

NGHIÊN CỨU HALOYSIT BIẾN TÍNH BẰNG HYDROPEROXIT VÀ KHẢ NĂNG HẤP PHỤ Pb^{2+} TRONG NƯỚC

STUDY ON MODIFIED HALOYSITE WITH HYDROPEROXIDE AND THE ABILITY TO ADSORP Pb^{2+} FROM AQUEOUS ENVIRONMENT

Lê Thị Phương Thảo^{1,2,3}, Vũ Kim Thu¹, Nguyễn Thế Hữu⁴, Lê Thị Duyên^{1,2,3,*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huic5804.2024.224>

TÓM TẮT

Vật liệu halloysit vùng Thạch Khoán, Phú Thọ đã được biến tính bởi hydroperoxit. Các tính chất đặc trưng của vật liệu halloysit sau khi biến tính được đánh giá thông qua kết quả phân tích ảnh SEM, phổ FT-IR, kết quả đo EDS, BET. Kết quả cho thấy halloysit biến tính vẫn có cấu trúc dạng ống đặc trưng của vật liệu halloysit ban đầu, thành phần nguyên tố và thành phần pha không thay đổi, tuy nhiên diện tích bề mặt và kích thước ống tăng lên nên khả năng hấp phụ cũng được cải thiện. Hiệu suất hấp phụ và dung lượng hấp phụ của halloysit biến tính đối với Pb^{2+} cao hơn so với giá trị tương ứng của halloysit ở cùng điều kiện khảo sát.

Từ khóa: Halloysit biến tính, hấp phụ, Pb^{2+} .

ABSTRACT

Halloysite in Thạch Khoán, Phú Thọ area has been modified by hydrogen peroxide. The characteristic properties of halloysite material after modification were evaluated by SEM images, FT-IR spectrum, EDS pattern, BET measurements. The results show that modified halloysite still has the characteristic tube shape of the original halloysite material, the elemental composition and phase composition do not change, however the surface area and tube size have increased, thus the adsorption capacity is also improved. The adsorption efficiency and adsorption capacity of halloysite modified toward Pb^{2+} were higher than the survey values for halloysite under the same experiment conditions.

Keywords: Modified halloysite, adsorption, Pb^{2+} .

¹Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất

²Nhóm nghiên cứu mạnh HiTech-CEAE, Trung tâm Phân tích, Thí nghiệm Công nghệ cao, Trường Đại học Mở - Địa chất

³Nhóm nghiên cứu BSASD, Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Mở - Địa chất

⁴Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: lethiduyen@humg.edu.vn

Ngày nhận bài: 08/5/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/6/2024

1. MỞ ĐẦU

Sự tăng trưởng kinh tế, công nghiệp và công nghệ làm tăng việc thải các chất ô nhiễm vào môi trường, do đó nguồn nước cũng bị ô nhiễm. Các loại chất gây ô nhiễm như chất

dinh dưỡng, thuốc trừ sâu, thuốc nhuộm, dược phẩm và kim loại nặng ảnh hưởng đến chất lượng nước và môi trường nước, dẫn đến ảnh hưởng tới sức khỏe con người. Đặc biệt, ô nhiễm kim loại nặng được quan tâm nhiều nhất vì tính bền vững của chúng, sự tích lũy sinh học và gây độc cho sinh vật dưới nước và môi trường ở nồng độ thấp [1].

Theo ATSDR (United States Agency for Toxic Substances and Disease Registry), chì xếp thứ 2 trong danh sách 275 chất độc hại - được xác định dựa trên tần suất, độc tính và khả năng phơi nhiễm của con người [2]. Tác dụng phụ nghiêm trọng nhất của việc tích tụ chì là tổn thương hệ thống thận và thần kinh, các bất thường về tinh thần và khối u ở người [5].

