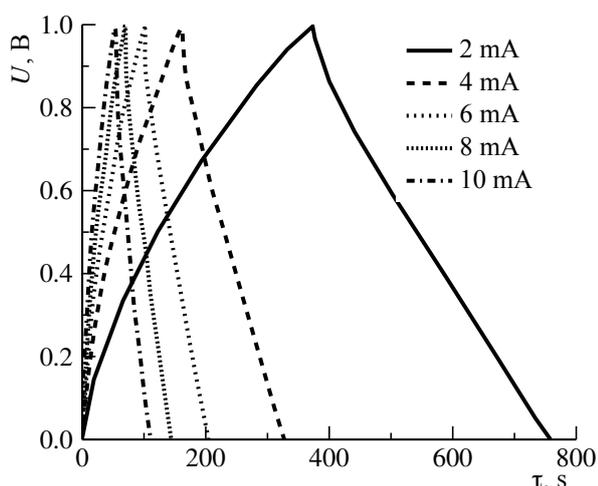


Рис. 3. Гальваностатические кривые при заряде-разряде ячейки током $I = 210 \text{ mA}$ в диапазоне напряжений от 0 до 1.0 В

Fig. 3. Charging-discharging curves at $I = 210 \text{ mA}$ in the voltage range from 0 to 1.0 V

В работах [19–20] наблюдалось увеличение ёмкости электродов в зависимости от приложенного напряжения. Этот эффект связывают с увеличением плотности поверхностного заряда с ростом напряжения, что вызывает большее притяжение ионов в поры углеродного материала.

В связи со сказанным выше методом гальваностатического заряда-разряда исследовали зависимость ёмкости угольных электродов от приложенного напряжения. Сни-

мали гальваностатические кривые при заряде-разряде током $I = 4 \text{ mA}$ при увеличении рабочей области напряжения ячейки (рис. 4). Симметричная форма кривых заряда-разряда указывает на ёмкостное поведение ячейки.

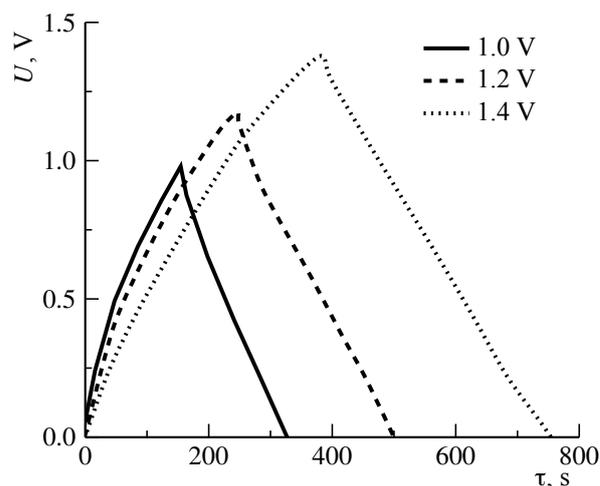


Рис. 4. Гальваностатические кривые при заряде-разряде током $I = 4 \text{ mA}$ при увеличении рабочей области напряжения

Fig. 4. Galvanostatic curves at charge-discharge current $I = 4 \text{ mA}$ at various voltage windows

При увеличении рабочего напряжения на 0.4 В удельная ёмкость угольных электродов растёт при всех токах заряда-разряда (см. таблицу). При $I = 6 \text{ mA}$ в диапазоне напряжения от 1.0 до 1.4 В наблюдается увеличение ёмкости электродов на 66% по сравнению со значением ёмкости, рассчитанной для напряжения 1.0 В. С ростом тока заряда-разряда в рабочем диапазоне 1.4 В происходит минимальное падение ёмкости электродов.

На рис. 5 показана кривая Найквиста для ячейки суперконденсатора на водном электролите. По частоте спектр делится на две области. Высокочастотный полукруг связан с процессом переноса заряда, происходящим на границе электрод-электролит, а кривая в низкочастотной области с наклоном, постепенно меняющимся от 45° до 90° , определяется диффузией ионов внутри электрода [21–23]. Полученные результаты хорошо описываются эквивалентной схемой

