Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption
Tạp chí xúc tác và hấp phụ Việt Nam

https://chemeng.hust.edu.vn/jca/

Tổng hợp, xác định các đặc trưng và khả năng hấp phụ photphat trong nước của nanocomposite (Fe, Al, Cu) oxit/bentonite

Synthesis, characterization and phosphate adsorption of (Fe, Al, Cu) oxit/bentonite nanocomposite

Phạm Văn Lâm[1,2], Nguyễn Bình Dương[1], Quản Thị Thu Trang[1], Phan Thị Ngọc Bích[1*]

[1]*Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam*
[2] *Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, Việt Nam*
**Email: bich@ich.vast.vn*

ARTICLE INFO

Received: 11/4/2021
Accepted: 17/7/2021
Published: 15/10/2021

Keywords:

(Fe, Cu, Al) oxide/bentonite, exfoliated, nanocomposite, phosphate, adsorption

ABSTRACT

(Fe, Al, Cu) oxide/bentonite nanocomposite – FACB, was simply prepared by co-precipitation of salts of Fe, Al and Cu, which were impregnated previously in the exfoliated bentonite suspension. Characterization of the FACB is performed by X-ray diffraction, Fourier transform infrared spectrometry, Field emission scanning electron microscopy, Energy-dispersive X-ray spectroscopy, Nitrogen adsorption isotherm, and Thermal analysis. The adsorption behavious of phosphate ion on the FACB was assessed. The material has a good ability of phosphate adsorption with high adsorption rate and adsorption capacity of 55.87 mg P/g at equilibrium concentration of phosphate solution of 24.13 mg/l.

Giới thiệu chung

Photphat là một trong những nguyên nhân chính gây ra hiện tượng phú dưỡng. Ở nhiều nước trên thế giới và cả ở nước ta, photphat từ nhiều nguồn khác nhau như từ các chất thải nông nghiệp, công nghiệp và các hoạt động khác của con người xả thẳng vào sông, hồ, suối... làm tăng nồng độ photphat trong nước, làm cho tình trạng phú dưỡng ngày càng nghiêm trọng. Chính vì vậy, các nghiên cứu nhằm phát triển các công nghệ hiệu quả cao với chi phí thấp để loại bỏ photphat ngày càng được chú trọng.

Trong số rất nhiều công nghệ để xử lý photphat, hấp phụ được xem là phương pháp giảm mức độ ô nhiễm photphat một cách hiệu quả với chi phí thấp [1, 2]. Trong môi trường nước, phốt pho dễ dàng tạo thành muối hoặc phức chất với nhiều kim loại đa hóa trị. Hơn nữa, các oxit/hydroxit kim loại thường rẻ tiền, ít độc và tương đối bền hóa học nên các chất hấp phụ photphat trên cơ sở các oxit/hydroxit kim loại rất được quan tâm nghiên cứu. Đặc biệt, những năm gần đây, xu hướng nghiên cứu phát triển các chất hấp phụ photphat hỗn hợp chứa hai hoặc nhiều hơn các oxit kim loại khác nhau đã nhận được sự chú ý ngày càng tăng. Chúng thường có hiệu quả hấp phụ cao do sự kết hợp ưu điểm của từng oxit thành phần, đặc biệt là do việc tạo thành composite với thành phần và cấu trúc linh hoạt dẫn đến cải thiện khả năng hấp phụ của vật liệu. Các ví dụ điển hình có thể kể đến là hỗn hợp oxit/hydroxit bậc hai của Al-Fe, Fe-Mn, Cu-Fe hay bậc ba Fe-Al-Mn... [3-5].

Trong nghiên cứu này, vật liệu nanocomposite oxit hỗn

https://doi.org/10.51316/jca.2021.145

hợp (Fe, Al, Cu)/bentonite đã được chúng tôi tổng hợp hướng đến ứng dụng để xử lý photphat trong nước. Bentonite mà thành phần chính là montmorillonite (MMT) được sử dụng làm chất mang do có cấu trúc lớp linh hoạt, khả năng trao đổi cation, dễ dàng biến tính và sẵn có.

Việc tối ưu hóa thành phần vật liệu cho mục tiêu hấp phụ photphat, sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt, đã được đưa ra trong một công bố trước đây của chúng tôi.[6] Bài báo này sẽ trình bày các kết quả nghiên cứu một số đặc trưng cơ bản và hành vi hấp phụ photphat của vật liệu.

Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

Tổng hợp vật liệu FACB

Các hóa chất $Fe(NO_3)_3.9H_2O$, $Cu(NO_3)_2.2H_2O$, $AlCl_3.9H_2O$, $Na_3PO_4.12H_2O$, NH_4Cl, NaOH đều là loại tinh khiết của hãng Xilong - Trung Quốc. Bentonite là sản phẩm của Công ty CP khoáng sản bentonite Minh Hà - Bình Thuận với khoảng 50 % MMT (dữ liệu nhận được từ nhà cung cấp).

Dung dịch $CuCl_2$, $Fe(NO_3)_3$ và $AlCl_3$ có nồng độ lần lượt là: 0,15 M; 0,2 M và 0,5 M được chuẩn bị từ các hóa chất tương ứng trong nước cất.

Vật liệu FACB chứa 30 % bentonite với tỷ lệ mol $Fe^{3+}/Al^{3+}/Cu^{2+}$ = 4,48/7,85/2,00 (tính theo nồng độ các muối ban đầu, đã xác định được nhờ phương pháp tối ưu hóa [6]) được tổng hợp như sau: 3 gam bentonite và 300ml nước cất được cho vào bình cầu 1lít, hỗn hợp được thêm PEG và khuấy trên máy khuấy từ trong 5 giờ ở nhiệt độ phòng, sau đó siêu âm 10 phút. Dung dịch $Fe(NO_3)_3$, $AlCl_3$ và $CuCl_2$, có nồng độ lần lượt là: 0,2 M, 0,5 M và 0,15 M với lượng cần thiết được thêm vào huyền phù bentonite và khuấy trong 2 giờ. Huyền phù thu được có pH = 3-4. Nhỏ từ từ dung dịch NaOH 0,1 M vào hỗn hợp để kết tủa các hydroxit, cho tới khi đạt pH 7-8. Kết tủa được giữ ổn định 15 giờ, sau đó được rửa bằng nước cất đến pH trung tính. Lọc kết tủa và sấy ở 100 ^oC trong 12 giờ, sau đó nung ở 400 ^oC trong 4 giờ để thu sản phẩm cuối cùng.

Xác định các đặc trưng cơ bản của vật liệu

Vật liệu được đặc trưng bằng các phương pháp: Nhiễu xạ tia X (XRD), sử dụng thiết bị D8 Advance Brucker, dùng tia CuKα - λ = 0,154 nm, bước quét 0,03^o, góc quét 2θ từ 0 - 70^o; Phổ hồng ngoại (FTIR), thiết bị Shimadzu IRAffinity-1S. Mẫu được nghiền mịn và ép thành viên với KBr, đo trong khoảng số sóng từ 400 đến 4000 cm^{-1}; Hiển vi điện tử quét (FE-SEM) và phổ tán sắc năng lượng tia X (EDX), thiết bị Hitachi S4800; Đẳng nhiệt hấp phụ khí N_2, thiết bị Micromeritics; Phân tích nhiệt (TG-DTA), mẫu được đo từ nhiệt độ phòng đến 900 ^oC trong không khí, tốc độ nâng nhiệt 10 ^oC/ph trên thiết bị Setaram Labsys Evo.

Thực nghiệm hấp phụ photphat

Dung dịch photphat nồng độ 1000 mg P/l được chuẩn bị bằng cách hòa tan 4,387 g KH_2PO_4 (loại tinh khiết phân tích của Merck) trong nước cất và định mức đến 1 lít (dung dịch gốc A). Các dung dịch có nồng độ photphat khác nhau được chuẩn bị bằng cách pha loãng từ dung dịch A.

Quá trình hấp phụ được thực hiện với nồng độ photphat trong dung dịch ban đầu 30 mg/l, mẫu được lắc trên máy lắc rung tốc độ 120 v/ph. Khi không phải là yếu tố cần khảo sát, lượng chất hấp phụ được chọn là 1,0 g/l, pH dung dịch bằng 6 và thời gian tiếp xúc là 60 phút, sử dụng dung dịch NaOH 0,1 M và HCl 0,1 M để điều chỉnh pH. Kết thúc thí nghiệm, mẫu được lọc bằng giấy lọc cellulose acetate 0,2 µm (CHLB Đức), thu dung dịch để phân tích lượng PO_4^{3-} còn lại bằng phương pháp so màu với axit ascorbic ở bước sóng 880 nm trên thiết bị đo UV-vis HACH DR 4000.

Các nội dung nghiên cứu hấp phụ bao gồm:

Ảnh hưởng của pH đến khả năng hấp phụ photphat của vật liệu được thực hiện với 7 mẫu dung dịch có pH thay đổi trong khoảng 4 ÷ 10.

Ảnh hưởng của lượng chất hấp phụ được xác định trong khoảng 0,25 ÷ 2,0 g/l.

Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc được đánh giá với thời gian lấy mẫu lần lượt là: 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 và 60 phút.

Đẳng nhiệt hấp phụ photphat của vật liệu được nghiên cứu trong khoảng nồng độ dung dịch photphat ban đầu 10 ÷ 100 mg P/l.

Xác định các hằng số của phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir và Freundlich [7]:

- Phương trình Langmuir

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{q_{max}} C_e + \frac{1}{b.q_{max}} \quad (1)$$

- Phương trình Freundlich

$$logq_e = logK_f + \frac{1}{n} logC_e \quad (2)$$

https://doi.org/10.51316/jca.2021.145

Trong đó: q_e là dung lượng hấp phụ khi đạt cân bằng (mg/g); q_{max} là dung lượng hấp phụ cực đại (mg/g); C_e là nồng độ lúc cân bằng (mg/l); *b là* hằng số đặc trưng cho tương tác của chất hấp phụ và chất bị hấp phụ; K_f là hằng số Freundlich (l/g); *1/n* là hệ số không đồng nhất, đặc trưng định tính cho bản chất lực tương tác của hệ, giá trị luôn nằm trong khoảng 0÷1.

Hiệu suất hấp phụ R được tính theo công thức:

$$R(\%) = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

với C_0 và C_e là nồng độ dung dịch photphat ban đầu và tại thời điểm lấy mẫu tương ứng (mg P/l).

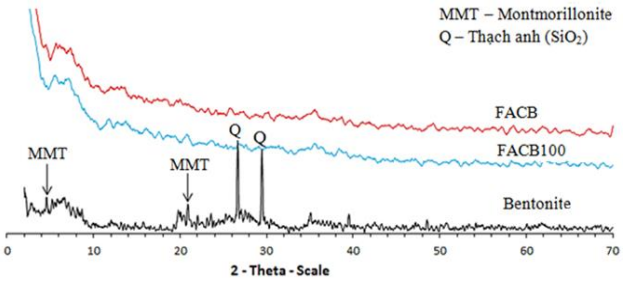
Kết quả và thảo luận

Các đặc trưng cơ bản của FACB

Thành phần pha vật liệu

Giản đồ XRD của bentonite nguyên liệu, vật liệu FACB100 và FACB được đưa trên Hình 1 (FACB100 là mẫu vật liệu được sấy ở 100 ^oC, không nung). Giản đồ XRD của bentonite chỉ ra hai vạch nhiễu xạ đặc trưng cho MMT tại 2θ = 4,52 và 2θ = 20,84[8]. Các vạch tại vị trí 2θ = 26,63 và 2θ = 29,45 (pic Q) thể hiện sự có mặt của thạch anh (SiO_2) trong bentonite [8].

Giản đồ của mẫu vật liệu FACB100 và FACB không xuất hiện các pic đặc trưng của bentonite mặc dù hàm lượng bentonite lên đến 30 %, điều này chứng tỏ bentonite đã được tách lớp ở mức độ cao [9,10]. Đặc biệt, trên giản đồ XRD của cả hai mẫu vật liệu này đều không quan sát được các vạch đặc trưng cho các tinh thể oxit. Kết hợp với các kết quả đặc trưng vật liệu khác (được trình bày dưới đây) khẳng định sự có mặt của các ion Fe, Al, Cu trong mẫu vật liệu, có thể cho rằng hỗn hợp các oxit của Fe, Al, Cu tồn tại ở dạng vô định hình. Như vậy, bằng phương pháp ngâm tẩm trước hỗn hợp các muối kim loại với bentonite trong quá trình xử lý tách lớp, sau đó kết tủa chậm trong môi trường kiềm nhẹ đã tạo ra được hỗn hợp các hydroxit ở trạng thái vô định hình. Đồng thời, nhờ sự phân tán tốt trong bentonite tách lớp nên tổ hợp các oxit dạng vô định hình đã được làm bền ngay cả khi nung đến 400 ^oC[11].