Nhiều phương pháp khác nhau đã được sử dụng để loại bỏ kim loại nặng trong nước thải nói chung, chì nói riêng, như kết tủa hóa học, oxy hóa khử, đông tụ, trao đổi ion và thẩm thấu ngược. Tuy nhiên, các phương pháp này đều có nhược điểm là loại bỏ không hoàn toàn kim loại nặng, chi phí vận hành đắt đỏ, hoạt động phức tạp và tạo ra một lượng bùn thải độc hại [6]. Trong khi đó, hấp phụ là một phương pháp hiệu quả để loại bỏ kim loại nặng với thao tác dễ dàng, chi phí vận hành phù hợp, thiết kế đơn giản, có nhiều chất hấp phụ để lựa chọn tùy thuộc vào đối tượng hấp phụ và yêu cầu về chất lượng nước được xử lý [7].

Các chất hấp phụ có nguồn gốc tự nhiên ngày càng được quan tâm và nghiên cứu nhiều, như than hoạt tính [8], than sinh học [9, 10], tro bay [11], hydroxyapatit điều chế từ vỏ sò [12], chitosan, trấu, thân cây ngô, mùn cưa, bã mía, vỏ chuối, vỏ chanh, vỏ tôm và vỏ trứng [7], các khoáng vật như struvite [13], zeolit [7], kaolin [14]. So với các vật liệu hấp phụ khác, khoáng sét có đặc tính vật lý, khả năng hấp phụ và hoạt động hóa học bề mặt đều sẵn có, nên ngày càng được quan tâm trong thời gian gần đây [15]. Sự hấp phụ các ion kim loại nặng trên đất sét thường được thực hiện thông qua trao đổi ion, tạo liên kết với nhóm OH trên bề mặt đất sét và sự hấp phụ vật lý [3, 15]. Xử lý bằng nhiệt, axit hoặc biến tính làm thay đổi cấu trúc sẽ làm tăng hiệu quả loại bỏ ion kim loại nặng do làm tăng diện tích bề mặt riêng, thể tích lỗ xốp và số lượng tâm axit của khoáng sét [14, 15]. Trong đó, chất hấp

phụ gốc Si/Al đã được xác nhận là chất hấp phụ hiệu quả để loại bỏ chì. Cao lanh là một loại chất hấp phụ Si/Al điển hình. Cao lanh được chứng minh có khả năng thu giữ Pb tốt hơn Al₂O₃ và SiO₂. Pb có xu hướng bị hấp phụ ở các vị trí Al-O và Si-O trên bề mặt cao lanh. Hiệu suất hấp phụ chì có thể được tăng cường sau khi cao lanh được biến tính. Việc xử lý thủy nhiệt giúp giữ lại cấu trúc lỗ rỗng đồng thời cải thiện hiệu suất hấp phụ của cao lanh ở nhiệt độ cao [14].

Bài báo này trình bày kết quả biến tính halosyt vùng Thạch Khoán, Phú Thọ bằng H₂O₂ và đánh giá sơ bộ khả năng hấp phụ Pb²⁺ của vật liệu halosyt biến tính.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Vật liệu

Mẫu halosyt (HAL) nghiền cứu được lấy sau công đoạn tuyển của mỏ kaolin Láng Đổng, Thạch Khoán, Phú Thọ. Các mẫu sau đó được trộn đều và được tách lọc sử dụng phương pháp sàng rây ướt có kích cỡ mắt lưới 32µm. Mẫu dưới mắt sàng được gạn lọc và được sấy khô ở nhiệt độ 60°C [16].

HAL sau khi sấy khô được biến tính bằng H₂O₂ 10% theo tỉ lệ thể tích HAL:H₂O₂ là 1:5. Hỗn hợp được siêu âm trong 30 phút, sau đó lọc lấy chất rắn, rửa sạch và làm khô ở 80°C trong 24h.

2.2. Đánh giá đặc trưng tính chất của vật liệu

Hình thái học của vật liệu HAL sau khi biến tính (HAL-BT) được đánh giá bằng phương pháp phân tích kính hiển vi điện tử quét (SEM) kết hợp đo phổ tán xạ năng lượng tia X (EDS) Quanta 450 - FEI tại Trường Đại học Mở - Địa chất. Thành phần pha của vật liệu được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) tiến hành trên máy D5005 Siemens tại Viện Kỹ thuật nhiệt đới. Diện tích bề mặt của vật liệu được xác định bằng phương pháp BET trên thiết bị NOVA touch 2LX.