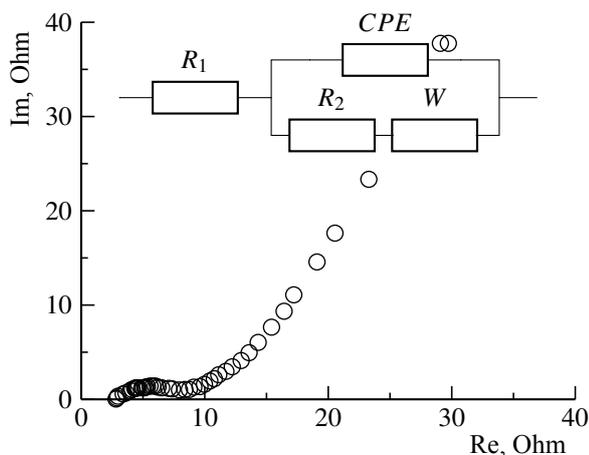


Рис. 5. Диаграмма Найквиста для двухэлектродной ячейки

Fig. 5. Nyquist plots for two-electrode cell

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госзадания Министерства образования и науки РФ (№ 13.3005.2017/4.6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показано, что электроды на основе активированного угля марки «NORIT В Test EUR» можно применять в суперконденсаторах на водном нейтральном электролите с рабочим напряжением 1.4 В, удельная ёмкость угольного электрода составляет 45 Ф/г. Необходимы дальнейшие исследования, связанные с оптимизацией устройства для увеличения его производительности.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was performed according the state task of Ministry of Education and Science of the Russian Federation (No. 13.3005.2017/4.6).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kotz R., Carlen M. Principles and applications of electrochemical capacitors // *Electrochim. Acta*. 2000. Vol. 45. P. 2483–2498. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(00\)00354-6](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(00)00354-6)
2. Frackowiak E., Béguin F. Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors // *Carbon*. 2001. Vol. 39. P. 937–950.
3. Dubal D., Kim J., Kim Y., Holze R., Lokhande S., Kim W. Supercapacitors Based on Flexible Substrates // *Energy Technology*. 2014. Vol. 2, № 4. P. 325–341. DOI: <https://doi.org/10.1002/ente.201300144>
4. Chmiola J., Yushin G., Dash R., Gogotsi Y. Effect of pore size and surface area of carbide derived carbons on specific capacitance // *J. Power Sources*. 2006. Vol. 158, № 1. P. 765–772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.09.008>
5. Губин С. П., Рычагов А. Ю., Чупров П. Н., Ткачев С. В., Корнилов Д. Ю., Алмазова А. С., Краснова Е. С., Воронов В. А. Суперконденсатор на основе электрохимически восстановленного оксида графена // *Электрохимическая энергетика*. 2015. Т. 15, № 2. С. 57–63.
6. Чепурная И. А., Логвинов С. А., Карушев М. П., Тимонов А. М., Малев В. В. Модификация электродов суперконденсаторов полимерными металлокомплексами: методы и результаты // *Электрохимия*. 2012. Т. 48, № 5. С. 590–597.
7. Вольфович Ю. М., Михалин А. А., Богрachev Д. А., Сосенкин В. Е. Углеродные электроды с большой псевдоёмкостью для суперконденсаторов // *Электрохимия*. 2012. Т. 48, № 4. С. 467–477.
8. Song H., Hwang H., Lee K., Dao L. The effect of pore size distribution on the frequency dispersion of porous electrodes // *Electrochim. Acta*. 2000. Vol. 45, № 14. P. 2241–2257. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(99\)00436-3](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(99)00436-3)
9. Грызлов Д. Ю., Рычагов А. Ю., Скундин А. М., Кулова Т. Л. Исследование активированного угля серии P2 компании ENER G2 в качестве материала для суперконденсаторов с неводным электролитом // *Электрохимическая энергетика*. 2015. Т. 15, № 4. С. 160–166. DOI: [10.18500/1608-4039-2015-15-4-160-166](https://doi.org/10.18500/1608-4039-2015-15-4-160-166)
10. Lufrano F., Staiti P. Mesoporous carbon materials as electrodes for electrochemical supercapacitors // *Int. J. Electrochem. Sci*. 2010. Vol. 5. P. 903–916.
11. Qu D., Shi H. Studies of activated carbons used in double-layer capacitors // *J. Power Sources*. 1998. Vol. 74, № 1. P. 99–107. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(98\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(98)00038-X)
12. Tsay K.-C., Zhang L., Zhang J. Effects of electrode layer composition/thickness and electrolyte concentration on both specific capacitance and energy density of supercapacitor // *Electrochim. Acta*. 2012.

Vol. 60. P. 428–436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.11.087>

13. *Burke A.* Ultracapacitors: why, how, and where is the technology // *J. Power Sources*. 2000. Vol. 91, № 1. P. 37–50. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(00\)00485-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00485-7)

14. *Ruiz V., Santamaría R., Granda M., Blanco C.* Long-term cycling of carbon based supercapacitors in aqueous media // *Electrochim. Acta*. 2009. Vol. 54, № 19. P. 4481–4486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.03.024>

15. *Wang Q., Yan J., Wang Y., Wei T., Zhang M., Jing X., Fan Z.* Three-dimensional flower-like and hierarchical porous carbon materials as high-rate performance electrodes for supercapacitors // *Carbon*. 2014. Vol. 67. P. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.09.070>

