

Н.В. Сич, Л.Й. Котинська, М.М. Циба, В.М. Вікарчук

СОРБЦІЯ ХОЛЕСТЕРИНУ НА ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛАХ

Інститут сорбції та проблем ендоекології Національної академії наук України
вул. Генерала Наумова, 13, Київ, 03164, Україна, E-mail: nataliya_sych@ukr.net

Як альтернатива засобам зниження рівня загального холестерину і холестерину ліпопротеїнів низької густини (ЛПНГ) в роботі розглядається можливість використання вуглецевих адсорбентів. З медичної точки зору, видалення холестерину за допомогою ентеросорбентів є надзвичайно ефективним. Зв'язуючи холестерин, сорбенти зменшують ризик розвитку серцево-судинної патології. В роботі здійснено пошук нових сировинних джерел та спробу створення ентеросорбентів з високою здатністю поглинати холестерин. Метою роботи було розробити адсорбенти із відпрацьованого кавового залишку з великою часткою мезопор, визначити параметри поруватої структури та дослідити їхню адсорбційну здатність щодо поглинання холестерину. Традиційним способом карбонізації-активації відпрацьованої кавової гуці та гуці, попередньо обробленої гексаном, для видалення жирних кислот, було одержано зразки активованого вугілля з великою часткою мезопор (399 та 465 м²/г). Спектрофотометричним методом досліджено сорбцію холестерину із спиртових розчинів і доведено її ефективність для профілактики і лікування атеросклерозу. Було показано, що найкращу сорбційну здатність має зразок активованого вугілля із використаного кавового залишку, попередньо обробленого гексаном (максимальне значення сягає 7.5 мг/г). Проміжне положення займає зразок, одержаний без попередньої обробки розчинником (максимальне значення сягає 6.3 мг/г). Найслабші поглинальні характеристики має вугілля Natural Brand (максимальне значення сягає 5.3 мг/г). Можна констатувати, що адсорбція холестерину зростає відповідно зростанню питомої поверхні мезопор. За допомогою одержаних ізотерм сорбції було проведено розрахунки параметрів процесів адсорбції. Ізотерми адсорбції були розраховані за допомогою рівняння Ленгмюра та Фрейндліха. Показано, що величини максимальної адсорбції, розраховані за допомогою рівняння Ленгмюра, добре узгоджуються з експериментальними даними.

Ключові слова: атеросклероз, холестерин, активоване вугілля, відпрацьована кава, карбонізація-активація, гексан, питома поверхня

ВСТУП

Останнім часом увага багатьох дослідників фокусується на створенні селективних сорбентів для видалення надлишкового холестерину і жовчних кислот, так само як і атерогенних ліпопротеїнів із крові. Завдяки недостатній ефективності існуючих гіпохолестеринових та гіполіпідемічних ліків застосовуються методи направленої видалення холестерину і ліпопротеїнів з людського організму при лікуванні атеросклерозу та його ускладнень [1, 2].

Ряд досліджень чітко продемонстрував, що накопичення надмірного холестерину є основною причиною атеросклерозу судинних стінок та ішемії серця у людини. Це явище пов'язане з «перерозподілом» ендogenous холестерину та його естерів у клітинних мембранах, що призводить до порушення

функціонування системи ферментативного каталізу, порушення проникності клітин та патологічних змін механічного та фізико-хімічного характеру в цілому. Тому, крім нормалізації синтезу холестерину та обмеження його надходження з їжею, елімінація жовчних кислот та холестерину є одним із перспективних підходів для профілактики та лікування атеросклерозу [3–6].

З медичної точки зору, видалення холестерину за допомогою ентеросорбентів є надзвичайно ефективним. З цією метою використовуються сорбенти різного походження. Так, ентеросорбенти, створені на основі целюлозних гранул та модифікованої целюлози для вибіркової адсорбції ЛПНГ [3, 4], оксиду алюмінію, одержаному золь-гель методом [5], поліакрилату [7], суміші активованого вугілля та мікроцелюлози [8],

знаходять широке застосування для лікування атеросклерозу.