Xác định pH_{PZC} của vật liệu

Giá trị pH điện tích điểm không (pH_{PZC}) của HAL-BT được xác định bằng phương pháp đo độ lệch pH. Cho 0,5g nguyên liệu HAL-BT vào 50mL dung dịch KCl 0,01M đã được điều chỉnh pH bằng dung dịch HCl 0,01 M hoặc NaOH 0,01M để có pH ban đầu (pH₀) khác nhau. Sau đó khuấy hỗn hợp bằng máy khuấy từ trong 30 phút ở tốc độ 800 vòng/phút. Cuối cùng, lọc lấy dung dịch và xác định lại pH (pH_s) của nước lọc, từ đó tính được các giá trị ΔpH và xây dựng đồ thị biểu diễn sự biến đổi của ΔpH theo pH₀. Dựa vào đồ thị thu được xác định được giá trị pH_{PZC} - chính là giá trị pH₀ mà tại đó ΔpH = 0.

$$\Delta pH = pH_s - pH_0 \quad (1)$$

2.3. Đánh giá khả năng hấp phụ Pb²⁺ bằng halosyt biến tính

Một lượng bột HAL-BT được cho vào bình chứa dung dịch ion Pb²⁺ để thực hiện quá trình hấp phụ ở các điều kiện lựa chọn như bảng 1. Sau quá trình hấp phụ, lọc tách lấy dung dịch và xác định nồng độ ion Pb²⁺ còn lại trong dung dịch bằng phương pháp khối phổ Plasma cao tần cảm ứng (ICP-MS) (Thermo Scientific (Đức) ICAP Q ICP-MS tại Trường Đại học Mở - Địa chất).

Bảng 1. Điều kiện hấp phụ Pb²⁺ của vật liệu HAL-BT

| | Thời gian hấp phụ, phút | pH | Khối lượng HAL-BT, gam | Thể tích dung dịch Pb ²⁺ , mL | Nồng độ dung dịch Pb ²⁺ , mg/L |
|------------------|-------------------------|------|------------------------|--|---|
| Pb ²⁺ | 50 | 5,31 | 0,5 | 50 | 40 |

Hiệu suất hấp phụ (H, %) được xác định theo công thức:

$$H = (C_0 - C) \cdot 100 / C_0 \quad (2)$$

Dung lượng hấp phụ (q, mg/g) được xác định theo công thức:

$$q = (C_0 - C) \cdot V / m \quad (3)$$

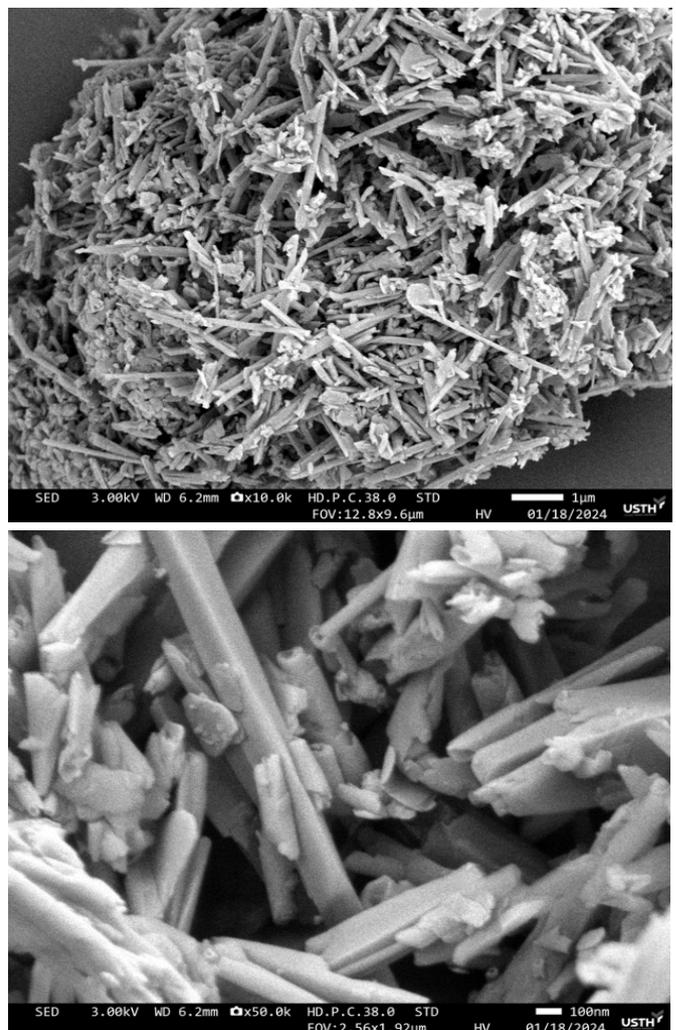
Trong đó:

C₀ và C lần lượt là nồng độ ion Pb²⁺ (mg/L) ban đầu và còn lại sau hấp phụ;

V (L) là thể tích dung dịch hấp phụ; m (g) là khối lượng vật liệu hấp phụ.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

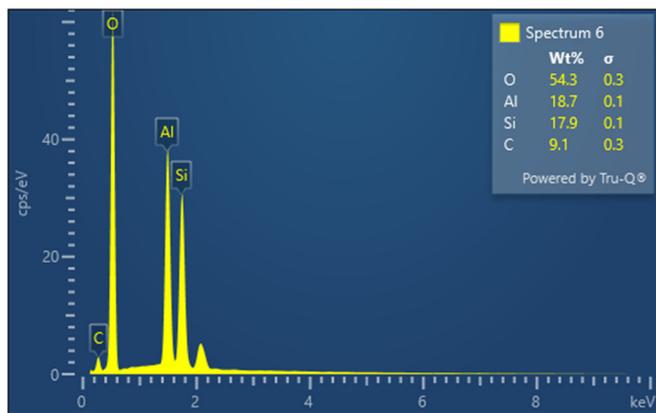
3.1. Vật liệu Halosyt biến tính



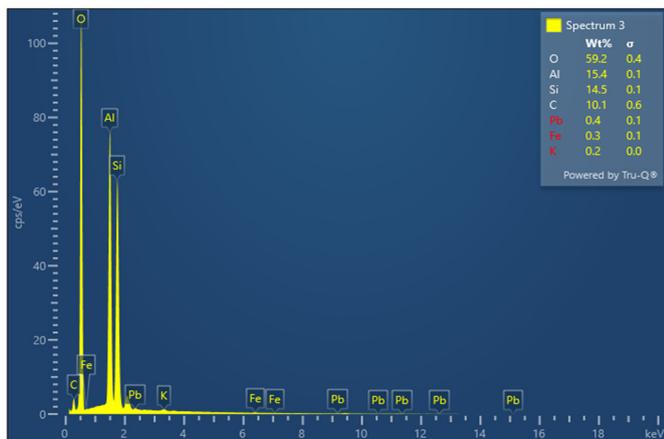
Hình 1. Hình ảnh SEM của vật liệu HAL-BT

Hình ảnh SEM mẫu HAL-BT (hình 1) cho thấy vật liệu HAL vẫn giữ nguyên hình thái học dạng ống thuận lợi cho sự hấp

phụ của vật liệu halloysit ban đầu [16]. Kết quả EDS phân tích thành phần vật liệu (hình 2a) cho thấy sự có mặt của Al, Si và O với tỉ lệ tương ứng với công thức hóa học của khoáng vật nhóm kaolin ($Al_2Si_2O_5(OH)_4.nH_2O$). Các kết quả cho thấy thành phần và hình thái học của halloysit không bị thay đổi sau quá trình biến tính bằng H_2O_2 , do đó khả năng hấp phụ của HAL-BT được duy trì bởi các nhóm hydroxyl trong thành phần và do cấu trúc ống. Kết quả EDS mẫu vật liệu HAL-BT sau khi hấp phụ Pb^{2+} đã có mặt pic của Pb trên phổ (hình 2b), tuy nhiên do khối lượng Pb được hấp phụ nhỏ hơn so với khối lượng của vật liệu nên pic của Pb là rất nhỏ so với các pic của các nguyên tố Al, O, Si của vật liệu.



