

REGENERAREA CĂRBUNELUI ACTIV AG-3 UTILIZAT ÎN PROCESELE DE POTABILIZARE A APELOR DE SUPRAFAȚĂ

Mihai CIOBANU, Tudor LUPAȘCU, Nina ȚÎMBALIUC, Nina BOLDURESCU,

Universitatea de Stat din Moldova

S-a studiat procesul termic de regenerare a cărbunelui activ AG-3 uzat de la stația de potabilizare a apei din municipiul Chișinău. Procesul de regenerare s-a efectuat la diferite temperaturi și la diferite intervale de timp cu vapori de apă. Pentru evaluarea gradului de regenerare a mostrelor de cărbuni activi s-au măsurat izotermele de adsorbție a benzenului și a albastrului de metilen din soluții apoase. S-a constatat că la temperaturi ridicate se produce regenerarea integrală a cărbunelui activ AG-3 uzat. Acest fapt se confirmă prin valorile adsorbției albastrului de metilen practic egale pe cărbunele activ regenerat și pe cel intact. La temperaturi apropiate de 800⁰ C, capacitatea adsorbțională a cărbunelui activ AG-3 uzat, dar regenerat este chiar mai mare decât a cărbunelui activ AG-3 intact, fapt care poate fi explicat prin oxidarea completă a carbonului amorf restant în carbonizat din structura poroasă.

Cuvinte-cheie: *cărbune activ, regenerare termică, adsorbție, desorbție, benzen, albastru de metilen.*

REGENERATION OF AG-3 ACTIVATED CARBON USED IN SURFACE WATER PROCESSES

The thermal regeneration process of the used AG-3 activated carbon from the water treatment plant in Chisinau was studied. The regeneration process was carried out at different temperatures and for different periods of time with water vapor. To evaluate the degree of regeneration of activated carbon samples, the adsorption isotherms of benzene and methylene blue from aqueous solutions were measured. It was found that at high temperatures the complete regeneration of the used AG-3 activated carbon occurred. This fact has been confirmed by the practically equal methylene blue adsorption values on the regenerated activated carbon and on the intact one. At temperatures close to 800⁰ C, the adsorptive capacity of the regenerated used AG-3 activated carbon is even higher than that of the intact AG-3 activated carbon, a fact that can be explained by the complete oxidation of the amorphous carbon remaining in the carbonized porous structure.

Keywords: *activated carbon, thermal regeneration, adsorption, desorption, benzene, blue methylene.*

Introducere

Cărbunii activi reprezintă un produs chimic de certă valoare, larg utilizat în industria de medicamente, industria alimentară, industria minieră, chimică și petrochimică, pentru echipamente de protecție colectivă și individuală în industrie și militarie, la purificarea apelor reziduale etc. Aceste utilități ale cărbunilor activi îi caracterizează ca un produs de primă importanță în economie, iar producerea gamei sortimentale de cărbuni activi, datorită necesităților deosebite ale acestora, prezintă un interes major [1]. Un rol aparte au cărbunii activi în procesele de potabilizare a apelor de suprafață și subterane. Utilizarea adsorbanților carbonici la stațiile de potabilizare a apelor de suprafață contribuie la îndepărtarea totală din mediul acvatic a pesticidelor, trihalometanilor, care se formează în procesul clorurării apelor, precum și a mirosului neplăcut [2-7].

Tehnologiile de potabilizare a apelor de suprafață și subterane, care implică procedee de imobilizare a substanțelor nocive prin adsorbție, sunt fezabile în cazul când prevăd regenerarea adsorbanților carbonici epuizați, ce permite utilizarea adsorbanților în repetate rânduri în procesele tehnologice conducând astfel la diminuarea costului de potabilizare a apelor [8-11].

Conform datelor prezentate în literatura de specialitate, capacitatea de adsorbție a cărbunelui activ se păstrează de la jumătate de an până la doi ani din momentul încărcării filtrului. După acest termen, stratul superior al filtrului are rolul de strat filtrant cu granulație grosieră, adică el încetează de a mai fi un adsorbant. În continuare el poate fi ori regenerat, ori completat cu un strat nou de 20-25 cm de cărbune activ intact.

Există câteva modalități de regenerare a cărbunilor activi uzați, care includ: regenerarea chimică, extracția, regenerarea termică, oxidarea biologică a substanțelor adsorbite, regenerarea electrochimică, regenerarea cu ajutorul curentului electric și a curenților de frecvență înaltă (950-3000 mHz) [2].