16. *Wang J., Yang Y., Huang Z., Kang F.* A high-performance asymmetric supercapacitor based on carbon and carbon–MnO₂ nanofiber electrodes // *Carbon*. 2013. Vol. 61. P. 190–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.04.084>

17. *Barcia O., D'Elia E., Frateur I., Mattos O., Pébère N., Tribollet B.* Application of the impedance model of de Levie for the characterization of porous electrodes // *Electrochim. Acta*. 2002. Vol. 47. P. 2109–2116. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(02\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(02)00081-6)

18. *Taberna P., Simon P., Fauvarque J.* Electrochemical characteristics and impedance spectroscopy studies of carbon-carbon supercapacitors //

Journal of the Electrochemical Society. 2003. Vol. 150, № 3. P. 292–300. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1543948>

19. *Kalluri R., Biener M., Suss M., Merrill M., Stadermann M., Santiago J., Baumann T., Biener J., Striolo A.* Unraveling the potential and pore-size dependent capacitance of slit-shaped graphitic carbon pores in aqueous electrolytes // *Physical Chemistry Chemical Physics*. 2013. Vol. 15. P. 2309–2320. DOI: <https://doi.org/10.1039/C2CP43361C>

20. *Zuliani J., Caguiat J., Kirk D., Jia C.* Considerations for consistent characterization of electrochemical double-layer capacitor performance // *J. Power Sources*. 2015. Vol. 290. P. 136–143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.04.019>

21. *Hu C., Wang C.* Nanostructures and capacitive characteristics of hydrous manganese oxide prepared by electrochemical deposition // *Journal of the Electrochemical Society*. 2003. Vol. 150, № 8. P. 1079–1084. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1587725>

22. *Gamby J., Taberna P., Simon P., Fauvarque J., Chesneau M.* Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors // *J. Power Sources*. 2001. Vol. 101, № 1. P. 109–116. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00707-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00707-8)

23. *Sugimoto W., Yokoshima K., Murakami Y., Takasu Y.* Charge storage mechanism of nanostructured anhydrous and hydrous ruthenium-based oxides // *Electrochim. Acta*. 2006. Vol. 52. P. 1742–1748.

REFERENCES

1. *Kotz R., Carlen M.* Principles and applications of electrochemical capacitors. *Electrochim. Acta*, 2000, vol. 45, pp. 2483–2498. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(00\)00354-6](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(00)00354-6)

2. *Frackowiak E., Béguin F.* Carbon materials for the electrochemical storage of energy in capacitors. *Carbon*, 2001, vol. 39, pp. 937–950.

3. *Dubal D., Kim J., Kim Y., Holze R., Lokhande C., Kim W.* Supercapacitors Based on Flexible Substrates. *Energy Technology*, 2014, vol. 2, no. 4, pp. 325–341. DOI: <https://doi.org/10.1002/ente.201300144>

4. *Chmiola J., Yushin G., Dash R., Gogotsi Y.* Effect of pore size and surface area of carbon derived carbons on specific capacitance. *J. Power Sources*, 2006, vol. 158, no.1, pp. 765–772. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2005.09.008>

5. *Gubin S. P., Rychagov A. Yu., Chuprov P. N., Tkachev S. V., Kornilov D. Yu., Almazova A. S., Krasnova E. S., Voronov V. A.* Supercapacitor based on electrochemically reduced graphene oxide. *Electrochemical Energetics*, 2015, vol. 15, no. 2, pp. 57–63 (in Russian).

6. *Chepurnaya I. A., Logvinov S. A., Karushev M. P., Timonov A. M., Malev V. V.* Modification of Supercapacitor Electrodes with Polymer Metallocomplexes: Methods and Results. *Russ. J. Electrochem.*, 2012, vol. 48, no. 5, pp. 538–544. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1023193512040040>

7. *Vol'fkovich Yu. M., Mikhailin A. A., Bograchev D. A., Sosenkin V. E.* Carbon Electrodes with High Pseudocapitance for Supercapacitors. *Russ. J. Electrochem.*, 2012, vol. 48, no. 4, pp. 424–433. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1023193512030159>

8. *Song H., Hwang H., Lee K., Dao L.* The effect of pore size distribution on the frequency dispersion of porous electrodes. *Electrochim. Acta*, 2000, vol. 45, no 14, pp. 2241–2257. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(99\)00436-3](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(99)00436-3)

9. *Gryzlov L. Yu., Rychagov A. Yu., Skundin A. M., Kulova T. L.* Study of activated ENER G2 P2-TYPE carbon as material for supercapacitors with nonaqueous electrolyte. *Electrochemical Energetics*, 2015, vol. 15, no. 4, pp. 160–166 (in Russian).

10. Lufrano F., Staiti P. Mesoporous carbon materials as electrodes for electrochemical supercapacitors. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2010, vol. 5, pp. 903–916.
11. Qu D., Shi H. Studies of activated carbons used in double-layer capacitors. *J. Power Sources*, 1998, vol. 74, no.1, pp. 99–107. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(98\)00038-X](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(98)00038-X)
12. Tsay K.-C., Zhang L., Zhang J. Effects of electrode layer composition/thickness and electrolyte concentration on both specific capacitance and energy density of supercapacitor. *Electrochim. Acta*, 2012, vol. 60, pp. 428–436. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.11.087>
13. Burke A. Ultracapacitors: why, how, and where is the technology. *J. Power Sources*, 2000, vol. 91, no. 1, pp. 37–50. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(00\)00485-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(00)00485-7)
14. Ruiz V. Santamaría R., Granda M., Blanco C. Long-term cycling of carbon based supercapacitors in aqueous media. *Electrochim. Acta*, 2009, vol. 54, no. 19, pp. 4481–4486. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2009.03.024>
15. Wang Q., Yan J., Wang Y., Wei T., Zhang M., Jing X., Fan Z. Three-dimensional flower-like and hierarchical porous carbon materials as high-rate performance electrodes for supercapacitors. *Carbon*, 2014, vol. 67, pp. 119–127. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.09.070>
16. Wang J., Yang Y., Huang Z., Kang F. A high-performance asymmetric supercapacitor based on carbon and carbon–MnO₂ nanofiber electrodes. *Carbon*, 2013, vol. 61, pp. 190–199. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2013.04.084>
17. Barcia O., D’Elia E., Frateur I. Mattos O., Pébère N., Tribollet B. Application of the impedance model of de Levie for the characterization of porous electrodes. *Electrochim. Acta*, 2002, vol. 47, pp. 2109–2116. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0013-4686\(02\)00081-6gh](https://doi.org/10.1016/S0013-4686(02)00081-6gh)
18. Taberna P., Simon P., Fauvarque J. Electrochemical characteristics and impedance spectroscopy studies of carbon-carbon supercapacitors. *Journal of the Electrochemical Society*, 2003, vol. 150, no. 3, pp. 292–300. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1543948>
19. Kalluri R., Biener M., Suss M., Merrill M., Stadermann M., Santiago J., Baumann T., Biener J., Striolo A. Unraveling the potential and pore-size dependent capacitance of slit-shaped graphitic carbon pores in aqueous electrolytes. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2013, vol. 15, pp. 2309–2320. DOI: <https://doi.org/10.1039/C2CP43361C>
20. Zuliani J., Caguiat J., Kirk D., Jia C. Considerations for consistent characterization of electrochemical double-layer capacitor performance. *J. Power Sources*, 2015, vol. 290, pp. 136–143. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2015.04.019>
21. Hu C., Wang C. Nanostructures and capacitive characteristics of hydrous manganese oxide prepared by electrochemical deposition. *Journal of the Electrochemical Society*, 2003, vol. 150, no. 8, pp. 1079–1084. DOI: <https://doi.org/10.1149/1.1587725>
22. Gamby J., Taberna P., Simon P., Fauvarque J., Chesneau M. Studies and characterisations of various activated carbons used for carbon/carbon supercapacitors. *J. Power Sources*, 2001, vol. 101, no. 1, pp. 109–116. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0378-7753\(01\)00707-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7753(01)00707-8)
23. Sugimoto W., Yokoshima K., Murakami Y., Takasu Y. Charge storage mechanism of nanostructured anhydrous and hydrous ruthenium-based oxides. *Electrochim. Acta*, 2006, vol. 52, pp.1742–1748.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Чернявина Валентина Владимировна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону. Служебный тел. 8(632)97-51-49, e-mail: vchernyavina@yandex.ru

Бережная Александра Григорьевна – доктор химических наук, зав. кафедрой электрохимии, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону. Служебный тел. 8(632)97-51-49, e-mail: ber@sfedu.ru

Жихарева Елена Александровна – студентка 5-го курса химического факультета, ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону. E-mail: lana.zhiharewa2010@yandex.ru

Библиографическое описание статьи

Чернявина В. В., Бережная А. Г., Жихарева Е. А. Активированный уголь марки «NORIT В Test EUR» как электродный материал суперконденсатора // Электрохимическая энергетика. 2018. Т. 18, № 4. С. 192–198. DOI: <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2018-18-4-192-198>

For citation

Chernyavina V. V., Berezhnaya A. G., Zhikharova E. A. Activated Carbon “NORIT В Test EUR” as an Electrode Material for Supercapacitors. *Electrochemical Energetics*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 192–198 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1608-4039-2018-18-4-192-198>