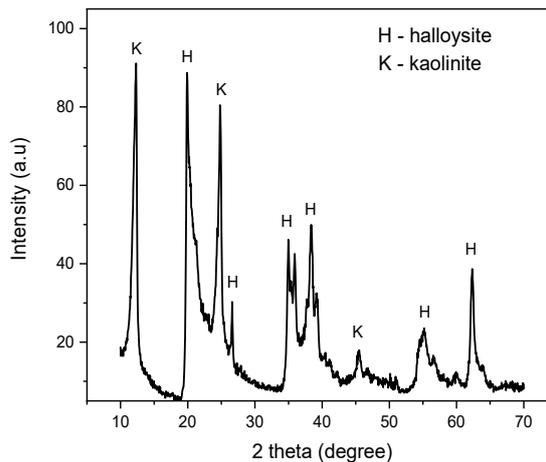
a)



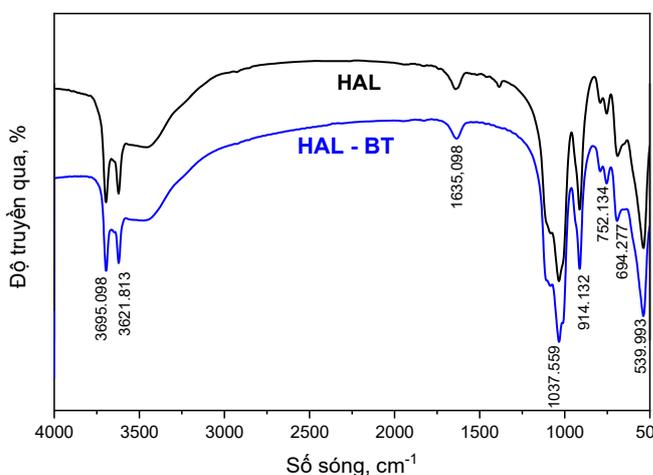
b)

Hình 2. Kết quả EDS của vật liệu HAL-BT ban đầu (a) và sau khi hấp phụ Pb^{2+} (b)

Kết quả đo XDR của HAL-BT được thể hiện trên hình 3. Các đỉnh đặc trưng của halloysite - 7 angstrom thể hiện các vị trí góc nhiễu xạ $19,9^\circ; 26,6^\circ; 35,0^\circ$ và $38,4^\circ$ tương ứng với cấu trúc ba nghiêng $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ (thẻ chuẩn 00-29-1487). Các đỉnh tại các vị trí góc nhiễu xạ $26,6^\circ; 54,8^\circ$ và $62,3^\circ$ tương ứng với cấu trúc lục giác $Al_2Si_2O_5(OH)_4.2H_2O$ (thẻ chuẩn 00-29-1489) đại diện cho halloysite - 10 angstrom. Ngoài ra, các đỉnh nhiễu xạ ở các góc $12,3^\circ; 24,8^\circ$ và $45,5^\circ$ được gán cho cấu trúc đơn tà $Na_0,3Al_4Si_6O_{15}(OH)_6.4H_2O$ của kaolinit (thẻ chuẩn 00-029-1490) [16]. Các đỉnh phản xạ ở các góc nhiễu xạ $2\theta = 12,3; 19,9; 26,6; 35,0; 39,9$ và $38,4$ tương ứng với các mặt phẳng phản xạ (001), (110), (002), (122), (200) và (131) [17].



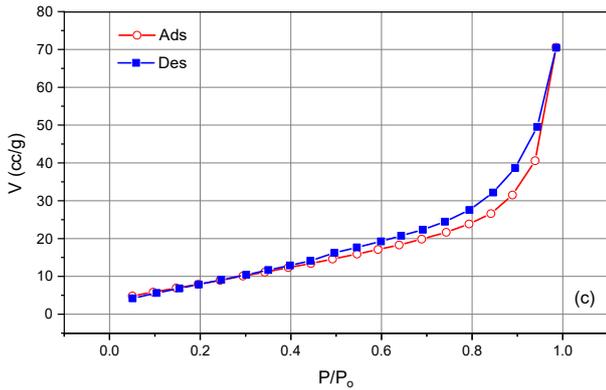
Hình 3. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu HAL-BT