Hình 1: Giản đồ XRD của bentonite, FACB100 và FACB

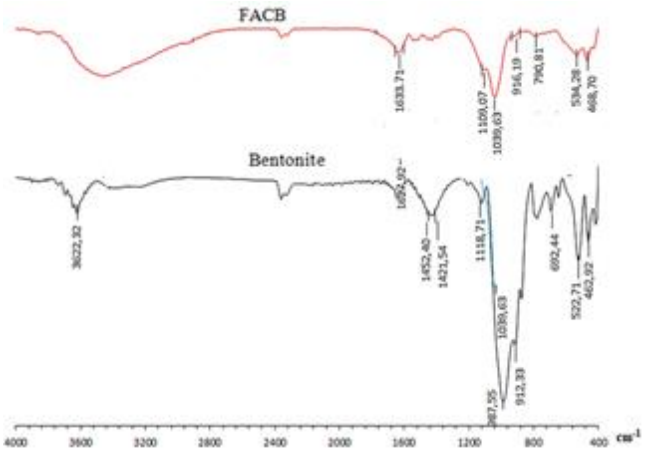
Phổ FTIR của vật liệu

Phổ FTIR của bentonite và vật liệu FACB được trình bày trên Hình 2 cung cấp các thông tin về cấu trúc, và các liên kết cơ bản của các nhóm chức có trong thành phần vật liệu.

Trên phổ của bentonite nguyên liệu xuất hiện các vùng phổ đặc trưng: Dải hấp thụ trong vùng 3500-3900 cm^{-1} với một vạch khá mạnh tại 3622 cm^{-1} và một số vạch hấp thụ hẹp, cường độ yếu tại vùng số sóng cao hơn đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm OH trong liên kết Al-OH của MMT. Dao động biến dạng của nhóm OH cấu trúc này cũng được quan sát thấy tại 692,44 cm^{-1}. Dải hấp thụ rộng ở vùng gần 3419 cm^{-1} và 1633 cm^{-1} là của nhóm -OH trong cấu trúc MMT và của nước hấp phụ trên bề mặt vật liệu. Dải 1452 cm^{-1} và 1421 cm^{-1} đặc trưng cho dao động của liên kết trong ion CO_3^{2-} thể hiện sự có mặt của một phần cancite trong bentonite. Vùng phổ lớn nhất nằm trong khoảng trên 900 – 1100 cm^{-1} được gán cho các dao động hóa trị và biến dạng của liên kết Si – O trong tứ diện. Dải hấp thụ tại 918 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết Al– OH trong bát diện. Hai vân hấp thụ tại khoảng 522 và 463 cm^{-1} được quy gán cho dao động của Al – O – Si [12,13].

So với phổ của bentonite, sự khác biệt đáng kể trong phổ của FACB là ở vùng số sóng trên 3600 cm^{-1} và trong khoảng 900-1100 cm^{-1}. Điều này cho thấy có xảy ra tương tác giữa Al, Fe, Cu với nhóm Si-O trong tứ diện hoặc với nhóm Al-OH trong bát diện [13-14]. Vùng phổ 400-700 cm^{-1} thường là do dao động liên kết của các ion kim loại trong mẫu. Các vạch hấp thụ trong vùng phổ này cũng có sự dịch chuyển so với phổ của bentonite, điều này có thể do sự hình thành các liên kết mới với các ion Cu, Fe và Al trong vật liệu.

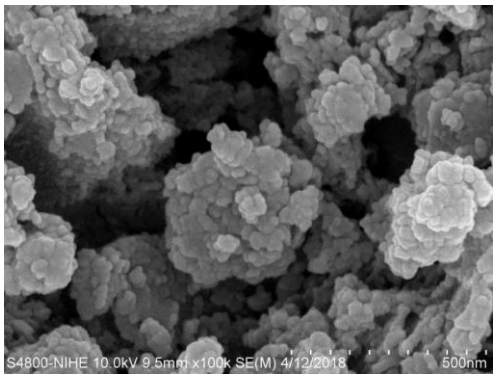
https://doi.org/10.51316/jca.2021.145



Hình 2: Phổ FTIR của bentonite và FACB

Hình thái bề mặt và cấu trúc xốp của vật liệu

Ảnh SEM (Hình 3) cho thấy các hạt vật liệu có dạng tròn kích thước tương đối đồng đều với đường kính trung bình 25-30 nm. Không phát hiện các hạt có hình dạng khác nhau điều này cũng thể hiện hỗn hợp oxit là đồng nhất trong từng hạt. Tuy nhiên do kích thước rất nhỏ, có thể thấy các hạt dễ kết tụ thành đám.