Cel mai frecvent procedeu de regenerare a cărbunilor activi uzați aplicat la stațiile de potabilizare este cel termic, prin care cărbunele activ uzat se încălzește la temperaturile 700-800⁰ C, în lipsă de aer, timp de 15-20 min. Acest raționament este veridic și din motivul că nu se cunosc substanțele ce s-au adsorbit pe cărbune timp îndelungat de lucru al filtrului cu adsorbant.

Materiale si metode

Cărbunele activ AG-3 este un adsorbant carbonic industrial obținut din cărbune de pământ. Este granulat și destinat pentru adsorbția poluanților din medii gazoase și din lichide, inclusiv pentru potabilizarea apelor naturale. Porozitatea sumară a porilor (W_{Σ}), volumul sumar al porilor (W_s), volumul total al microporilor (V_{mi}), volumul mezoporilor (V_{me}), volumul microporilor (W_{01}), volumul supermicroporilor (W_{02}) al cărbunelui activ AG-3 intact sunt prezentați în tabelul 1 [12].

Tabelul 1. Parametrii structurii poroase a cărbunelui activ AG-3.

AG-3	Volumul porilor, cm ³ /g						
	W_{Σ}	W_s	V_{mi}	V_{me}	V_{ma}	W_{01}	W_{02}
	0.83-0.98	0.32-0.38	0.24-0.28	0.08-0.10	0.51-0.60	0.16-0.24	0.12-0.14

Din datele tabelului 1 rezultă că cărbunele activ AG-3 este un adsorbant micro- și macro- poros.

În prezenta lucrare au fost studiate procesele de regenerare termică a cărbunelui activ AG-3 uzat, de la stația de potabilizare a apei din mun. Chișinău. Cărbunele activ uzat a fost uscat la temperatura de 80⁰ C, timp de 48 ore și separat de particulele de nisip prezente în mostrele prelevate. În continuare, o anumită cantitate cântărită, a fost introdusă într-un reactor din inox. Reactorul la rândul său a fost introdus într-un cuptor electric. Prin reactor se treceau vapori de apă. Procesul de regenerare a cărbunelui activ uzat cu vapori de apă s-a realizat la diferite temperaturi.

Cărbunii activi regenerați s-au studiat vizând adsorbția benzenului și a albastrului de metilen. Metodologia este următoarea: în 10 balonașe de sticlă cu dop rodat au fost trecute câte 100 mg de cărbune activ la care s-au adăugat câte 50 ml soluție de adsorbat de diferite concentrații inițiale cunoscute. Conținutul balonașelor a fost supus agitării la un agitator mecanic cu o frecvență de 150 rotații pe minut timp de 36 de ore. Timpul de agitare s-a stabilit în studiile prealabile a cineticii proceselor de adsorbție. După 36 de ore de agitare, adsorbantul a fost separat din soluție prin filtrare pe hârtie de filtru cu bandă albastră. Concentrațiile de echilibru au fost determinate din dreptele de etalonare stabilite în prealabil. Valoarea adsorbției a fost calculată utilizând ecuația:

$$a = (C_0 - C_e) \cdot V/M$$

în care: a este valoarea adsorbției, mg/g,

C_0 – concentrația inițială a adsorbatului, mg/l,

C_e – concentrația de echilibru a adsorbatului, mg/l,

M – masa adsorbantului, mg.

Rezultate și discuții

În figura 1 sunt prezentate izotermele de adsorbție a benzenului din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 intact, regenerat cu vapori de apă, timp de o oră la 800⁰ C și regenerat cu vapori de apă, timp de o oră la 250⁰ C.

Concentrațiile de echilibru ale benzenului din soluții au fost determinate la spectrometrul UV-VIS, model JENWAY 6505.

Din datele prezentate în figura 1 observăm că valoarea adsorbției benzenului pe mostra de cărbune regenerat la 800°C este mai mare decât valoarea adsorbției benzenului pe cărbunele activ intact. Această realitate poate fi explicată prin faptul că în procesul de regenerare termică are loc activarea intensă, care se soldează cu oxidarea substanțelor organice adsorbite și respectiv cu modificarea matriței cărbunelui activ. Tratarea cărbunelui activ uzat la 250°C timp de o oră practic nu adsorbte benzenul, ceea ce indică asupra faptului că pe suprafața adsorbantului uzat (în porii lui) nu au fost adsorbite substanțe organice ușor volatile, iar substanțele macromoleculare adsorbite la așa temperatură nu se distrug.