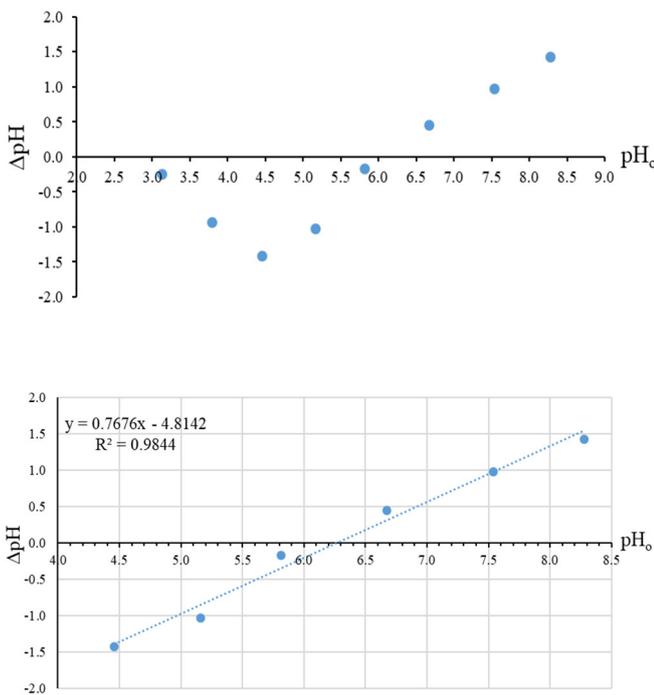
Hình 4. Phổ FT-IR của vật liệu HAL và HAL-BT

Kết quả phân tích FT-IR của HAL-BT được thể hiện ở Hình 4 cho thấy cấu trúc phân tử của HAL-BT không bị thay đổi so với HAL. Các đỉnh đặc trưng của khoáng sét ở $3695cm^{-1}$, $3621cm^{-1}$ được gán cho dao động kéo dài của các nhóm hydroxyl ở bề mặt bên trong ống. Pic ở $1635cm^{-1}$ đặc trưng cho sự dao động của nước trong cấu trúc [17]. Dải hấp thụ ở bước sóng $1037cm^{-1}$ tương ứng với biến dạng kéo dài của liên kết Si-O. Dải hấp thụ ở $914cm^{-1}$ được gán với dao động uốn của liên kết Al-OH. Dải hấp thụ quan sát được ở $752cm^{-1}$ tương ứng với biến dạng giãn của Al-O-OH. Dải hấp thụ tại $694cm^{-1}$ tương ứng với dao động kéo dài của liên kết Si-O và vị trí $539 cm^{-1}$ tương ứng sự dao động Al-O-Si [16].

Đường hấp phụ đẳng nhiệt N_2 (hình 5) là đường hấp phụ loại IV, H3 cho thấy HAL-BT có diện tích bề mặt riêng là $35,063m^2/g$, thể tích lỗ rỗng là $0,103618cc/g$, đường kính lỗ rỗng là $1,88457nm$, cao hơn so với vật liệu HAL ban đầu với các giá trị tương ứng là: $30,93m^2/g$; $0,115524cc/g$; $1,68984nm$ [18]. Như vậy, diện tích bề mặt riêng và đường kính lỗ rỗng của halloysit có tăng lên sau khi biến tính, tuy nhiên sự tăng này không nhiều nên hình thái học bề mặt và cấu trúc của halloysit biến đổi không đáng kể sau khi biến tính bằng H_2O_2 .



Hình 5. Giản đồ hấp phụ đẳng nhiệt N₂ của vật liệu HAL-BT



Hình 6. Kết quả xác định pH_{PZC} của vật liệu HAL-BT

Giá trị pH_{PZC} của vật liệu HAL-BT được khảo sát với pH₀ thay đổi trong khoảng 3,13 - 8,28. Kết quả thực nghiệm được thể hiện trên hình 6 cho thấy vật liệu HAL-BT có pH_{PZC} = 6,27. Điều đó cho thấy, với dung dịch có pH < 6,27 thì bề mặt HAL-BT tích điện dương và pH > 6,27 thì bề mặt HAL-BT tích điện âm.