Hình 3: Ảnh SEM của vật liệu FACB

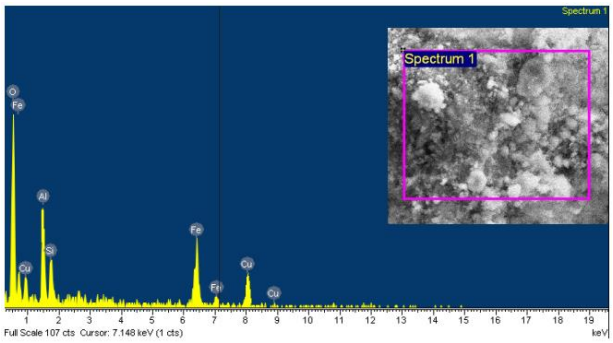
Từ kết quả đo đẳng nhiệt hấp phụ khí N_2, xác định được diện tích bề mặt riêng (theo BET) của vật liệu là 103,3 m^2/g; thể tích mao quản trung bình 0,20 cm^3/g và đường kính mao quản trung bình 7,81 nm. Như vậy, vật liệu có diện tích bề mặt là tương đối cao với các lỗ xốp chủ yếu nằm trong vùng mao quản trung bình.

Kết quả phân tích EDX của vật liệu

Từ kết quả chụp EDX (ảnh đại diện được đưa trên Hình 4, thành phần nguyên tố của vật liệu được đưa trong Bảng 1), đã xác định được sự có mặt của Fe, Al, Cu, Si và O trong mẫu (Si và Al là hai nguyên tố có hàm lượng lớn trong bentonite). Kết quả trong bảng cho thấy phần trăm khối lượng của các nguyên tố tại 2 vị trí trong mẫu là khá đồng đều. Đặc biệt là phân bố đồng đều của Al và Si cho chúng ta thêm bằng chứng về sự tách lớp của bentonite trong vật liệu.

Bảng 1: Kết quả EDX của FACB

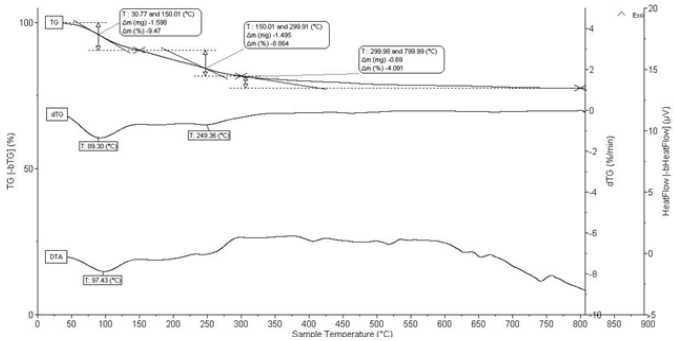
Vị trí	Nguyên tố (% khối lượng)				
	Cu	Fe	Al	Si	O
1	10,5	17,79	20,24	6,72	44,57
2	11,98	20,31	19,48	6,65	41,53



Hình 4: Giản đồ EDX của FACB

Đặc trưng nhiệt của vật liệu

Giản đồ TG-DTA (Hình 5) cho thấy sự giảm khối lượng của vật liệu FACB100 theo nhiệt độ thể hiện qua 3 giai đoạn.



Hình 5: Giản đồ TG - DTA của FACB100

Trên đường TG trong khoảng nhiệt độ từ 31 °C đến 150 °C xảy ra quá trình mất 9,47 % khối lượng đi kèm với hiệu ứng thu nhiệt trên đường DTA, tương ứng với sự bay hơi của nước hấp thụ vật lý trong vật liệu. Trong khoảng nhiệt độ từ 150-300 °C có sự giảm khối lượng là 8,86%. Quá trình này chủ yếu là do sự dehydrat hóa phân hủy các oxyhydroxit của Fe và Cu, một phần $Al(OH)_3$ cũng bắt đầu phân hủy. Trong giai đoạn còn lại, 300-800 °C, sự giảm khối lượng là 4,09 % tương ứng với sự phân hủy tiếp tục của của các oxyhydroxit Al ($Al(OH)_3$, AlOOH...) tạo thành oxit. Các quá trình phân hủy này đều đi kèm với hiệu ứng thu

https://doi.org/10.51316/jca.2021.145

nhiệt trên đường DTA. Tuy nhiên do thành phần phức tạp của vật liệu nên các hiệu ứng này không thể hiện thành các đỉnh thu nhiệt rõ rệt.

Hành vi hấp phụ photphat của vật liệu

Ảnh hưởng của pH đến hiệu quả hấp phụ photphat

Giá trị pH dung dịch là một trong những thông số quan trọng nhất kiểm soát quá trình hấp phụ.

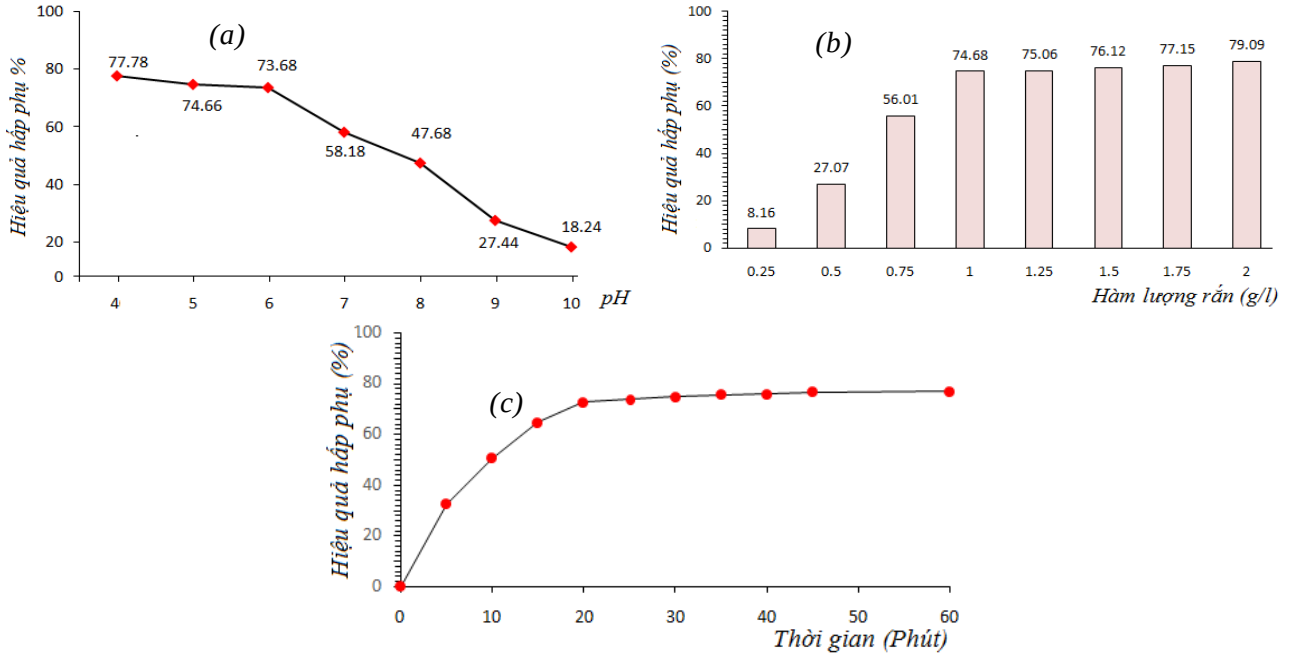
Kết quả hấp phụ tại các pH khác nhau (Hình 6a) cho thấy hiệu quả hấp phụ photphat trên vật liệu phụ thuộc mạnh vào giá trị pH và hiệu suất hấp phụ tốt nhất đạt được ở pH = 4, khi tăng pH hiệu suất hấp phụ giảm. Trong khoảng pH 4-10, photphat tồn tại chủ yếu dưới hai dạng $H_2PO_4^-$ và HPO_4^{2-}, trong đó nồng độ $H_2PO_4^-$ cao hơn ở pH dưới 7 và HPO_4^{2-} chiếm ưu thế trong khoảng pH 7-10. Quá trình hấp phụ photphat có thể xảy ra theo nhiều cơ chế khác nhau, như hấp phụ bề mặt nhờ lực hút tĩnh điện, tạo liên kết hydro, tạo phức cầu nội... Đối với các vật liệu trên cơ sở oxit kim loại, cơ chế hấp phụ tạo phức có nhiều thuận lợi. Thông qua quá trình trao đổi phối tử, các ion $H_2PO_4^-$ và HPO_4^{2-} thay thế cho các nhóm OH^- bề mặt, tạo nên phức cầu nội với các ion kim loại [2,15]. Trong vùng pH thấp, quá trình proton hóa ($M-OH + H^+ \leftrightarrow =M-OH_2^+$ với M là các ion kim loại) dẫn đến tăng các vị trí tích điện dương trên bề mặt vật liệu. Hấp phụ được tăng cường bởi lực hút tĩnh điện giữa các anion $H_2PO_4^-$ mang điện tích âm với các vị trí này, do đó khả năng hấp phụ photphat cao hơn được quan sát thấy. Khi pH > 6, cung cấp H^+ cho quá trình proton hóa bề mặt cũng kém đi, thêm vào đó, nồng độ OH^- ngày càng tăng, ngăn cản quá trình trao đổi phối tử tạo phức cầu nội của HPO_4^{2-}, đồng thời cũng hình thành lực đẩy tĩnh điện và một lớp phản ion, ngăn cản sự hấp phụ photphat dẫn đến hiệu quả hấp phụ giảm xuống rõ rệt. Giá trị pH 6 được chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

Ảnh hưởng của hàm lượng chất hấp phụ đến hiệu quả hấp phụ photphat

Hình 6b là kết quả hấp phụ với lượng FACB (pha rắn) khác nhau. Hiệu suất hấp phụ photphat tăng từ 8,16 đến 79,09 % khi lượng FACB tăng từ 0,25 đến 2 g/L với nồng độ photphat ban đầu là 50 mg/L. FACB là 1 g/L hiệu suất đã đạt 74,68%, tiếp tục tăng FACB đến 2 g/l, hiệu suất cũng không tăng nhiều. Do vậy, hàm lượng 1 g/L FACB được dùng trong các thí nghiệm tiếp theo.

Ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc đến hiệu quả hấp phụ photphat

Từ kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian tiếp xúc trên Hình 6c, ta thấy quá trình hấp phụ photphat diễn ra tương đối nhanh, tốc độ hấp phụ là rất cao trong 20 phút tiếp xúc đầu tiên rồi giảm dần và đạt cân bằng trong khoảng 10 phút sau đó.



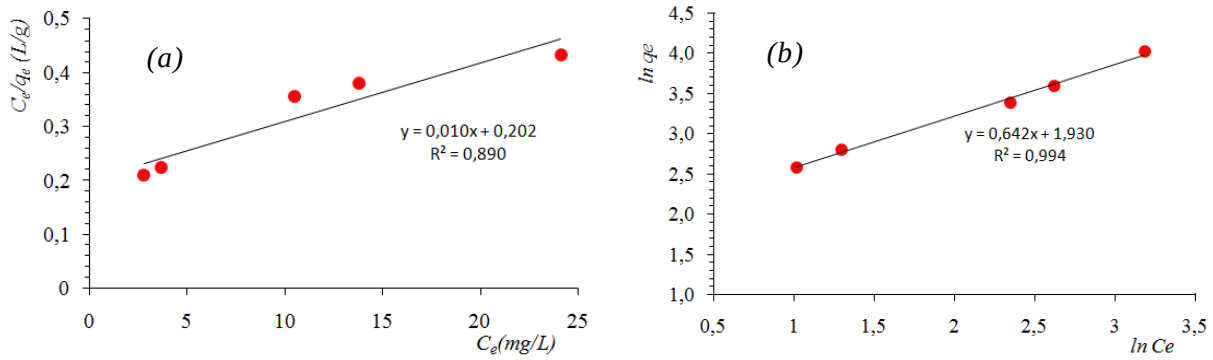
Hình 6: Ảnh hưởng của pH (a), hàm lượng chất hấp phụ (b) và thời gian tiếp xúc (c) đến hiệu quả hấp phụ photphat của vật liệu FACB

https://doi.org/10.51316/jca.2021.145

Đẳng nhiệt hấp phụ photphat của vật liệu

Từ số liệu thực nghiệm, xây dựng các đường đẳng nhiệt hấp phụ theo hai mô hình Langmuir và Freundlich, kết quả được đưa trên Hình 7 và Bảng 2. Quá trình hấp phụ tương đối phù hợp với mô hình Freundlich (hệ số tương quan R^2 = 0,9949). Như vậy, hấp phụ photphat trên vật liệu FACB là quá trình hấp phụ trên bề mặt không đồng nhất. Điều này có thể dự đoán từ sự có mặt của một hỗn hợp oxit ba thành phần trong vật liệu nên sẽ tồn tại các vị trí hấp phụ khác nhau (về lực hấp phụ, nhiệt hấp phụ...) trên bề mặt vật liệu.

Tại nồng độ cân bằng C_e = 24,13 mg/l, dung lượng hấp phụ đạt được là 55,87 mg/g. Có thể thấy FACB thể hiện khả năng hấp phụ photphat tương đối tốt, dung lượng hấp phụ cao hơn so với một số vật liệu hấp phụ tương tự đã được công bố (Bảng 3).



Hình 7: Đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir (a) và Freundlich (b)

Bảng 2: Các thông số của hai mô hình đẳng nhiệt

Langmuir			Freundlich		
Q_{max} (mg/g)	b (l/mg)	R^2	n	Kf	R^2
93,46	0,0618	0,8903	1,5569	6,8909	0,9949

Bảng 3: So sánh dung lượng hấp phụ photphat của một số vật liệu

Vật liệu	Mô hình hấp phụ	Qmax (mg P/g)	Tài liệu
Zr-Ca MMT	Langmuir	22,37	3
Fe-Al-Mn nanocomposite	Freundlich	49,95	5
Oxit hỗn hợp Fe/Cu	Langmuir	39,8	14
Al-Fe-axit humic/bentonite (Bephos™)	Langmuir	26,5	16
Nano Fe_3O_4/diatomite	Langmuir	11,89	17
(Al,Fe,Cu)/bentonite tách lớp	Freundlich	55,87*	Nghiên cứu này
		*Ce = 24,13 mg P/l	

Kết luận

Đã tổng hợp được vật liệu nanocomposite (Fe, Al, Cu) oxit/bentonite cho mục tiêu hấp phụ photphat bằng phương pháp đồng kết tủa muối của Fe, Al, Cu, đã được ngâm tẩm trong bentonite tách lớp. Vật liệu có thành phần khối lượng: 30 % bentonite, 27,30 % Fe_2O_3, 30,57 % Al_2O_3, và 12,13 % CuO (tỷ lệ $Fe^{3+}/Al^{3+}/Cu^{2+}$ = 4,48/7,85/2,00, tính theo nồng độ các muối ban đầu) với các oxit hỗn hợp ở trạng thái vô định hình tương đối đồng nhất, phân tán trong mạng bentonite tách lớp. Vật liệu có các hạt dạng tròn, đường kính 25-30 nm tương đối đồng đều với diện tích bề mặt riêng khá lớn là 103.3 m^2/g.

Vật liệu chế tạo được có khả năng hấp phụ photphat tốt, với tốc độ hấp phụ rất cao trong 20 phút tiếp xúc đầu tiên và đạt cân bằng hấp phụ chỉ sau 30 phút tiếp xúc, với dung lượng hấp phụ 55,87 mg P/g tại nồng độ cân bằng 24,13 mg/l.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Nhiệm vụ mã số NCVCC06.07/21-21).

Tài liệu tham khảo

1. D. T. Mekonnen, E. Alemayehu and B. Lennartz., Water 12 (2020) 1381. https://doi.org/10.3390/w12051381

2. Y. Zou, R. Zhang, L. Wang, K. Xue, J. Chen., Applied Clay Science 192 (2020) 105638. https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105638
3. M. Li, J. Liu, Y. Xu, and G. Qian., Environ. Rev. 24 (2016), 319–332. https://doi.org/10.1139/er-2015-0080
4. H. Siwek, and M. Włodarczyk., Water 11 (2019) 633. https://doi.org/10.3390/w11040633
5. W. Yadesa, K. Kibret and N. Dechassa et al., Bull. Chem. Soc. Ethiop. 32(3) (2018) 421-436. https://doi.org/10.3390/w11040633
6. Pham Van Lam, Nguyen Binh Duong, Quan Thi Thu Trang., Vietnam J. Chem. 57(6E1,2) (2019) 84-88. https://doi.org/10.51316/jca.2021.145
7. Adrián Bonilla-Petriciolet, Hilda Elizabeth Reynel-Ávila., Springer (2017),30-32. https://doi.org/10.1007/978-3-319-58136-1
8. V. V. Krupskayaa, Ya. V. Bychkova et al., Geochemistry International 57(3) (2019) 314–330. https://doi.org/10.1134/S0016702919030066
9. A.M. Motawie, D.E. Abulyazied, Egyptian J. of Petroleum 23 (2014) 331–338. https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2014.08.009
10. K. Jlassi, M. M. Chehimi., RSC Adv. 4 (2014) 65213. https://doi.org/10.1039/C4RA10329G
11. S. Zhou, Z. Song et al., Applied Clay Science 95 (2014) 275–283 https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.04.024
12. Libor Machala, Radek Zboril, Aharon Gedanken, Phys. Chem. 111 (2007) 4003-4018 https://doi.org/10.1021/jp064992s
13. J. Moma, J. Baloy and T. Ntho., RSC Adv. 8 (2018) 30115–30124. https://doi.org/10.1039/C8RA05825C
14. G. Li, S. Gao, G. Zhang, X. Zhang, Chem. Eng. J. 235 (2014, 124-131. https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.021
15. B. Wu, Irene M. C. Lo et al., Environ. Sci. Technol. 54 (2020) 50−66. https://doi.org/10.1021/acs.est.9b05569
16. M. Zamparas, M. Drosos, Y. Georgiou, Y. Deligiannakis, I. Zacharias., Chem. Eng. J. 225 (2013) 43–51. https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.03.064
17. J. Chen, L. Yan, H. Yu, S. Li, L. Qin, G. Liu, Y. Li, B. Du., Chem. Eng. J. 287 (2016) 162–172.2. https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.11.028