Prezintă interes forma izotermelor de adsorbție a benzenului din soluții apoase. Aici un anumit rol îl are faptul că benzenul cu apa formează amestec azeotrop, datorită legăturilor de hidrogen dintre π -electronii inelului benzenic și moleculele de apă din soluție. Izotermele de adsorbție a benzenului, după cum se vede din figura 1 prezentate mai sus sunt de tipul III după clasificarea propusă de Brunauer S., Deming L., Deming W. S., Teller B. Se știe că acest tip de izotermă corespunde situației când constanta „C” în ecuația BET este mai mică decât 2 [13]. Sensul fizic al constantei „C” este căldura de adsorbție. Ea fiind mică, probabil va fi mică și energia de adsorbție a benzenului pe aceste mostre de cărbuni activi, la concentrații mici de echilibru, dar și așa, se poate de evaluat capacitatea adsorbțională a mostrelor de cărbuni activi regenerați. La C_e egal cu 5mg/l , valoarea adsorbției benzenului este cea mai mare pe mostra de cărbune activ AG-3 regenerat la 800°C , cu vapori de apă.

În figura 2 sunt prezentate izotermele de adsorbție a altui adsorbat - albastrului de metilen din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 intact, AG-3 uzat și regenerat la 545°C cu vapori de apă timp de 20 min.

În continuare cărbunele activ uzat AG-3 a fost regenerat la 675°C și 770°C , cu vapori de apă, timp de 20 min pentru ambele cazuri. Datele obținute sunt prezentate în figura 3.

Fig. 2. Izotermele de adsorbție a albastrului de metilen din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 intact (■), AG-3 regenerat la 545°C , cu vapori de apă, timp de 20min (○).

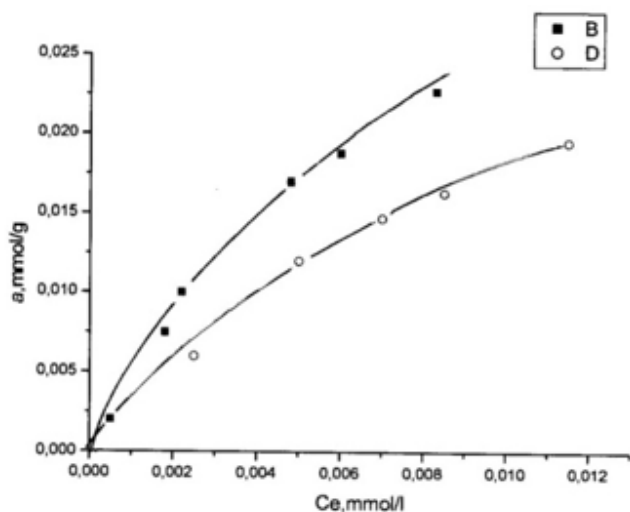


Fig. 1. Izotermele de adsorbție a benzenului din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 intact (○), regenerat cu vapori de apă la 800°C (■), regenerat cu vapori de apă la 250°C (Δ).

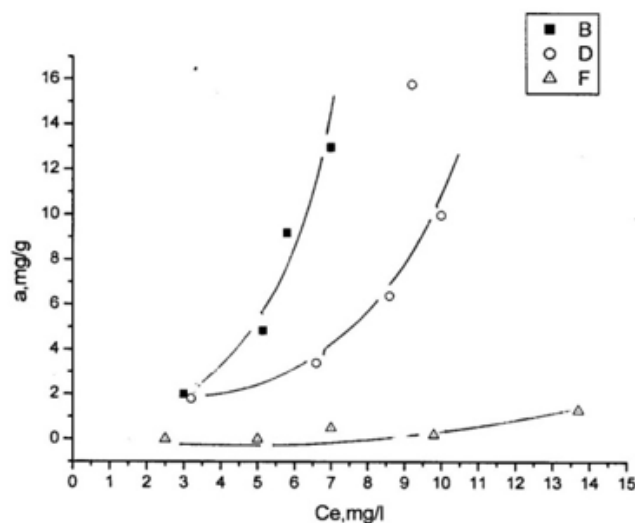
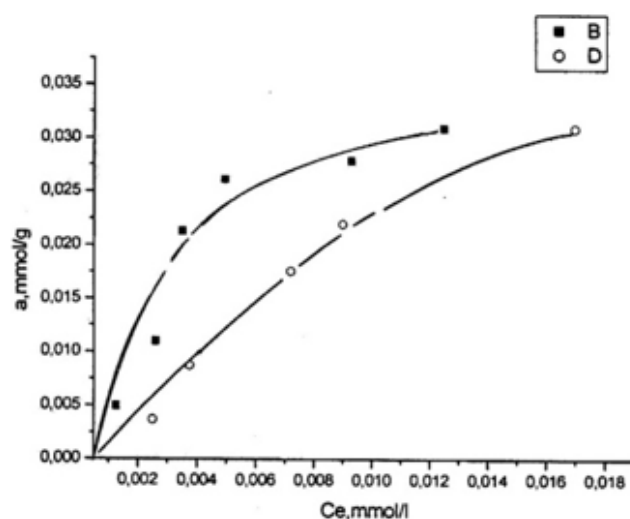
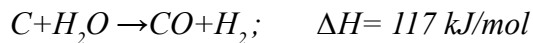


Fig. 3. Izotermele de adsorbție a albastrului de metilen din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 regenerat la 675°C , cu vapori de apă, timp de 20 min (○) și pe AG-3 regenerat la 770°C cu vapori de apă timp de 20min (■).



Din izotermele prezentate, observăm că valorile adsorbției albastrului de metilen pe mostrele de cărbuni activi AG-3 regenerate la temperaturile de 675°C și 770°C diferă de cele obținute în urma regenerării cărbunelui activ uzat la temperatura 545°C. În particular, la C_e , 0.008 mmol/l valoarea “a” pentru AG-3 regenerat la 545°C este de 0.0155 mmol/g, iar la aceeași valoare C_e pentru AG-3 regenerat la 675°C este de 0.0185 mmol/g. Pentru AG-3 regenerat la 770°C la aceeași valoare C_e 0.008 mmol/l, valoarea “a” este de 0.0275 mmol/g.

Astfel, cu cât temperatura de regenerare a cărbunelui activ AG-3 este mai mare cu atât capacitatea adsorbțională a mostrelor de cărbuni regenerați este mai mare. La temperaturi ridicate, în prezența vaporilor de apă, se produce carbonizarea substanțelor organice, urmată de înlăturarea carbonului amorf din structura poroasă a adsorbantului în conformitate cu reacția:



Din carbonizat (C), în urma activării se obține CO și H₂, care fiind în stare gazoasă se elimină din adsorbant fiind urmată de formarea structurii poroase. Ca confirmare a acestui proces, poate servi compararea valorii adsorbției albastrului de metilen pe AG-3 intact (fig.1) la C_e 0.008 mmol/l și pe AG-3 regenerat la 770°C la aceeași valoare a concentrației de echilibru. În primul caz, valoarea “a” este de 0.0225 mmol/g, iar în cazul al doilea - 0.0275 mmol/g. Probabil, având în vedere dimensiunile relativ mari ale moleculelor albastrului de metilen, activarea cărbunelui activ la temperaturi mai ridicate conduce la transformarea microporilor în supermicropori, a supermicroporilor în mezopori, iar mezoporii se transformă în macropori. Acest fenomen se produce după ce tot carbonizatul, obținut din substanțe organice, este înlăturat din structura poroasă a adsorbantului.

A fost calculată valoarea energiei libere diferențial-molare standard de adsorbție (ΔF^0) a albastrului de metilen pe mostrele de adsorbanti supuși studiului [14].

În evaluarea constantei de adsorbție a albastrului de metilen pe mostrele de cărbune activ AG-3 intact și regenerat la 770°C și ulterior la evaluarea ΔF^0 nu s-a ținut cont de prezența apei în stratul adsorbțional, care poate fi adsorbită la concentrații mici de echilibru. La concentrații de echilibru mai mari, în stratul adsorbțional apa va fi substituită de moleculele albastrului de metilen.

În figurile 4 și 5 sunt prezentate dependențele $\lg C_{ads}/C_{echil}$ de $\lg C_{echil}$ din izotermele de adsorbție ale albastrului de metilen din soluții apoase pe AG-3 intact și regenerat la 770°C.

Fig. 4. Dependența $\lg C_{ads}/C_{echil}$ de $\lg C_{echil}$ din izoterma de adsorbție a albastrului de metilen din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 regenerat la 770°C cu vapori de apă, timp de 20min.

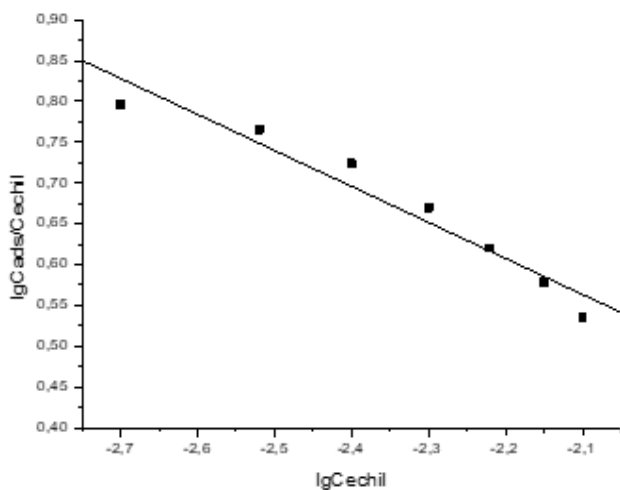
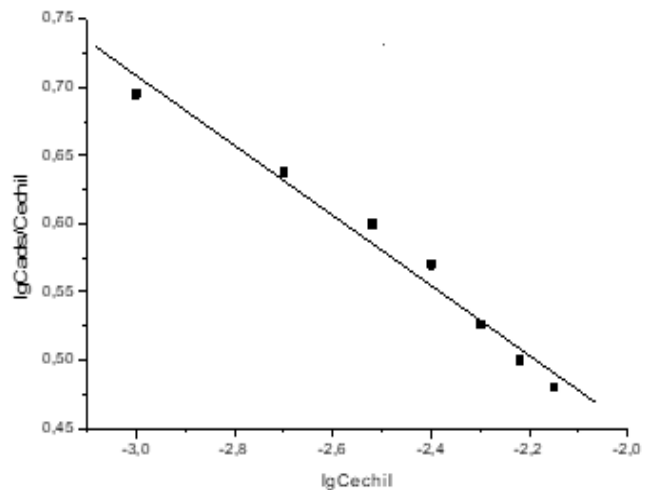


Fig. 5. Dependența $\lg C_{ads}/C_{echil}$ de $\lg C_{echil}$ din izoterma de adsorbție a albastrului de metilen din soluții apoase pe cărbunele activ AG-3 intact.



Prin compararea figurilor 4 și 5, constatăm că liniile drepte întretaie axa ordonatelor la diferite valori, și anume: în figura 4 pe axă obținem valoarea 0.85, iar în figura 5 – 0.73. Aceste valori corespund logaritmului constantei de adsorbție ($\lg K$) a albastrului de metilen pe aceste 2 mostre de adsorbanti. De aici putem conclu-

ziona că, pe mostra de cărbune regenerat la 770⁰ C cu vapori de apă, constanta de adsorbție a albastrului de metilen este mai mare decât pe mostra de cărbune activ AG-3 intact. Din aceste date rezultă că și valoarea energiei libere diferențial- molar standard de adsorbție a albastrului de metilen pe AG-3 regenerat la 770⁰ C (ΔF^0) va fi mai mare decât pe mostra de cărbune activ AG-3 intact ($\Delta F^0 = RT \ln K$). Aceasta este deja o caracteristică energetică, care ne poate orienta spre evaluarea structurii poroase a adsorbantului regenerat, dar poate și a chimiei suprafeței acestuia.

Tabelul 2. Parametrii de structură a cărbunelui AG-3 uzat (CM-1) și regenerat la 770⁰ C cu vapori de apă timp de 20min (CM-2).

Proba	S_{BET} , m ² /g	V_{mi} , cm ³ /g	V_{me} , cm ³ /g	V_s , cm ³ /g
CM-1	12	0	0.0251	0.0251
CM-2	204	0.034	0.145	0.179

Din datele tabelului 2 rezultă că, volumul mezopozilor pe cărbunele activ CM2 este mai mare decât pe cărbunele activ AG-3 uzat, or, tocmai pe acești pori are loc adsorbția albastrului de metilen din soluții apoase. Acest rezultat se explică prin transformarea micropozilor în urma regenerării la 770⁰ C cu vapori de apă în mezopori și ca rezultat volumul mezopozilor pe CM2 crește de la 0.0251cm³/g (CM1) la 0.145cm³/g. Dacă comparăm datele prezentate în tabelurile 1 și 2, observăm că cărbunele activ uzat CM-1 nu are în structura sa micropori, ori mai exact spus, nu se depistează, din cauza că microporii sunt ocupați cu molecule mici de substanțe organice, care nu pot fi îndepărtate din structura microporoasă la temperatura de 110⁰ C în vid în timpul prealabil al pregătirii mostrelor de adsorbant înaintea studierii proceselor de sorbție – desorbție ale azotului la instalația Autosorb 1.

În figurile 6 și 7 sunt prezentate izotermele de adsorbție ale azotului pe aceste două mostre de cărbuni activi.

Fig. 6. Izoterma de adsorbție a azotului pe cărbunele activ AG-3 uzat.

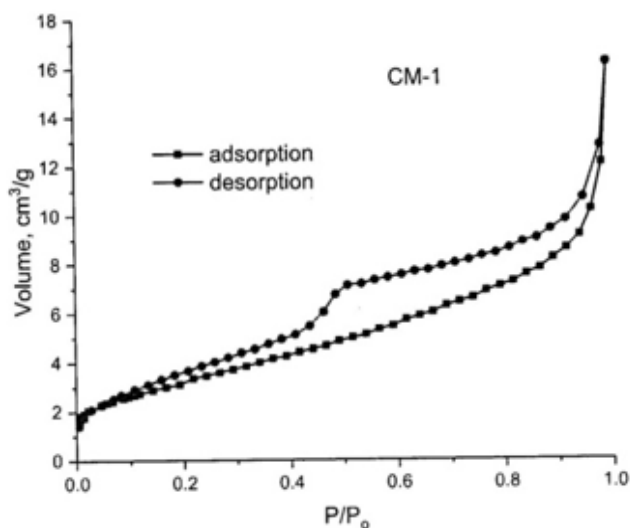
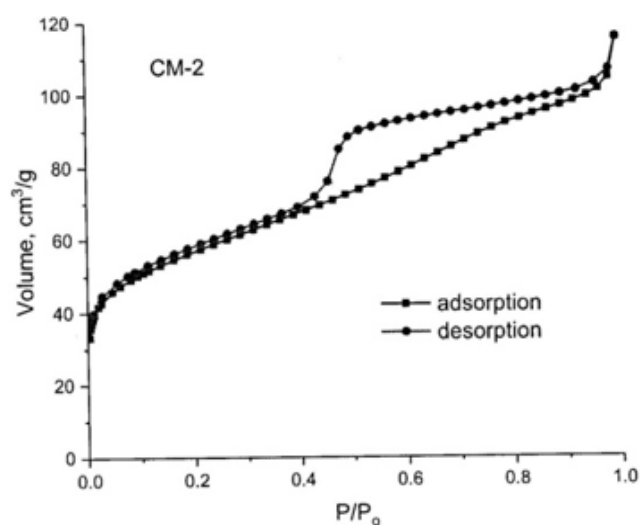


Fig. 7. Izoterma de adsorbție a azotului pe cărbunele activ AG-3 regenerat la 770⁰ C cu vapori de apă timp de 20 min.



Dacă comparăm aceste 2 izoterme constatăm o mai mare valoare a adsorbției pe mostra de cărbune activ AG-3 regenerată la 770⁰ C. De asemenea, observăm histereze pe ambele mostre de adsorbant și supuși studiului, ceea ce indică asupra prezenței în structura poroasă a mezopozilor. Ambele histereze sunt de tipul H3 și adsorbantii supuși studiului sunt compuși din particule plane [12].

În fig. 8 și 9 sunt prezente curbele de repartiție ale porilor pe dimensiuni ale acestor două mostre de cărbuni activi supuși studiului, obținute din izotermele de adsorbție ale azotului la instalația Autosorb-1.

Fig. 8. Curba de repartiție a porilor pe dimensiuni integrală și diferențială pe cărbunele activ uzat (CM-1).

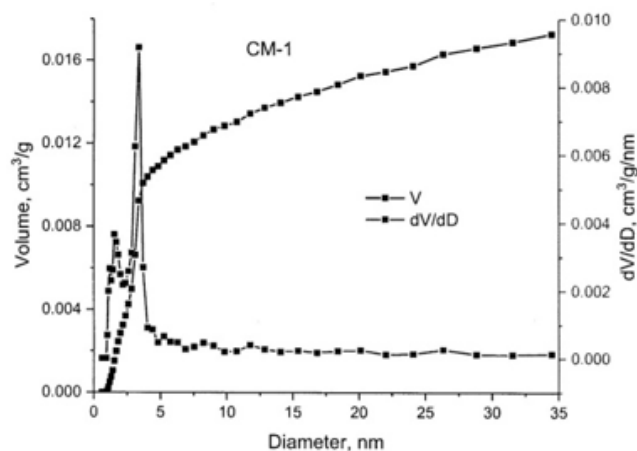
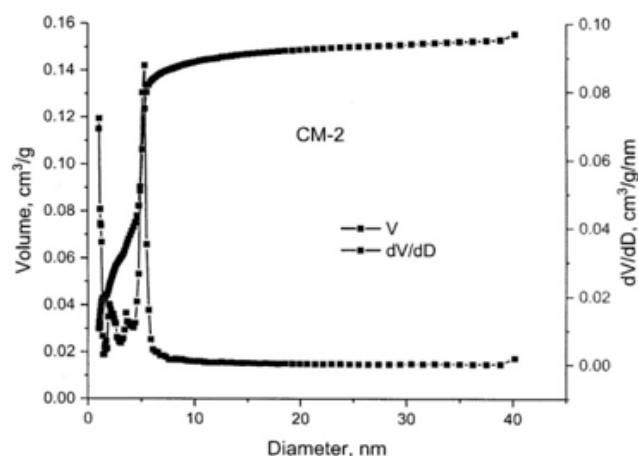


Fig. 9. Curba de repartiție a volumului porilor pe dimensiuni integrală și diferențială pe cărbunele activ AG-3 regenerat la 770°C cu vapori de apă timp de 20 min (CM-2).



Din figurile 8 și 9 prezentate constatăm că, în figura 8 avem 2 maximuri pe curba diferențială, la raza efectivă a porilor 0.835 nm și 1.67 nm care corespund, conform clasificării M. M. Dubinin [15] - supermicroporilor. În figura 9 avem 4 maximuri cu razele efective 0.625, 1.04, 1.67 și 2.71 nm respectiv. Maximuri cu raza efectivă 0.625 și 1.04 nm corespund supermicroporilor, iar cele cu raza efectivă 1.67 și 2.71 nm corespund mezoporilor mici. În consecință, în urma regenerării cărbunelui uzat AG-3 are loc eliberarea de carbonizat a porilor acestuia, dar și activarea lui, urmată de creșterea dimensiunilor porilor mostrei regenerare.

De reținut însă că în urma regenerării termice, cărbunele activ uzat AG-3 pierde considerabil în masă, și cu cât este mai ridicată temperatura în procesul regenerării, cu atât pierderile sunt mai mari. În orice caz, regenerarea cărbunelui activ uzat AG-3 la 545°C, cu vapori de apă 20 min, conduce la o pierdere de masă de 24.5%. Regenerarea la 675°C cu vapori de apă 20 min este urmată de pierderea a 37.5% din masa cărbunelui activ uzat AG-3. În urma regenerării termice se produce și pierderea unei anumite cantități a liantului, ca rezultat cărbunele activ AG-3 regenerat termic devenind mai fragil.

Concluzii

1. Procesul de regenerare a cărbunelui activ AG-3 uzat, la 770°C cu vapori de apă timp de 20 min, nu doar restabilește capacitatea adsorbțională a lui după albastru de metilen, dar și o depășește datorită procesului de activare, care se produce în aceste condiții. Pierderile de masă, în acest caz sunt considerabile.

2. Reieșind din rezultatele obținute, considerăm că condițiile optime de regenerare a cărbunelui activ uzat AG-3 este ca procesul să se efectueze la temperatura de 770°C cu vapori de apă timp de 20 min.

Referințe:

- LUPAȘCU, T. *Cărbuni activi din materii prime vegetale*. Chișinău, î.E.P. Știința, 2004, 224p.
- Технический справочник по обработке воды*: в 2 т. 2-е изд. Пер. с франц. Л. Андриамирадо [и др.]; / науч. ред. М. И. Алексеев [и др.]. СПб.: Водоканал СПб.: Новый журнал, 2007, 1696 с. ISBN 5-901336-05-4 (В пер.).
- СПЕЛЛМАН, Ф. Р. *Справочник по очистке природных и сточных вод. Водоснабжение и канализация*: в 2 т. Пер. с 2-го англ. / под общ. ред. М. И. Алексеева. СПб.: Профессия, 2014, 1312 с. ISBN 978-5-91884-053-5
- СПИРИДОНОВА, Е., ПОДВЯЗНИКОВ, М., СЕРГЕЕВ, В. и др. *Высокотемпературная опытно-промышленная реактивация углеродного адсорбента, отработанного в процессе доочистки воды на блоке К-6 южной водопроводной станции водоканала Санкт-Петербурга. Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета), № 47(73), 2018. СПб, с. 112-116.*

5. WAER, MARK ALAN. *Thermal regeneration of activated carbon for the treatment of drinking water*. University of Illinois at Urbana-Champaign ProQuest Dissertations Publishing, 1996, 9702704.
6. IRFAN, SHAH, PASCALINE PRE, ALAPPAT, B. *Effect of thermal regeneration of spent activated carbon on volatile organic compound adsorption performances*. In: *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. Année, 2014, 45(4). DOI: 10.1016/j.jtice.2014.01.006.
7. ЛЕПЕШ, Г., САКАНСКАЯ-ГРИЦАЙ, Е. *Анализ факторов, обуславливающих технологический процесс очистки воды из природных источников в Ленинградской области*. În: *Технико-технологические проблемы сервиса*, 2014, № 1(27), с. 62-68. ISSN: 2074-1146.
8. *FILTRASORB*. URL: <https://www.calgoncarbon.com/products/filtratorb/>
9. SAMONIN, V., PODVYAZNICOV, M., SOLOV'EV, V., KISELEVA, V., KHRYLOVA, E., SPIRIDONOVA, E. *Study of the possibility of regeneration of activated carbon spent in water treatment processes using the chemical regeneration and thermal reactivation*. În: *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2013, Volume 86(8), p. 1220-1224. DOI: 10.1134/S1070427213080119.
10. МУХИН, В., КЛУШИН, В., ХОМУТОВ, А. *Технологии и оборудование для реактивации активных углей*. În: *Химическая промышленность сегодня*, 2008, № 4, с. 35-45. ISSN: 2713-2854.
11. *Activated Carbon Purification Systems. Pure Water. Clean Air. Better World*. URL: <https://www.chemviron.eu>
12. *Активные угли*. Каталог. Черкассы, 1983, 16 с.
13. ГРЕГ, С., СИНГ, К. *Адсорбция, удельная поверхность, пористость*. Москва, «МИР» 1984, 310 с.
14. КОГАНОВСКИЙ, А., ЛЕВЧЕНКО, Т. *Изменение свободной энергии при вытеснении воды с поверхности активированного угля бензолом, адсорбированным из водных растворов*. *Коллоидный ж.* 1966, 28, с. 225-228.
15. *IUPAC Compendium of Chemical Terminology*. Version 2.3.2. 2012- 08-19. <http://www.iupac.org/>

Notă: Investigațiile au fost realizate în cadrul proiectului din Programul de Stat 2020-2023 cu titlul „Diminuarea impactului substanțelor chimice toxice asupra mediului și sănătății prin utilizarea adsorbanților și catalizatorilor obținuți din materie primă autohtonă”, cifra 20.80009.7007.21.

Date despre autori:

Mihai CIOBANU, doctor habilitat în științe chimice, conferențiar cercetător, Institutul de Chimie al Universității de Stat din Moldova.

E-mail: mihaiciobanu495@gmail.com

Tudor LUPAȘCU, academician, doctor habilitat în științe chimice, profesor cercetător, Institutul de Chimie al Universității de Stat din Moldova.

E-mail: lupascut@gmail.com

ORCID: 0000-0001-5913-7691

Nina ȚIMBALIUC, doctor în științe chimice, conferențiar cercetător, Institutul de Chimie al Universității de Stat din Moldova.

E-mail: timbaliuc_nina@yahoo.com

ORCID: 0000-0002-5240-4651

Nina BOLDURESCU, cercetător științific stagiar, Institutul de Chimie al Universității de Stat din Moldova.

E-mail: nina.boldurescu12@gmail.com

Prezentat la 03.07.2023

DECLARAȚIA PRIVIND ASUMAREA RĂSPUNDERII

Subsemnații, declarăm pe răspundere proprie că materialele prezentate în manuscris sunt rezultatul propriilor cercetări și realizări științifice. Conștientizăm că, în caz contrar, urmează să suportăm consecințele în conformitate cu legislația în vigoare.