3.2. Khả năng hấp phụ Pb²⁺ của vật liệu halloysit biến tính

Bảng 2. Khả năng hấp phụ Pb²⁺ của vật liệu HAL-BT so với halloysit

| H (%) | q (mg/g) | Vật liệu | TLTK |
|-------|----------|-----------|-------------|
| 72,0 | 2,88 | Halloysit | [19] |
| 82,0 | 3,28 | HAL-BT | Bài báo này |

Khả năng hấp phụ của HAL-BT đối với Pb²⁺ được thể hiện trên bảng 2. Kết quả bảng 2 cho thấy, HAL-BT có khả năng hấp phụ Pb²⁺ tốt hơn so với vật liệu halloysit ở cùng điều kiện thực nghiệm. Vật liệu sau hấp phụ có thể được giải hấp phụ

kim loại nặng Pb và tái sinh vật liệu bằng phương pháp điện phân trong dung dịch HCl 0,01M.

4. KẾT LUẬN

Vật liệu halloysit mỏ Láng Đồng, vùng Thạch Khoán, Phú Thọ sau khi được xử lý sơ bộ đã được biến tính một cách đơn giản bằng H₂O₂ 10%. Vật liệu sau biến tính vẫn có cấu trúc hình ống đặc trưng của halloysit đồng thời diện tích bề mặt lớn hơn so với vật liệu ban đầu giúp tăng cường khả năng hấp phụ đối với các ion kim loại nặng Pb²⁺. Kết quả khảo sát khả năng hấp phụ Pb²⁺ của halloysit biến tính cho thấy ở điều kiện khảo sát: 0,5g halloysit/50mL dung dịch Pb²⁺ có nồng độ ban đầu 40mg/L, thời gian tiếp xúc 50 phút ở pH ban đầu 5,31, nhiệt độ phòng (25°C), hiệu suất và dung lượng hấp phụ tương ứng đạt 82% và 3,28mg/g, cao hơn so với vật liệu halloysit ban đầu với các giá trị tương ứng là 72% và 2,88mg/g.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. H. Ali, E. Khan, I. Ilahi, "Environmental Chemistry and Ecotoxicology of Hazardous Heavy Metals: Environmental Persistence, Toxicity, and Bioaccumulation," *Journal of Chemistry*, 2019, 1-14, 2019. <https://doi.org/10.1155/2019/6730305>

[2]. J. H. Zu, X. H. Pan, X. D. Su, F. Liu, J. Zhan, Y. He, J. G. Chen, "Adsorption of Zn(II) from aqueous solution and separation of zinc isotopes by displacement chromatography using chelating adsorbent," *J Chromatogr A*, 1717, 464659, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2024.464659>

[3]. Z. Wang, H. Tian, J. Liu, J. Wang, Q. Lu, L. Xie, "Cd(II) adsorption on earth-abundant serpentine in aqueous environment: Role of interfacial ion specificity," *Environ Pollut*, 331(Pt 2), 121845, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121845>

[4]. A. H. Jagaba, S. R. M. Kutty, S. G. Khaw, C. L. Lai, M. H. Isa, L. Baloo, I. M. Lawal, S. Abubakar, I. Umaru, Z. U. Zango, "Derived hybrid biosorbent for zinc(II) removal from aqueous solution by continuous-flow activated sludge system," *Journal of Water Process Engineering*, 34, 101152, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101152>

[5]. A. M. Badran, U. Utra, N. S. Yusoff, M. J. K. Bashir, "Advancements in Adsorption Techniques for Sustainable Water Purification: A Focus on Lead Removal," *Separations*, 10(11), 565, 2023. <https://doi.org/10.3390/separations10110565>

[6]. N. A. A. Qasem, R. H. Mohammed, D. U. Lawal, "Removal of heavy metal ions from wastewater: a comprehensive and critical review," *NPJ Clean Water* 4(1), 36, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00127-0>

[7]. P. Praipipat, P. Ngamsurach, K. Pratumkaew, "The synthesis, characterizations, and lead adsorption studies of chicken eggshell powder and chicken eggshell powder-doped iron (III) oxide-hydroxide," *Arabian Journal of Chemistry*, 16(5) 104640, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104640>