Зв'язуючи холестерин, сорбенти зменшують ризик розвитку серцево-судинної патології. Таким чином, проблема видалення надмірного холестерину із організму продовжує привертати увагу дослідників. Пошук нових сировинних джерел та розробка ентеросорбентів з високою здатністю поглинати холестерин залишаються актуальними.

Одним із об'єктів, що привертають увагу дослідників як вихідна сировина для одержання високопоруватих адсорбентів, є кавовий залишок [9–13]. Кава є найбільш широко уживаним продуктом, який використовується у харчовій промисловості. Майже 50 % усього світового виробництва кави обробляється для приготування розчинної кави, яка генерує близько 6 мільйонів тонн відходів на рік. Для утилізації таких відходів були запропоновані альтернативи повторного використання кавових залишків. Однією з них може бути саме створення ентеросорбентів для поглинання молекул великого розміру, таких як холестерин.

Метою роботи було розробити адсорбенти із відпрацьованого кавового залишку з великою часткою мезопор, визначити параметри поруватої структури та дослідити їхню адсорбційну здатність щодо холестерину.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

Як вихідна сировина для створення вуглецевих адсорбентів, здатних поглинати холестерин, використовували відпрацьований кавовий залишок. Наявність жирних кислот, що містяться в кавових зернах, обумовлює необхідність попередньої екстракції кавової олії та інших органічних сполук за допомогою розчинників. Саме тому попередньо проводили екстракцію органічних речовин гексаном, а потім карбонізацію та активацію водяною парою при температурі 800 °С. На даний спосіб одержання вуглецевого ентеросорбента було одержано патент на корисну модель [14]. Для виявлення ефекту від застосування екстракції паралельно проводили звичайну фізичну активацію кавового шламу без застосування екстракції. Отримані результати порівнювали з

характеристиками поруватої структури американського активованого вугілля Natural Brand, виготовленого на основі лігноцелюлозних овочевих відходів.

Інформацію про порувату структуру сорбційних матеріалів отримували за допомогою фізичної адсорбції азоту при 196 °С, використовуючи NOVA 2200 (Quantachrome, USA) техніку. Перед проведенням вимірів зразки витримували під вакуумом 1×10^{-4} Торр при 180 °С впродовж 4 год. Питому поверхню розраховували за допомогою рівняння BET (S_{BET}). t-Plot метод використовували для оцінки об'єму перехідних та мікропор (V_{mi}), а також поверхні мікропор (S_{mi}). Розподіл пор за розмірами (PSD) розраховували за допомогою ВН методу, використовуючи ізотерму десорбції. Сумарний об'єм пор визначали, перетворюючи максимальний об'єм поглинутого при відносному тиску $p/p^{\circ} = 0.99$ азоту в об'єм рідкого азоту. Об'єм перехідних пор розраховували як різницю між сумарним об'ємом пор і об'ємом мікропор.

Спектрофотометричне визначення холестерину після проведення сорбції із спиртового розчину здійснювали відповідно методиці, наведеній у [15], дещо вдосконаливши її. Розчин холестерину готували, розчиняючи 0.05 г у етанолі, і об'єм доводили у мірній колбі об'ємом 500 мл. З цього робочого стандартного розчину готували розчини подальших розведених концентрацій.

Окремо готували діазотований прокаїн гідрохлорид. Точну наважку 0.0818 г гідрохлориду прокаїну розчиняли з меншою кількістю дистильованої води, потім до мензурки додавали 3 мл 0.1М NaNO₂ та 3 мл 1М HCl. Розчин переносили в мірну колбу об'ємом 50 мл і доводили об'єм до мітки дистильованою водою. Далі розчин залишали стояти 24 год при кімнатній температурі (на відміну від 5 хв при 5–10 °С, описаних у методиці [15]) для встановлення стійкого жовтого забарвлення.

Процедура формування кольорового продукту та вимірювання поглинання проводили наступним чином: 1 мл розчину холестерину (100 мкг/мл) додавали в мірну колбу 10 мл. До мірної колби додавали 2 мл діазотованого розчину прокаїну гідрохлориду та 2 мл 2М NaOH. Розчин ретельно

перемішували, об'єм доводили до мітки дистильованою водою і давали розчину стояти протягом 5 хв. Поглинання забарвленого продукту вимірювали при 318 нм. Спектрофотометричні вимірювання проводили за допомогою ультрафіолетового випромінювального спектрофотометра Shimadzu UV – 2450) із використанням скляних комірок розміром 1.00 см.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Природа поверхні вуглецевих сорбентів істотно впливає на спорідненість до холестерину. На рис. 1 а представлено ізотерми адсорбції азоту зразками активованої кави, одержаними фізичною активацією необробленого шламу і з попередньою екстракцією гексаном та, для порівняння, активованого вугілля Natural Brand.

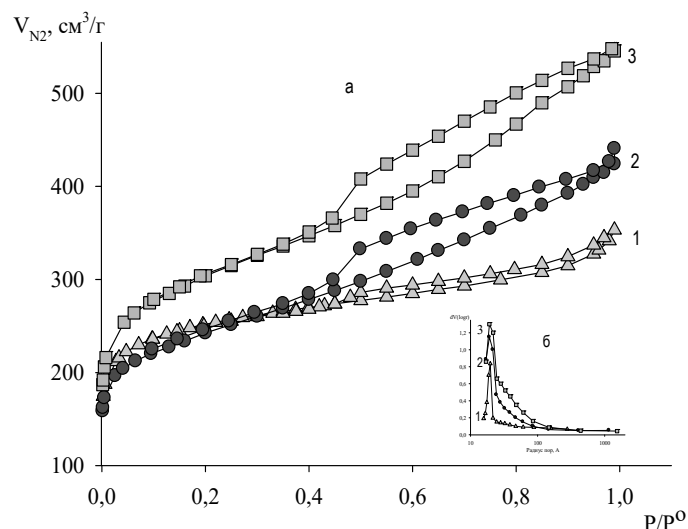


Рис. 1. Ізотерми сорбції-десорбції азоту (а) та розподіл пор за розмірами (б) зразків: 1 – Natural Brand; 2 – активованого вугілля із використаного кавового залишку; 3 – активованого вугілля із використаного кавового залишку, попередньо обробленого гексаном

Отримані ізотерми характеризують сорбент із добре розвинутою мікро- та мезопоруватою структурою з високим ступенем поглинання азоту (об'єм поглинутого азоту перевищує $400\text{--}500 \text{ cm}^3/\text{g}$), про що свідчать широкі петлі гістерезису. У такій же закономірності змінюється розподіл пор за радіусами (рис. 1 б). Natural Brand (крива 1) характеризується доволі вузьким піком з ефективним радіусом пор 2 нм, у той час як активоване вугілля, отримане традиційною фізичною активацією кавового залишку (крива 2), має окрім основного, більш розширеного піку, ще плече в області 2.5–9 нм. Ще більш розширений пік та плече в проміжку 3–10 нм з більш високими значеннями $dV(\log r)$ має зразок, підданий попередній екстракції гексаном (крива 3).

В табл. 1 представлено характеристики поруватої структури розглянутих вище зразків вугілля. Із таблиці видно, що завдяки попередній обробці кавового шламу гексаном

вдається збільшити питому поверхню активованого вугілля на 27 %, а отже, можливо, і його сорбційну здатність щодо поглинання холестерину. Крім того, зразки мають добре розвинуту мезопорувату структуру, яка виражається у вагомих значеннях питомої поверхні перехідних пор, а також сумарного об'єму пор. Зразок вугілля Natural Brand (USA), хоча і має високу питому поверхню, має переважно мікропорувату складову.

Фотометричні методики визначення холестерину засновані практично виключно на застосуванні хімічних реакцій. З класичних колориметричних методик найбільше значення має методика Лібермана-Бурхарда, в основу якої покладено вимір інтенсивності зеленувато-блакитного забарвлення, яке з'являється в результаті обробки холестерину сумішшю доволі агресивних реагентів – сірчаної кислоти та оцтового ангідриду. Як розчинники застосовують також токсичні

реагенти – оцтову кислоту і хлороформ. Крім того, швидкість забарвлення комплексу і його стійкість знаходиться в сильній залежності від температури та тривалості комплексоутворення, що суттєво ускладнює процедуру визначення. Саме тому в даній роботі для спектрофотометричного визначення холестерину на одержаних зразках було вибрано методику, вільну від використання агресивних компонентів та більш стійку в температурно-часовому просторі. Відповідні ізотерми адсорбції представлені на рис. 2. Найкращу сорбційну

здатність має зразок активованого вугілля із використаного кавового залишку, попередньо обробленого гексаном (максимальне значення сягає 7.5 мг/г). Проміжне положення займає зразок, одержаний без попередньої обробки розчинником (максимальне значення сягає 6.3 мг/г). Найслабші поглинальні характеристики має вугілля Natural Brand (максимальне значення сягає 5.3 мг/г). Можна констатувати, що адсорбція холестерину зростає відповідно зростанню питомої поверхні мезопор.

Таблиця 1. Характеристики поруватої структури активованого вугілля із кавового залишку

Різнovid активованого вугілля	Питома поверхня за БЕТ, м ² /г	Питома поверхня перехідних пор, м ² /г	Питома поверхня мікропор, м ² /г	Сумарний об'єм пор V_t см ³ /г	Об'єм мезопор V_{me} см ³ /г
Natural Brand (USA)	943	253	690	0.55	0.27
Кава активована без попередньої обробки	864	399	465	0.68	0.48
Кава активована з попередньою обробкою гексаном	1089	465	623	0.87	0.60

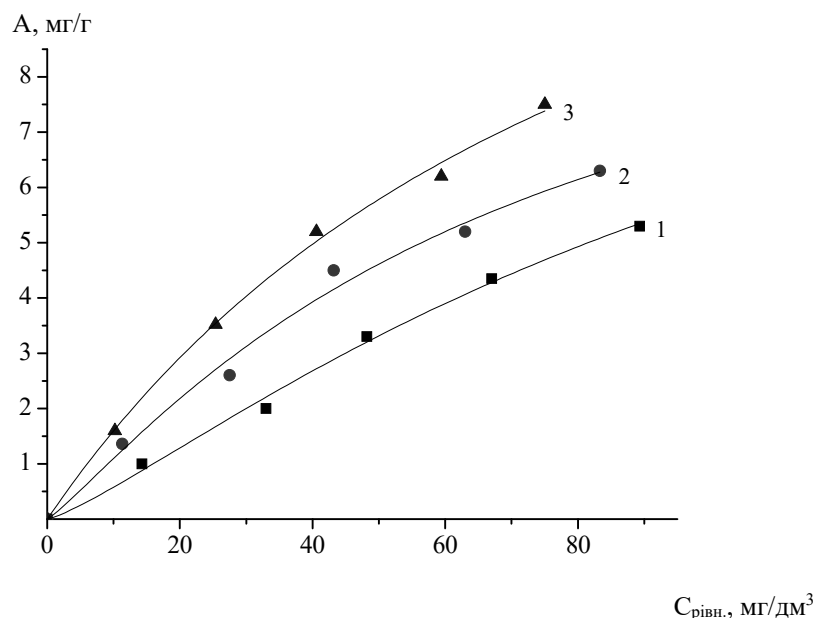


Рис. 2. Ізотерми сорбції холестерину зразками: 1 – Natural Brand; 2 – активованого вугілля із використаного кавового залишку; 3 – активованого вугілля із використаного кавового залишку, попередньо обробленого гексаном

За допомогою одержаних ізотерм було проведено розрахунки параметрів адсорбції. Ізотерми адсорбції були розраховані за допомогою рівнянь Ленгмюра та Фрейндліха:

$$a = a_0 \frac{KC_{\text{равн}}}{1 + KC_{\text{равн}}}, \quad (1)$$

де $C_{\text{равн}}$ – рівноважна концентрація, мг/л;
 a_0 – величина максимальної адсорбції, мг/г;
 K – константа;

$$A_F = K_F C^{1/n}, \quad (2)$$

де A_F – величина адсорбції, мг/г; n – показник ступеня.

В таблиці 2 представлені величини максимальної адсорбції, констант рівняння Ленгмюра та Фрейндліха, а також коефіцієнти кореляції.

Коефіцієнти кореляції достатньо високі для всіх досліджуваних зразків, що свідчить

про відповідність експериментальних даних моделі Ленгмюра. Як видно, величини максимальної адсорбції, розраховані за допомогою цього рівняння, також добре узгоджуються з експериментальними даними. Виходячи з цього, можна зробити припущення щодо можливого механізму адсорбції холестерину: адсорбція відбувається не на всій поверхні адсорбента, а на активних центрах, які характеризуються наявністю так званих вільних валентностей. Кожний активний центр здатен взаємодіяти тільки з однією молекулою адсорбата; в результаті на поверхні може утворюватися тільки один шар адсорбованих молекул. Процес адсорбції являється оборотним і рівноважним – адсорбована молекула утримується активним центром деякий час, після чого десорбується; таким чином, через деякий час між процесами адсорбції та десорбції встановлюється динамічна рівновага.

Таблиця 2. Параметри ізотерм Ленгмюра та Фрейндліха, розраховані для ізотерм сорбції холестерина

Зразки	Ізотерма Ленгмюра			Ізотерма Фрейндліха		
	A_{∞} , мг/г	K_L , л/мг	r^2	K_F , мг/г	n	r^2
Natural Brand (USA)	12.67	115.06	0.987	53.88	2.59	0.918
Кава активована без попередньої обробки	11.41	70.05	0.969	35.38	2.19	0.932
Кава активована з попередньою обробкою гексаном	16.33	90.79	0.991	81.38	1.02	0.984

ВИСНОВКИ

1. Вивчено характеристики поруватої структури сорбентів, одержаних із використаного кавового залишку та залишку, попередньо обробленого гексаном, та, для порівняння, промислового адсорбента лігноцелюлозного походження Natural Brand (USA). Показано, що при прямому фізичному активуванні питома поверхня зразків за BET та питома поверхня мезопор складають відповідно 864 та 399 м²/г, у той час як із застосуванням попередньої екстракції жирних кислот, що містяться у шлам, ці величини зростають на 27 % і сягають 1089 та 465 м²/г.

2. Ізотерми адсорбції холестерину, одержані за допомогою спектрофото-

метричного методу, доводять про переваги використання вибраної методики визначення холестерину. При цьому адсорбція холестерину зростає пропорційно питомій поверхні мезопор. Розрахунки із використанням моделі Ленгмюра та Фрейндліха свідчать про відповідність експериментальних даних моделі Ленгмюра. Величини максимальної адсорбції, розраховані за допомогою цього рівняння, добре узгоджуються з експериментальними даними.

3. З великою ймовірністю можна стверджувати, що застосування одержаного активованого вугілля може бути одним із ефективних альтернативних способів зниження рівня холестерину в крові та інших біологічних рідинах людини.

Cholesterol sorption on carbon sorption materials

N.V. Sych, L.I. Kotyns'ka, M.M. Tsyba, V.M. Vikarchuk

*Institute for Sorption and Problems of Endoecology of National Academy of Sciences of Ukraine
13 General Naumov Str., Kyiv, 03164, Ukraine*

As an alternative to means for lowering total cholesterol and low-density lipoprotein (LDL) cholesterol, the paper considers the possibility of using carbon adsorbents. From a medical point of view, the removal of cholesterol with enterosorbents is extremely effective. By binding cholesterol, sorbents reduce the risk of cardiovascular disease. The paper searches for new raw material sources and attempts to create enterosorbents with a high capability to adsorb cholesterol. The aim of the work was to develop adsorbents from spent coffee residue with a large proportion of mesopores, to determine the parameters of the porous structure and to study their adsorption capacity against cholesterol. Samples of activated carbon with a large proportion of mesopores (399 and 465 m²/g) were obtained by the traditional method of carbonization-activation of spent coffee grounds and pre-treated hexane to remove fatty acids. The sorption of cholesterol from alcohol solutions has been studied by spectrophotometric method and its effectiveness for the prevention and treatment of atherosclerosis was proved. It has been shown that a sample of activated carbon from spent coffee residue pre-treated with hexane (maximum value reaches 7.5 mg/g) has the best sorption capacity. The intermediate position is occupied by the sample obtained without pre-treatment with solvent (maximum value reaches 6.3 mg/g). Natural Brand carbon has the weakest sorption characteristics (maximum capacity reaches 5.3 mg/g). It can be stated that the adsorption of cholesterol increases with the growth of the specific surface area of mesopores. The parameters of adsorption processes were calculated using the obtained sorption isotherms. Adsorption isotherms were calculated using the Langmuir and Freundlich equations. It is shown that the values of the maximum adsorption calculated by the Langmuir equation have a good agreement with the experimental data.

Keywords: atherosclerosis, cholesterol, activated carbon, spent coffee, carbonization-activation, hexane, specific surface area

ЛІТЕРАТУРА

1. Cohn J.S., Kamili A., Wat E., Chung R.W.S., Tandy S. Phospholipids and intestinal cholesterol absorption // *Nutrients*. – 2010. – V. 2, N 2. – P. 116–127.
2. Давыдов В.И., Ставицкая С.С., Галинская В.И. и др. О возможности использования углеродных энтеросорбентов для нормализации холестеринового обмена // *Биохимия*. – 1994. – Т. 59, № 2. – С. 219–224.
3. Yu H., Fu G., Zhao J., Liu L., He B. Synthesis and in vitro sorption properties of PAA-grafted cellulose beads for selective binding of LDL // *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. – 2006. – V. 34, N 5. – P. 501–13.
4. Wang S., Guo X., Wang L., Wang W., Yu Y. Effect of PEG spacer on cellulose adsorbent for the removal of low density lipoprotein-cholesterol // *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. – 2006. – V. 34, N 1. – P. 99–110.
5. Asano T., Tsuru K., Hayakawa S., Osaka A. Low density lipoprotein adsorption on sol-gel derived alumina for blood purification therapy // *Biomed. Mater. Eng*. – 2008. – V. 18, N 3. – P. 161–70.
6. Saal S.D., Gordon B.R., Parker T.S. et al. Extracorporeal LDL cholesterol removal: role of LDL-pheresis in combination with other hypolipidemic therapy to regress vascular disease // *Am. J. Med*. – 1989. – V. 87, N 5. – P. 68N–74N.
7. Claus-Chr. Heuck. Polyacrylate adsorbents for the selective adsorption of cholesterol-rich lipoproteins from plasma or blood // *Ger. Med. Sci*. – 2011. – 9 Doc02. doi: 10.3205/000125.
8. Лысенкова А.В., Филиппова В.А., Прищепова Л.В., Одинцова М.В. Теоретические основы адсорбционной терапии атеросклероза // *Проблемы здоровья и экологии*. – 2010. – Т. 1, № 23. – С. 101–104.
9. Namane A., Mekarzia A., Benrachedi K. et al. Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl₂ and H₃PO₄ // *J. Hazard. Mater*. – 2005. – V. 119, N 1–3. – P. 189–194.
10. Boonamnuayvitaya V., Saeung S., Tanthapanichakoon W. Preparation of activated carbons from coffee residue for the adsorption of formaldehyde // *Sep. Purif. Technol*. – 2005. – V. 42, N 2. – P. 159–168.

11. Baquero M.C., Giraldo L., Moreno J.C. et al. Activated carbons by pyrolysis of coffee bean husks in presence of phosphoric acid // *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. – 2003. – V. 70, N 2. – P. 779–784.
12. Hirata M., Kawasaki N., Nakamura T. et al. Adsorption of dyes onto carbonaceous materials produced from coffee grounds by microwave treatment // *J. Colloid Interface Sci.* – 2002. – V. 254, N 1. – P. 17–22.
13. Boonamnuayvitaya V., Chaiya C., Tanthapanichakoon W., Jarudilokkul S. Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay // *Sep. Purif. Technol.* – 2004. – V. 35, N 1. – P. 11–22.
14. Пат. UA 146426. Спосіб одержання вуглецевого ентеросорбенту із кавового залишку / Сич Н.В., Вікарчук В.М., Циба М.М., Піддубна О.І., Пузій О.М. – Опубл. 2021.
15. Mashkour M.S., Alhassan–Almatori N.A., Brbber A.M. Spectrophotometric determination of Cholesterol by using procaine as coupling reagent // *International Journal of ChemTech Research*. – 2017. – V. 10, N 2. – P. 630–640.

REFERENCES

1. Cohn J.S., Kamili A., Wat E., Chung R.W.S., Tandy S. Phospholipids and Intestinal Cholesterol Absorption. *Nutrients*. 2010. **2**(2): 116.
2. Davydov V.I., Stavitskaya S.S., Galinskaya V.I., Gerasimenko N.V., Strelko V.V. On the possibility of using carbon enterosorbents to normalize cholesterol metabolism. *Biochemistry*. 1994. **59**(2): 219. [in Russian].
3. Yu H., Fu G., Zhao J., Liu L., He B. Synthesis and in vitro sorption properties of PAA-grafted cellulose beads for selective binding of LDL. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. 2006. **34**(5): 501.
4. Wang S., Guo X., Wang L., Wang W., Yu Y. Effect of PEG spacer on cellulose adsorbent for the removal of low density lipoprotein-cholesterol. *Artif Cells Blood Substit Immobil Biotechnol*. 2006. **34**(1): 99.
5. Asano T., Tsuru K., Hayakawa S., Osaka A. Low density lipoprotein adsorption on sol-gel derived alumina for blood purification therapy. *Biomed. Mater. Eng*. 2008. **18**(3): 161-70.
6. Saal S.D., Gordon B.R., Parker T.S., Levine D.M., Tyberg T.I., Rubin A.L. Extracorporeal LDL cholesterol removal: role of LDL-pheresis in combination with other hypolipidemic therapy to regress vascular disease. *Am. J. Med*. 1989. **87**(5): 68N.
7. Claus-Chr. Heuck. Polyacrylate adsorbents for the selective adsorption of cholesterol-rich lipoproteins from plasma or blood. *Ger. Med. Sci*. 2011. **9** Doc02. doi: 10.3205/000125.
8. Lysenkova A.V., Filippova V.A., Prishchepova L.V., Odintsova M.V. Theoretical foundations of adsorption therapy of atherosclerosis. *Health and Ecology Issues*. 2010. **1**(23): 101. [in Russian].
9. Namane A., Mekarzia A., Benrachedi K., Belhaneche-Bensemra N., Hellal A. Determination of the adsorption capacity of activated carbon made from coffee grounds by chemical activation with ZnCl₂ and H₃PO₄. *J. Hazard. Mater*. 2005. **119**(1–3): 189.
10. Boonamnuayvitaya V., Saeung S., Tanthapanichakoon W. Preparation of activated carbons from coffee residue for the adsorption of formaldehyde. *Sep. Purif. Technol*. 2005. **42**(2): 159.
11. Baquero M.C., Giraldo L., Moreno J.C., Suárez-García F., Martínez-Alonso A., Tascón J.M.D. Activated carbons by pyrolysis of coffee bean husks in presence of phosphoric acid. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*. 2003. **70**(2): 779.
12. Hirata M., Kawasaki N., Nakamura T., Matsumoto K., Kabayama M., Tamura T., Tanada S. Adsorption of dyes onto carbonaceous materials produced from coffee grounds by microwave treatment. *J. Colloid Interface Sci*. 2002. **254**(1): 17.
13. Boonamnuayvitaya V., Chaiya C., Tanthapanichakoon W., Jarudilokkul S. Removal of heavy metals by adsorbent prepared from pyrolyzed coffee residues and clay. *Sep. Purif. Technol*. 2004. **35**(1): 11.
14. Patent UA 146426. Sych N.V., Vikarchuk V.M., Tsyba M.M., Pidubna O.I., Puziy O.M. Method for producing carbon enterosorbent from coffee residue. 2021. [in Ukrainian].
15. Mashkour M.S., Alhassan–Almatori N.A., Brbber A.M. Spectrophotometric determination of Cholesterol by using procaine as coupling reagent. *International Journal of ChemTech Research*. 2017. **10**(2): 630.

Надійшла 25.05.2021, прийнята 01.09.2021