

TỔNG HỢP VÀ ỨNG DỤNG NANOCOMPOZIT GRAPHEN OXIT-POLYPYRROL ĐỂ LOẠI BỎ ION CHÌ (II) VÀ CADIMI (II) TRONG MÔI TRƯỜNG NƯỚC

Đến tòa soạn 12-9-2018

Vũ Quang Lợi, Dương Thu Hà, Đỗ Phúc Quân

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên – Đại học Quốc Gia Hà Nội

Bùi Thị Phương Thảo

Trường Đại học Công nghiệp Việt Trì

Nguyễn Văn Anh

Viện Kỹ thuật Hóa học, Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội

SUMMARY

SYNTHESIS AND APPLICATION OF GRAPHENE OXIDE - POLYPYRROLE NANOCOMPOSITE FOR REMOVAL OF LEAD (II) AND CADMIUM (II) FROM AQUATIC MEDIA

A graphene oxide – polypyrrole (GO-PPy) nanocomposite was synthesized for the removal of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions. The nanocomposite was characterized by scanning electron microscopy (SEM) and Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy. The sorption on the GO-PPy nanocomposite was investigated under various conditions, that is, contact time, adsorbent dosage and initial metal ions concentration. The isothermal sorption model was carried out and the results show that the Freundlich isothermal model is more suitable than the Langmuir model for describing the adsorption process of composite materials for the of Pb(II) and Cd(II) ions. Modeling of sorption kinetics indicates that the pseudo-second-order model described the sorption better than pseudo-first-order model. It was found that the GO-PPy composites can be used as an effective adsorbent in the removal of Cd(II)) and Pb(II) ions from water.

Keywords: Polypyrrole, graphene oxide, composite, cadmium, lead, adsorption.

1. MỞ ĐẦU

Ô nhiễm kim loại nặng trong nước mặt ngày càng gia tăng do các hoạt động sản xuất của con người như quá trình khai khoáng, sản xuất nông nghiệp, nước thải chưa qua xử lý từ các khu công nghiệp và đô thị,... Các ion kim loại như cadimi và chì gây ra những rủi ro nghiêm trọng đối với sức khỏe con người [1, 2]. Do đó, việc phát triển các phương pháp đơn giản để loại bỏ Cd(II) và Pb(II) trong môi trường nước có ý nghĩa khoa học và thực tiễn cần thiết.

Một số phương pháp đã được sử dụng và phát triển để loại bỏ các kim loại trong nước như

kết tủa hóa học, thẩm thấu ngược, lọc màng, trao đổi ion, hấp phụ. Trong đó, hấp phụ là phương pháp thường được sử dụng nhất do có nhiều ưu điểm: đơn giản và hiệu quả với chi phí thấp. Nhiều vật liệu hấp phụ khác nhau đã được sử dụng như silica gel, chitosan, zeolite, mùn cưa, tro bay,... tuy nhiên chưa đạt được hiệu quả mong muốn [3-6]. Vì vậy, vật liệu dùng xử lý Cd(II) và Pb(II) trong nước một cách có hiệu quả, thân thiện hơn với môi trường là mục tiêu của nhiều nghiên cứu trong thời gian gần đây.

Graphen oxit nhận được nhiều quan tâm do có

diện tích lớn và sự có mặt của các nhóm chức năng như: $-COOH$, $-C=O$, và $-OH$. Các nhóm chức này chứa nguyên tử oxy có một cặp electron tự do, do đó chúng có thể liên kết hiệu quả với ion kim loại. Ngoài ra, do diện tích bề mặt lớn của GO cho phép nó có khả năng hấp phụ lớn. Hiện nay, GO đang được sử dụng dưới dạng vật liệu compozit với vật liệu khác như chitosan hoặc polyme [7].

Polypyrrol (PPy) được sử dụng trong nhiều lĩnh vực nghiên cứu khác nhau như chế tạo cảm biến, siêu tụ điện hoặc dùng tổng hợp vật liệu xử lý môi trường do chúng độ ổn định cao trong môi trường nước, ít độc, giá thành thấp và điều chế đơn giản [8].

Trong nghiên cứu này, vật liệu nancompozit graphene oxit - polypyrrol (GO-PPy) đã được tổng hợp để loại bỏ $Cd(II)$ và $Pb(II)$ trong dung dịch nước. Các thông số ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ ion kim loại như pH, lượng vật liệu hấp phụ, thời gian tiếp xúc và nồng độ ion kim loại ban đầu đã được nghiên cứu. Các mô hình động học và đẳng nhiệt khác nhau được sử dụng để xác định các thông số động học hấp phụ và các thông số đẳng nhiệt đối với quá trình hấp phụ $Cd(II)$ và $Pb(II)$.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất

Các hoá chất đã được sử dụng gồm: graphit dạng bột, pyrol (Py), axit sunfuric, axit clohidric, amoni persulfat (APS, $(NH_4)_2S_2O_8$), cetyltrimethyl ammoni bromua (CTAB, $C_{19}H_{42}BrN$) (Merck, CHLB Đức).

Các dung dịch được chuẩn bị bằng nước khử ion bằng thiết bị Mili-Q (Barnstead, Mỹ).

Phép đo điện hóa được thực hiện trên thiết bị điện hóa đa năng Autolab general-purpose electrochemical system (AUT302N

AUTOLAB, Eco Chemie B.V., Hà Lan). Bình điện hóa gồm điện cực sánh $Ag/AgCl$ ($NaCl$ 3M), điện cực phụ trợ platin, điện cực làm việc là điện cực glassy cacbon có đường kính 2mm (6.1204.110 GC, Metrohm-Thụy Sĩ).

Phương pháp phân tích điện hóa vôn-ampe hòa tan anốt xung vi phân (DPASV) được sử dụng để xác định ion kim loại $Cd(II)$ và $Pb(II)$ các mẫu thí nghiệm. Mẫu phân tích được xác định

trong dung dịch đệm axetat 0,1M (pH 4,5) gồm CH_3COOH và CH_3COONa . Dung dịch ion kim loại được chuẩn bị từ các dung dịch gốc 1000 mg/l.

2.2. Chuẩn bị vật liệu GO-PPy compozit

Graphen oxit (GO) được tổng hợp từ bột graphit sử dụng phương pháp Hummer [9] như sau: bột graphit (1g), natri nitrat ($NaNO_3$, 0,5g) và axit sunfuric đặc (H_2SO_4 98%, 23 ml) được cho vào bình 500ml và khuấy trong 5 phút ở $5^\circ C$. Thêm dần đến khi đủ 3 g $KMnO_4$ vào bình. Phản ứng được duy trì tại $5^\circ C$ trong 2 giờ. Tiếp theo tăng nhiệt độ đến $35^\circ C$ và duy trì trong 30 phút. Thêm 46 ml nước khử ion vào bình phản ứng, sau đó gia nhiệt đến $98^\circ C$ và khuấy tiếp trong 30 phút. Cuối cùng, dùng 140ml nước khử ion và 10ml dung dịch H_2O_2 10% để kết thúc phản ứng. Màu của dung dịch chuyển từ đen sang vàng. Sản phẩm GO được lọc rửa bằng dung dịch HCl 5% và nước khử ion đến trung tính, sau đó sấy khô ở $60^\circ C$ trong 12 giờ.

Pyrol (0,1004 g) được phân tán trong 50 ml dung dịch CTAB (3,48 mM). GO (0,05 g) được phân tán vào 50ml nước khử ion. Hai dung dịch được làm lạnh ở $0 - 5^\circ C$ trong 5 phút trước khi được trộn vào nhau và lắc đều. Thêm dần dung dịch oxi hóa APS (1,71 g) vào hỗn hợp, rồi làm lạnh ở $0-5^\circ C$ trong 24 giờ. Sau phản ứng, lọc kết tủa thu được và rửa bằng nước khử ion, sấy khô thu được vật liệu compozit GO-PPy.

2.3. Khảo sát điều kiện hấp phụ

Quá trình hấp phụ $Cd(II)$ và $Pb(II)$ trên hệ vật liệu GO-PPy được tiến hành ở nhiệt độ phòng gồm: pH của dung dịch hấp phụ từ 2-6, thời gian hấp phụ từ 10 đến 150 phút, lượng vật liệu hấp phụ 10 – 40 mg và nồng độ ion kim loại từ 30 – 150 mg/l. Hai mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich được dùng để đánh giá quá trình hấp phụ $Cd(II)$ và $Pb(II)$ sử dụng vật liệu compozit GO-PPy. Mô hình động học hấp phụ bậc 1 và bậc 2 được sử dụng để khảo sát động học hấp phụ của $Cd(II)$ and $Pb(II)$ lên vật liệu GO-PPy.

Hiệu suất hấp phụ (%H) của vật liệu được xác định như sau:

$$\%H = \frac{(C_0 - C_e)}{C_0} \times 100$$

Dung lượng hấp phụ (q_e) là một đại lượng biểu thị khối lượng chất bị hấp phụ trên một đơn vị khối lượng của vật liệu hấp phụ tại trạng thái cân bằng ở nhiệt độ và nồng độ xác định, được tính toán theo biểu thức:

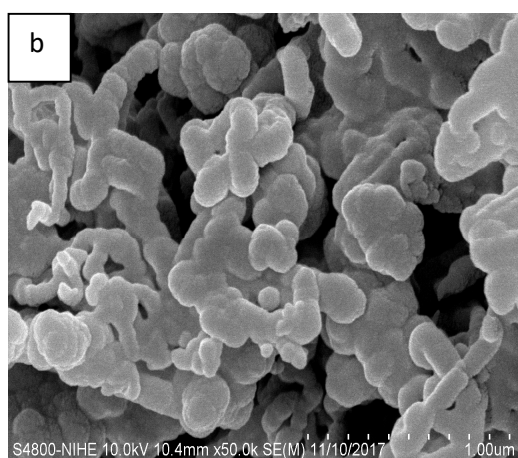
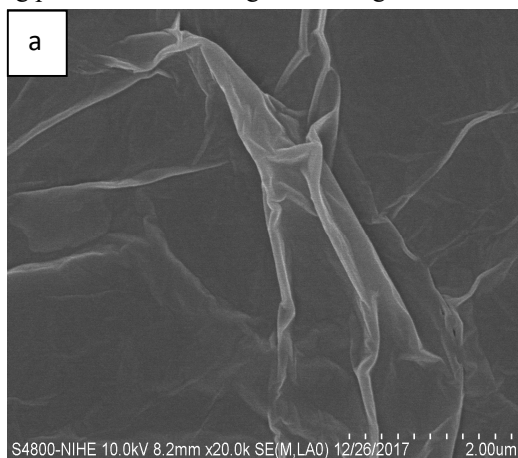
$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (\text{mg/g})$$

Trong đó: C_0 và C_e (mg/l) là nồng độ ion kim loại tại thời điểm ban đầu và thời điểm cân bằng; V (l) là thể tích dung dịch ion kim loại; m (g) khối lượng vật liệu hấp phụ rắn.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đặc trưng của vật liệu

Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) của các vật liệu GO và compozit GO-PPy được trình bày trong hình 1 cho thấy vật liệu GO (hình 1a) có cấu trúc mỏng và mờ do GO có độ dẫn rất thấp. GO tổng hợp sử dụng phương pháp Hummer có cấu trúc nano rõ nét và có khả năng phân tán rất tốt trong môi trường nước.

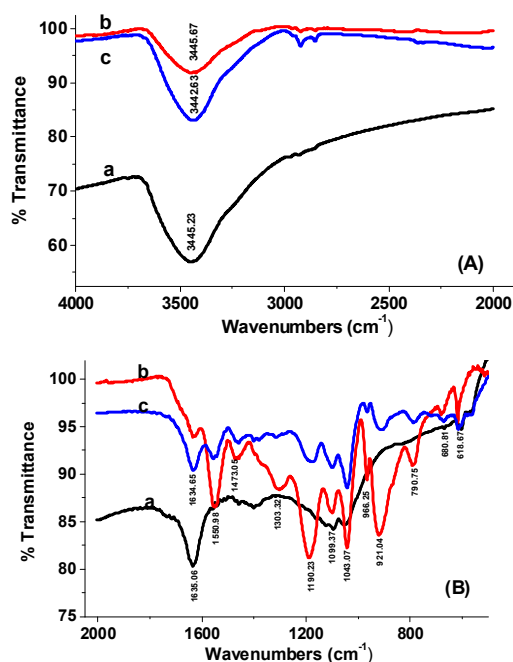


Hình 1. Ảnh SEM của một số vật liệu (a) GO, (b) GO – PPy compozit

Phổ hồng ngoại FTIR được dùng để giải thích cấu trúc của vật liệu. Phổ hồng ngoại của GO (hình 2a) cho thấy các dao động của các nhóm chức chứa oxy trên bề mặt GO gồm ν_{COOH} , ν_{OH} (3445cm^{-1}), $\nu_{\text{C=C}}$ (1635cm^{-1}), $\nu_{\text{C=O}}$ (1095cm^{-1}). Các nhóm chức này giúp GO dễ dàng phân tán trong nước do có tính phân cực cao. Dựa vào phổ hồng ngoại, có thể thấy GO đã được tổng hợp thành công theo phương pháp Hummer. Phổ hồng ngoại của PPy cho thấy sự

Ảnh SEM của compozit GO-PPy (hình 1b) cho thấy GO-PPy có cấu trúc bề mặt lớn và có lỗ xốp lớn. Điều đó giúp cho bề mặt hấp phụ sẽ tăng lên đáng kể, do quá trình hấp phụ có thể xảy ra trên bề mặt ngoài và các lỗ xốp bên trong vật liệu. Từ ảnh SEM cũng có thể hình dung được việc hình thành PPy nhanh và ngay trên bề mặt của GO, tạo nên các sợi GO-PPy ngắn. PPy tổng hợp trong môi trường nước khi không có mặt chất hoạt động bề mặt thường có cấu trúc khối dạng súp lơ, do đó bề mặt hoạt động thường nhỏ, dung lượng hấp phụ không cao. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, với việc sử dụng chất hoạt động bề mặt là CTAB với nồng độ bằng 4 lần CMC, PPy hình thành có dạng sợi cấu trúc nano.

tồn tại của các nhóm $\nu_{\text{N-H}}$, $\nu_{\text{C-C}}$, ν_{CH_2} , $\nu_{\text{C-N}}$ và $\nu_{\text{C-H}}$ thể hiện qua những dao động đặc trưng tương ứng là 3442cm^{-1} và 1043cm^{-1} , 1550cm^{-1} , 1473cm^{-1} , 1303cm^{-1} và 1190cm^{-1} .



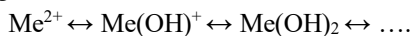
Hình 1. Phổ FTIR của (a) GO; (b) PPy và (c) GO – PPy

Các pic xuất hiện ở 3442 cm^{-1} ($\nu_{\text{N-H}}, \nu_{\text{O-H}}$), 1634 cm^{-1} ($\nu_{\text{C=C}}$), 1557 cm^{-1} ($\nu_{\text{C-C}}$), 1460 cm^{-1} ($\nu_{\text{C-H}}$), 1173 cm^{-1} ($\nu_{\text{C-H}}$), 1043 cm^{-1} ($\nu_{\text{N-H}}$), đã được tìm thấy trên phổ FTIR (hình 2c) của vật liệu GO-PPy composít. Kết quả cho thấy vật liệu composít GO-PPy đã được tổng hợp thành công.

3.2. Nghiên cứu quá trình hấp phụ

3.2.1. Ảnh hưởng của pH

Các ion kim loại trong dung dịch có thể tồn tại ở các dạng khác nhau phụ thuộc vào pH của dung dịch:



Do đó, pH là một trong những yếu tố quan trọng cần được khảo sát. Ngoài ảnh hưởng đến các dạng tồn tại của cadimi và chì trong dung dịch pH còn ảnh hưởng đến trạng thái ion của các nhóm chức có trên bề mặt vật liệu hấp phụ. Quá trình hấp phụ được khảo sát tại các pH 2, 4 và 6. Hình 3(a) thể hiện ảnh hưởng của pH đến hiệu suất hấp phụ. Như có thể thấy, hiệu suất hấp phụ Cd(II) và Pb(II) của vật liệu biến tính cao nhất tại pH 2. Khi pH dung dịch tăng từ 2 đến 6 thì giá trị này có xu hướng giảm.

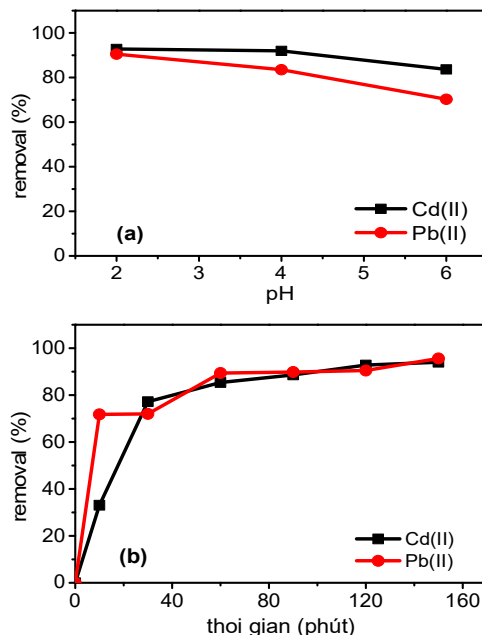
Điều này có thể là do khi giá trị pH thấp có lợi cho việc ion hóa của các nhóm chức chứa oxi trên bề

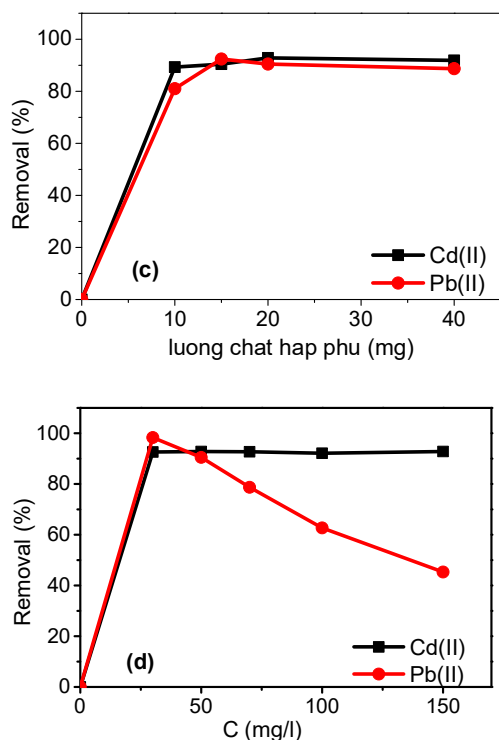
mặt vật liệu. Do bề mặt GO – PPy âm điện nên sự tương tác tĩnh điện giữa các ion kim loại và GO – PPy trở nên mạnh hơn. Khi giá trị pH tăng, các hydroxit kim loại có thể hình thành kết tủa hay nhóm anion sẽ chiếm ưu thế.

3.2.2. Thời gian hấp phụ

Hình 3(b) cho thấy ảnh hưởng của thời gian hấp phụ đến hiệu quả hấp phụ ở điều kiện: lượng vật liệu hấp phụ 20mg, pH2, nồng độ ion kim loại ban đầu 50mg/l. Như có thể thấy, lượng Cd(II) và Pb(II) được hấp phụ tăng khi tăng thời gian hấp phụ của quá trình hấp phụ. Sau đó, các vị trí hoạt động trên bề mặt của vật liệu composít đã bị các ion kim loại chiếm giữ, quá trình hấp phụ diễn ra chậm và đạt trạng thái cân bằng sau khoảng thời gian 120 phút. Như vậy, thời gian cần thiết để quá trình hấp phụ đạt trạng thái cân bằng là 120 phút.

Lượng vật liệu hấp phụ là một trong các yếu tố ảnh hưởng tới quá trình hấp phụ, quyết định hiệu quả xử lý và có thể được sử dụng để xác định chi phí vật liệu hấp phụ trên một đơn vị thể tích dung dịch cần xử lý. Nghiên cứu đặc điểm của quá trình hấp phụ cần khảo sát khối lượng vật liệu hấp phụ cần thiết để tối ưu hóa hiệu quả hấp phụ. Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi tăng lượng vật liệu hấp phụ đến 20 mg, nồng độ Cd(II) và Pb(II) trong dung dịch có xu hướng giảm nhanh, hiệu quả hấp phụ tăng.





Hình 3. Yếu tố ảnh hưởng đến quá trình hấp phụ của ion kim loại trên vật liệu compozit: (a) pH, (b) thời gian hấp phụ, (c) lượng vật liệu hấp phụ và (d) nồng độ ban đầu của ion kim loại.

3.2.2. Lượng vật liệu hấp phụ

Điều này là do các vị trí liên kết trên bề mặt vật liệu hấp phụ tăng lên khi lượng vật liệu hấp phụ tăng. Tiếp tục tăng lượng vật liệu hấp phụ lên 40 mg, hiệu quả hấp phụ không tăng lên và có xu hướng đạt cân bằng. Lượng vật liệu hấp phụ tối ưu được chọn cho các thí nghiệm hấp phụ tiếp theo là 20 mg.

3.2.3. Nồng độ ion kim loại ban đầu

Kết quả thể hiện trong hình 3(d) khi nồng độ Cd(II) và Pb(II) ban đầu tăng, dung lượng hấp phụ tăng. Ở nồng độ Cd(II) và Pb(II) ban đầu thấp, các trung tâm hấp phụ trên bề mặt vật liệu vẫn chưa được lấp đầy bởi các ion kim loại, nên khả năng hấp phụ tăng. Khi tăng nồng độ Cd(II) và Pb(II) thì các trung tâm hấp phụ đã được phủ kín bởi các Cd(II) và Pb(II) thì khả năng hấp phụ giảm. Bề mặt vật liệu hấp phụ trở nên bão hòa bởi ion kim loại.

3.3. Đường hấp phụ đẳng nhiệt

Xác định các đường hấp phụ đẳng nhiệt là yêu

cầu cơ bản khi nghiên cứu bất kỳ hệ vật liệu hấp phụ nào. Các mô hình phổ biến nhất là Langmuir và Freundlich.

Đường hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir là mô hình thực nghiệm với giả định quá trình hấp phụ đơn lớp, bề mặt vật liệu hấp phụ đồng nhất, [10]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m}$$

Trong đó: q_m - dung lượng hấp phụ cực đại của vật liệu hấp phụ tính theo lý thuyết (mg.g^{-1}), K_L - hằng số cân bằng hấp phụ Langmuir (L.mg^{-1}). Mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich dựa trên giả thiết sự hấp phụ đa lớp, bề mặt vật liệu hấp phụ không đồng nhất với các tâm hấp phụ khác nhau về số lượng và khả năng hấp phụ. Phương trình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich như sau:

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e$$

Trong đó: K_F - Hằng số hấp phụ Freundlich, $[(\text{mg.g}^{-1})(\text{L.mg}^{-1})^{(1/n)}]$, $1/n$ - Hệ số đặc trưng cho tương tác hấp phụ của hệ. Các thông số đường hấp phụ đẳng nhiệt thu được tính toán theo mô hình Langmuir và Freundlich được tổng hợp trong bảng 1. Kết quả cho thấy đường đẳng nhiệt hấp phụ Freundlich phù hợp để mô tả quá trình hấp phụ hơn so với mô hình Langmuir. Như vậy, quá trình hấp phụ chủ yếu là quá trình hấp phụ đa lớp và bề mặt hấp phụ có thể bao gồm cả GO và PPy.

Bảng 1. Các thông số mô hình đẳng nhiệt và hệ số tương quan

	Mô hình Langmuir		
	q_m (mg.g^{-1})	K_L (L.mg^{-1})	R^2
Cd(II)	-	-	0,029
Pb(II)	172,413	0,397	0,998
	Mô hình Freundlich		
	K_F (mg.g^{-1}) (L.mg^{-1}) ^(1/n)	n	R^2
Cd(II)	31,960	0,985	0,995
Pb(II)	84,977	0,167	0,990

3.4. Động học hấp phụ

Động học các quá trình hấp phụ ion kim loại được sử dụng để xác định kiểu quá trình chi phối cơ chế hấp phụ. Cơ chế của quá trình hấp phụ phụ thuộc vào các đặc tính vật lý và hóa học của vật liệu hấp phụ cũng như quá trình chuyển khối từ chất bị hấp phụ vào vật liệu hấp phụ. Do đó, sự phân biệt cơ chế hấp phụ thường liên quan đến việc sử dụng các mô hình động học để xác định cơ chế chi phối quá trình hấp phụ ion kim loại dựa trên hình dạng và sự phù hợp với các mô hình động học có các giả thiết cơ bản trong thiết kế, có thể được ngoại suy cho hệ. Thông tin từ mô hình động học có thể được sử dụng để giải thích các loại cơ chế vận chuyển và do đó có thể tiến hành mô tả quá trình hấp phụ.

Nghiên cứu động học quá trình hấp phụ ion kim loại có thể cung cấp thông tin chi tiết về tốc độ và cơ chế hấp phụ. Các phương trình động học thường được sử dụng để mô tả động học quá trình hấp phụ là phương trình động học hấp phụ bậc một và phương trình động học hấp phụ bậc hai.

Phương trình động học bậc 1 được xây dựng dựa trên giả thiết: tốc độ hấp phụ liên quan đến số lượng các vị trí chưa hấp phụ và chỉ sử dụng đối với giai đoạn đầu xảy ra nhanh chóng. Phương trình động học hấp phụ bậc 1 được biểu diễn dưới dạng sau:

$$\log(q_{\infty} - q_t) = \log q_{\infty} - \frac{k_1}{2,303} t$$

Trong đó: k_1 (phút⁻¹) là hằng số tốc độ hấp phụ bậc 1, q_t (mg/g) là dung lượng hấp phụ tại thời điểm t .

Phương trình động học hấp phụ bậc hai được giả định đối với quá trình hấp phụ hóa học liên quan đến các tương tác hóa học thông qua việc cho hoặc trao đổi điện tử. Mô hình này thường được sử dụng để dự đoán động học của quá trình hấp phụ hóa học với bước kiểm soát tốc độ.

Phương trình động học hấp phụ bậc hai được biểu diễn như sau:

$$\frac{1}{q_t} = \frac{1}{k_2 q_{\infty}^2} + \frac{t}{q_{\infty}}$$

Trong đó: k_2 (g.mg⁻¹. phút⁻¹) là hằng số tốc độ hấp phụ bậc 2.

Quá trình hấp phụ được tiến hành ở pH=2, khối lượng vật liệu hấp phụ là 20 mg, nồng độ ion kim loại ban đầu là 50 mg/l khi thay đổi thời gian thời gian hấp phụ để xác định động học hấp phụ.

Các thông số động học hấp phụ thu được tính toán theo các mô hình được tổng hợp trong bảng 2.

Bảng 2. Các tham số hấp phụ ion kim loại theo phương trình động học bậc 1 và bậc 2

	Động học bậc 1		Động học bậc 2	
	Cd(II)	Pb(II)	Cd(II)	Pb(II)
K	0,03132	0,04790	0,00044	0,00153
q_e (tính toán) (mg/g)	72,577	48,899	133,333	119,048
R^2	0,918	0,886	0,992	0,997

Từ kết quả nghiên cứu có thể thấy, phương trình động học bậc 2 có hệ số hồi quy ($R^2 > 0,99$) cao hơn mô hình động học bậc 1. Dung lượng hấp phụ q_e tính toán từ phương trình lần lượt là 133,3 mg/g đối với Cd(II) và 119,1 mg/g đối với Pb(II) chênh lệch không đáng kể so với kết quả thực nghiệm. Như vậy phương trình động học hấp phụ bậc 2 phù hợp khi mô tả quá trình hấp phụ ion Cd(II) và Pb(II) của vật liệu GO-PPy. Do đó, quá trình hấp phụ Cd(II) và Pb(II) bởi vật liệu compozit chế tạo chủ yếu là quá trình hấp phụ hóa học liên quan đến việc tạo phức giữa các ion kim loại với các nhóm chức trên bề mặt vật liệu.

4. KẾT LUẬN

Kết quả ảnh hiển vi điện tử quét và phổ hồng ngoại biến đổi Fourier đã chứng minh rằng vật liệu compozit GO-PPy đã được tổng hợp có cấu trúc nano và quá trình hấp phụ Cd(II) và Pb(II) sử dụng vật liệu compozit theo mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich. Động học quá trình hấp phụ của các ion kim loại tuân theo mô hình động học bậc 2, tức là tốc độ hấp phụ của vật liệu tại thời điểm t phụ thuộc vào bình phương dung lượng đã hấp phụ của vật liệu

hấp phụ. Vật liệu hấp phụ có thể tái sử dụng sau 5 lần hấp phụ/giải hấp mà vẫn đạt hiệu suất trên 80%. Nghiên cứu này cho thấy tiềm năng áp dụng vật liệu compozit GO-PPy trong quá trình xử lý ô nhiễm kim loại nặng trong nước.

Lời cảm ơn: Bài báo này được hoàn thành với sự tài trợ của đề tài độc lập cấp nhà nước, mã số ĐTĐL.CN.46-16

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. H.Babich, M.A. Devanas, and G. Stotzky, Environmetal research, 1984: p. 253-286.
2. Lewis, J.A. and S.M. Cohen,. Inorganic Chemistry Communication, 2004: p. 6534-6536.
3. Lakherwal, D., International Journal of Environmental Research and Development, 2014. **Vol. 4**: p. pp. 41-48.
4. Sagit Varma, D.S., Sagrar Wakale,. International Journal of Chemical and Physical

Sciences, 2013. **Vol. 2**.

5. Wan Ngah, W.S. and M.A. Hanafiah, Bioresour Technol, 2008. **99**(10): p. 3935-48.
6. H. N. M. Ekramul Mahmud, S.H.a.R.B.Y., International Journal of Technical Research and Applications, 2014.
7. Sheet, I., A. Kabbani, and H. Holail, Energy Procedia, 2014. **50**: p. 130-138.
8. Hosseini, S., et al, Materials Letters, 2015. **149**: p. 77-80.
9. Hummers, W.S. and R. E. Offeman, Journal of the American Chemical Society, 1958. **80**(6).
10. Zare, E.N., M.M. Lakouraj, and A. Ramezani, Advances in Polymer Technology, 2015. **34** (3): p21501 (11 pages).

NGHIÊN CỨU HẤP PHỤ ASEN (III), AMONI TỪ DUNG DỊCH(tiếp theo tr. 140)

7. Lưu Minh Đại, Dương Thị Lịm (2012). *Tổng hợp oxit hỗn hợp cấu trúc nano CeO₂-Mn₂O₃ /Bentonit và đánh giá khả năng hấp phụ amoni, asen, sắt, mangan*. Tạp chí Hoá học, **50(5B)**, Tr. 56 - 58.
8. Đào Ngọc Nhiệm, Đoàn Trung Dũng, Nguyễn Đức Văn, Phạm Ngọc Chúc, Nguyễn Thị Hà Chi (2016). *Nghiên cứu ảnh hưởng nhiệt độ, tỉ lệ mol Ce/Fe đến sự hình thành pha oxit hỗn hợp CeO₂ - Fe₂O₃*. Tạp chí hóa học, **54 (3)**, Tr. 265 - 268.
9. Lưu Minh Đại, Nguyễn Gia Hưng, Võ Quang Mai, Đào Ngọc Nhiệm (2004). *Tổng hợp CeO₂ cấu trúc nano bằng quy trình tự đốt cháy gel PVA - xeri (IV) nitrat ở nhiệt độ thấp*. Tạp chí Hóa học, 42(4), Tr. 444 - 448.

10. Lưu Minh Đại, Đào Ngọc Nhiệm, Nguyễn Văn Phú, Dương Thị Lịm (2011). *Tổng hợp oxit hỗn hợp CeO₂-Al₂O₃ cấu trúc nano bằng phương pháp đốt cháy gel*, Tạp chí Hóa học, 49 (4), Tr. 405 - 408.
11. Liu Xeusong, Lu Jiqing, Qian Kun, Huang Weixin, Luo Mengfei (2009). *A comparayive study of formaldehyde and carbon monoxide complete oxidation on MnO_x-CeO₂ catalysts*. Journal of Rare earths, 27(3). pp. 418 - 424.
12. Wenjuan Shan, Na Ma, Jiali Yang, Xiaowei Dong, Chang Liu, Lingling Wei (2010). *Catalytic oxidation of soot particulates over MnO_x-CeO₂ oxides prepared by complexation-combustion method*. Journal of Natural Gas Chemical, 19. pp.86 - 90.