[8]. X. Peng, J. Yan, C. He, R. Liu, Y. Liu, "Sustainable triethylenetetramine modified sulfonated graphene oxide/chitosan composite for enhanced adsorption of Pb(II), Cd(II), and Ni(II) ions," *Int J Biol Macromol*, 261(Pt 2), 129741, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129741>

[9]. Y. Wang, J. Li, L. Xu, D. Wu, Q. Li, Y. Ai, W. Liu, D. Li, Y. Zhou, B. Zhang, N. Guo, Y. Tao, Y. Zhang, "EDTA functionalized Mg/Al hydroxides modified biochar

for Pb(II) and Cd(II) removal: Adsorption performance and mechanism," *Separation and Purification Technology*, 335, 126199, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.126199>

[10]. J. Zanin Lima, I. Monici Raimondi Nauerth, E. Ferreira da Silva, O. Jose Pejon, V. Guimaraes Silvestre Rodrigues, "Competitive sorption and desorption of cadmium, lead, and zinc onto peat, compost, and biochar," *J Environ Manage*, 344, 118515, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118515>

[11]. F.W. Mahatmanti, J. Jumaeri, E. Kusumastuti, "The adsorption behavior of individual Cu(II), Zn(II), and Cd(II) ions over a CuO-modified ceramic membrane synthesized from fly ash," *Journal of King Saud University - Science*, 35(8), 102866, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102866>

[12]. Y. Mao, X. Zhang, J. Bai, X. Li, C. Wang, J. Cai, Y. Li, W. Liang, S. Chang, Y. Jiang, "Utilization of oyster shell nano-hydroxyapatite modified red-brick waste as an environmentally friendly composite filler for Cd(II) and Cr(VI) adsorption: Preparation, property and mechanism," *Journal of Water Process Engineering*, 59, 104955, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.104955>

[13]. X. Wang, L. Meng, M. Hu, L. Gao, B. Lian, "The competitive and selective adsorption of heavy metals by struvite in the Pb(II)-Cd(II)-Zn(II) composite system and its environmental significance," *Water Res*, 250, 121087, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.121087>

[14]. A. Zhang, J. Liu, Y. Yang, Y. Yu, D. Wu, "Experimental and theoretical studies on the adsorption performance of lead by thermal pre-activation and phosphate modified kaolin sorbent," *Chemical Engineering Journal*, 451, 138762, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.138762>

[15]. S. Mao, M. Gao, "Functional organoclays for removal of heavy metal ions from water: A review," *Journal of Molecular Liquids*, 334, 116143, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2021.116143>

[16]. E. K. Lee, W.J. Koros, "Membranes, Synthetic, Applications," in: R.A. Meyers (Ed.), *Encyclopedia of Physical Science and Technology*, Academic Press, New York, 279-344, 2001.

[17]. N. S. Aljohani, Y. N. Kamil, R. K. Al-Farawati, S. Saad Alelyani, M. I Orif, Y. A. Shaban, S. R. Al-Mhyawi, E. H. Aljuhani, M. Abdel Salam, "The effective adsorption of arsenic from polluted water using modified Halloysite nanoclay," *Arabian Journal of Chemistry*, 16(5), 104652, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104652>

[18]. T. P. T. Le, T. K. T. Nguyen, D. T. Le, "Adsorption of Ce³⁺ ions using a one-dimensional nanomaterial with natural halloysite-kaolinite dual components," *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 10(11), 34-41, 2023. <https://doi.org/10.22161/ijaers.1011.4>

[19]. B. H. Bui, T. T. T. Nguyen, H. T. Vo, D. T. Le, D. T. Nguyen, S. V. Phan, A. M. Do, "Removal of Pb²⁺ from Aqueous Solution using Thach Khoan Kaolin from Phu Tho Province," *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, 38, 2, 71-79, 2022. <https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuess.4750>

AUTHORS INFORMATION

**Le Thi Phuong Thao^{1,2,3}, Vu Kim Thu¹, Nguyen The Huu⁴,
Le Thi Duyen^{1,2,3,*}**

¹Faculty of Basic Science, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

²HiTech-CEAE, Center for Excellence in Analysis and Experiment, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

³BSASD, Faculty of Basic Science, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

⁴Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam