

Loại bỏ arsenic khỏi nước bằng γ -FeOOH và α -FeOOH nano

Nguyễn Đình Trung

Tóm tắt— γ -FeOOH và α -FeOOH dạng nano dùng làm vật liệu hấp phụ và loại bỏ As(V) và As(III) khỏi dung dịch nước, từ phổ XRD và ảnh chụp SEM đã xác định được các dạng γ -FeOOH và α -FeOOH là vật liệu nano có kích thước 30 nm. Tại pH = 6,0 dung lượng hấp phụ cực đại của α -FeOOH đối với As(V) và As(III) lần lượt là 77, 28 và 78,65 mg/g, còn của γ -FeOOH lần lượt là 63,75 và 88,99 mg/g một cách tương ứng. Các loại vật liệu này có khả năng loại bỏ lên đến 97–98% đối với As(III), As(V) ra khỏi dung dịch nghiên cứu có nồng độ 0,05 mg/L và lượng chất hấp phụ 1g/L, trong khoảng thời gian 5–15 phút. Vậy γ -FeOOH và α -FeOOH, là loại vật liệu tiềm năng trong xử lý nước ngầm nhiễm arsenic.

Từ khóa—loại bỏ arsenic; γ -FeOOH, α -FeOOH, nano

1 GIỚI THIỆU

Trong tự nhiên, ô nhiễm arsenic trong nước ngầm có thể đe dọa nghiêm trọng đến sức khỏe cộng đồng, Arsenic được chứng minh là có liên quan tới sự gia tăng tỉ lệ các bệnh ung thư ở da, bàng quang, gan và phổi tại các khu vực có ô nhiễm [1- 3]. Arsenic tồn tại trong nước ngầm phổ biến ở 2 dạng vô cơ và hữu cơ, dạng vô cơ của arsenic có độc tính cao hơn dạng hữu cơ [4], Ngoài ra, As(III) có độc tính cao hơn As(V) đồng thời nó cũng khó bị loại bỏ hoàn toàn khỏi nước ngầm [5, 6]. Khi nước ngầm bị ô nhiễm arsenic là vấn đề phổ biến, để xử lý và loại bỏ arsenic ra khỏi nước ngầm, ngày nay có nhiều phương pháp được nghiên cứu như hấp phụ [7], trao đổi ion [8], thẩm thấu ngược [9], keo tụ [10] và xử lý sinh học [11]. Trong số đó, phương pháp hấp phụ được cho là phương pháp hiệu quả và kinh tế nhất. Ngày nay nhiều loại vật liệu hấp phụ đã được nghiên cứu để

loại bỏ arsenic như các vật liệu hấp phụ sinh học, các khoáng oxide, than hoạt tính và các loại nhựa polymer [12].

Cả hai dạng As(III) và As(V) bị hấp phụ rất mạnh bởi các vật liệu nano (là các oxide của kim loại) do hấp dung lớn của các vật liệu nano đối với arsenic, nano oxide sắt là vật liệu dễ điều chế đồng thời nó có tính năng hấp phụ arsenic rất tốt, có nhiều công trình nghiên cứu về tính chất hấp phụ của arsenic, theo các công trình nghiên cứu của Tang và các cộng sự (2011) thì hấp dung tối đa của α -Fe₂O₃ đối với As(III) là 95mg/g, đối với As(V) là 47mg/g [13]. Theo công trình nghiên cứu của S. R. Chowdhury và cộng sự (2010) hấp dung của hỗn hợp nano (Fe₃O₄ - α -Fe₂O₃) đối với As(III) và As(V) là 80 μ mol/g [14]. Công trình nghiên cứu của M. Mosafery và các cộng sự (2014) cho thấy hấp dung của nano sắt kim loại đối với As(III) là 12,2 mg/g và đối với As(V) là 14 mg/g [15]. Đối với γ -FeOOH có hấp dung cực đại đối với As(V) và As(III) lần lượt là 63,75 và 88,99 mg/g một cách tương ứng, cao hơn so với γ -Fe₂O₃ và α -Fe₂O₃ [16]. Tuy nhiên, nhóm công trình này chỉ dừng lại ở chỗ nghiên cứu tính chất hấp phụ của vật liệu. Theo quy chuẩn QCVN 01:2009/BYT về chất lượng nước phục vụ ăn uống chỉ cho phép hàm lượng arsenic < 0,01 mg/L, vì vậy vấn đề đặt ra là làm thế nào loại bỏ hoàn toàn arsenic khỏi nước ngầm. Xuất phát từ những vấn đề trên, trong khuôn khổ bài báo này chúng tôi tập trung nghiên cứu khả năng loại bỏ arsenic khỏi dung dịch nước bằng vật liệu hấp phụ γ -FeOOH và α -FeOOH dạng nano.

2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Dung dịch chuẩn gốc As(V) và As(III) 1000 mg/L (Merck), dung dịch sử dụng cho nghiên cứu As(V) và As(III) được điều chế từ muối Na₂HAsO₄.7H₂O và As₂O₃ (Merk), HNO₃ (0,01–0,5 N) và NaOH (0,01–1N) được dùng để

Ngày nhận bản thảo 20-03-2017; Ngày chấp nhận đăng 06-04-2017; Ngày đăng 30-8-2018.

Nguyễn Đình Trung – Trường Đại học Đà Lạt
*Email: trungnd@dlu.edu.vn

chỉnh pH khi cần thiết, Na_2CO_3 , NH_4OH , $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (P,A) Trung Quốc.

Xác định arsenic trong dung dịch bằng thiết bị AA 7000 - HVG1 Shimadzu, phân tích, xử lý số liệu, vẽ đồ thị bằng phần mềm Originlab 8.5.1.

Điều chế các oxide kim loại dạng nano (γ -FeOOH, α -FeOOH) được thực hiện tại phòng thí nghiệm Viện Nghiên cứu Môi trường trường Đại học Đà Lạt [17, 18].

Điều chế γ -FeOOH

Hòa tan 12g $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ trong 300ml nước cất (lọc qua giấy lọc nếu có kết tủa), sục khí nitrogen 10 phút để đuổi sạch oxy không khí có trong dung dịch, chỉnh pH của hệ phản ứng đến giá trị 6,5–6,8 có kết tủa màu xanh đen.

Dùng NH_4OH hay NaOH (1N) từ thiết bị nhỏ giọt để ổn định pH của hệ thống 6,5-6,8 trong suốt quá trình vừa sục khí tốc độ dòng 2L/phút, vừa khuấy tốc độ 1200 vòng/phút nhiệt phản ứng 25 °C. Tủa màu xanh đen trong bình phản ứng chuyển sang màu vàng cam sau thời gian phản ứng, kết thúc quá trình phản ứng trong khoảng 20 phút, ly tâm 10 phút tốc độ 10000 vòng/phút, rửa sản phẩm (γ -FeOOH) dùng cho nghiên cứu tiếp theo.

Điều chế α -FeOOH: Hòa tan 3g $\text{FeCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ trong 300ml nước cất (lọc qua giấy lọc nếu có kết tủa) sau đó thêm vào bình phản ứng 33ml dung dịch NaHCO_3 1N, pH 7,5 trong hệ phản ứng được duy trì trong suốt quá trình vừa sục khí với tốc độ dòng 2L /phút, vừa khuấy tốc độ 1200 vòng/phút nhiệt độ phản ứng 25°C, phản ứng kết thúc sau 30 phút kết tủa màu xanh đen chuyển thành màu vàng lợt, ly tâm 10 phút tốc độ 10000 vòng/phút, rửa sản phẩm α -FeOOH) dùng cho nghiên cứu tiếp theo.

Dung dịch nghiên cứu As(V) và As(III) (được pha từ các muối $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ và As_2O_3) theo các dãy nồng độ từ 0,01- 0,05 mg/L. Điều kiện nghiên cứu, nhiệt độ 25 °C, pH=6,0.

Xác định phổ XRD của vật liệu được chụp trên thiết bị nhiễu xạ Scintag-XDS-2000 với bước sóng Cu K α ($\lambda=1,54059$) và góc độ quét 2 θ ở 44,9 °C. Hình thái của vật liệu (SEM) được chụp trên máy Hitachi H-7500.

Nghiên cứu hấp phụ cực đại của từng vật liệu

Để xác định dung lượng hấp phụ cực đại của từng loại vật liệu nghiên cứu trong điều kiện pH 6.0 đối với arsenic (vì nguồn nước ngầm tại Lâm Đồng có pH trong khoảng 5,8–7,5) được tiến hành như sau:

Xác định dung lượng hấp phụ cực đại: Cân 0,1g chất hấp phụ cho vào bình tam giác 250 ml thêm vào đó 100 ml dung dịch As(V) hay As(III) với dãy nồng độ từ 40 đến 1000 mg/L tùy theo điều kiện nghiên cứu. Nồng độ các ion trong thiết bị nghiên cứu không được điều chỉnh trong suốt quá trình hấp phụ. Bình hấp phụ được đậy kín và lắc trên máy lắc (IKA HS 260 basic USA) với tốc độ 180 vòng/ phút, liên tục 24 giờ để đảm bảo quá trình hấp phụ đạt trạng thái cân bằng, nhiệt độ thực hiện quá trình hấp phụ ở nhiệt độ phòng (25°C), pH được duy trì ở pH= 6,0.

Hàm lượng arsenic bị hấp phụ được tính theo công thức sau:

$$q = \frac{V(C_i - C_e)}{B}$$

Trong đó q là hàm lượng arsenic bị hấp phụ, hay dung lượng hấp phụ của vật liệu (mg/g chất hấp phụ); C_i và C_e là nồng độ kim loại trước và sau khi hấp phụ tương ứng, V thể tích dung dịch, B là khối lượng của vật liệu hấp phụ được sử dụng.

Nghiên cứu mô hình hấp phụ

Để nghiên cứu mô hình hấp phụ đẳng nhiệt của các vật liệu hấp phụ, điều kiện được thực hiện ở 25°C và pH=6,0 và một dãy nồng độ đầu của As(III) và As(V) (40–1000 mg/L) theo quy trình mô tả ở trên.

Phương trình hấp phụ Langmuir

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

Trong đó q_e là lượng As(V) và As(III) bị hấp phụ bởi vật liệu (mg/g), q_m dung lượng hấp phụ cực đại của As(V) và As(III) C_e nồng độ đầu của 1 quá trình hấp phụ đạt cân bằng (mg/L) b hằng số tỷ lệ: hấp phụ/giải hấp.

Phương trình hấp phụ Freunlich

$$qe = KC_e^{1/n}$$

Với q_e là lượng As(V) và As(III) bị hấp phụ bởi vật liệu (mg/g), K , n là hằng số hấp phụ khi đạt trạng thái cân bằng.

Xác định hàm lượng arsenic bị loại khỏi dung dịch

Cân lượng chất hấp phụ theo dãy khối lượng 0,1-1g chất hấp phụ cho vào bình tam giác 250ml thêm vào đó 100 ml dung dịch As(V) hay As(III) với nồng độ 0,05 mg/L (50 ppb). Bình hấp phụ được đậy kín và lắc trên máy lắc (IKA HS 260 basic USA) với tốc độ 180 vòng/ phút, liên tục 24 giờ để đảm bảo quá trình hấp phụ đạt trạng thái cân bằng, nhiệt độ thực hiện quá trình hấp phụ ở nhiệt độ phòng (25°C), pH= 6,0.

pH ban đầu đã được điều chỉnh đến giá trị pH=6,0 bằng dung dịch HNO₃ hay NaOH (0,01N) và sau đó được kiểm tra và điều chỉnh sau một khoảng thời gian là 2 giờ. Sau 24 h phản ứng, tất cả các mẫu được ly tâm 5 phút (universal 320-Germany) ở 10.000 vòng/ phút sau đó được lọc qua màng lọc 0,45 μm và dịch lọc được phân tích arsenic bằng AA 7000 - HVG1 Shimadzu theo TCVN 6626:2000. Quy trình này được thực hiện để nghiên cứu khả năng loại bỏ arsenic ra khỏi dung dịch nước. Phần trăm hàm lượng arsenic bị loại khỏi dung dịch được tính bởi sự thay đổi nồng

độ ban đầu và hàm lượng còn lại của arsenic trong dung dịch theo công thức:

$$(\%)C_1 = \frac{C_d - C_s}{C_d} \times 100\%$$

Trong đó: % C_1 phần trăm nồng độ arsenic bị loại khỏi dung dịch; C_d nồng độ arsenic ban đầu trong dung dịch; C_s nồng độ arsenic sau quá trình hấp phụ.

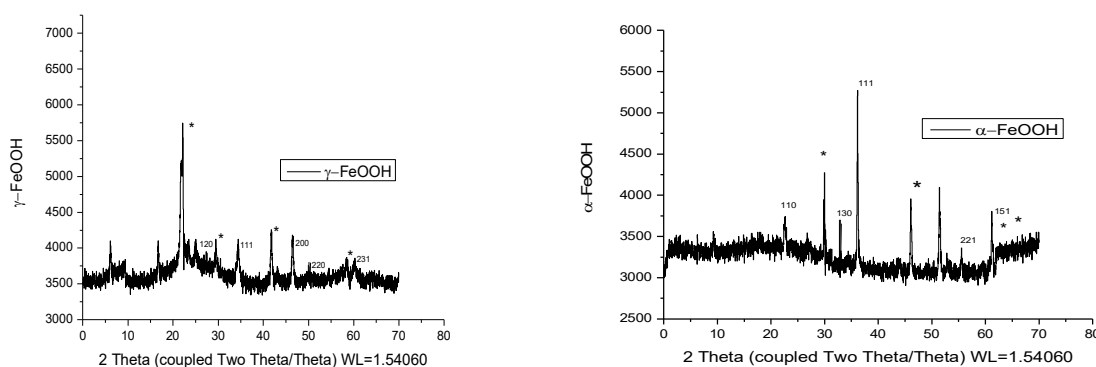
Khi phân tích trên mẫu thật (theo phương pháp thêm chuẩn) sau quá trình hấp phụ, sau công đoạn ly tâm lọc, lấy 9ml dung dịch có nồng độ C_s cho vào bình định mức 10ml sau đó cho thêm vào 1ml dung dịch chuẩn với nồng độ 0,01 mg/L, lắc đều, tiến hành đo theo TCVN 6626:2000.

3 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

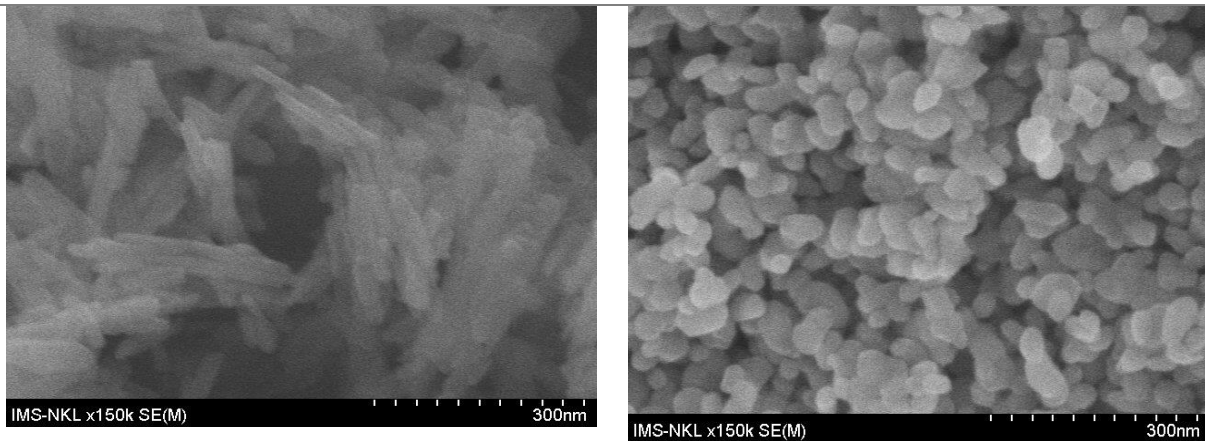
Tính chất vật liệu

Xác định tính chất vật liệu dùng cho nghiên cứu các phổ XRD và SEM của các loại vật liệu được thể hiện ở Hình 1 và 2.

Kết quả nghiên cứu từ Hình 1 và 2 cho thấy các sản phẩm tổng hợp được là dạng nano kích thước trung bình 30nm. Từ các phổ XRD cho thấy khi tổng hợp các dạng FeOOH có lẫn tạp chất xuất hiện các pic (pick) tạp của γ -Fe₂O₃ khi tổng hợp γ -FeOOH và lẫn tạp α -Fe₂O₃ khi tổng hợp α -FeOOH tuy nhiên hàm lượng không lớn.



Hình 1. Phổ XRD của γ -FeOOH và α -FeOOH



(a) Ảnh SEM của γ -FeOOH

(b) Ảnh SEM của α -FeOOH

Hình 2. Ảnh SEM của γ -FeOOH (a) và α -FeOOH (b)

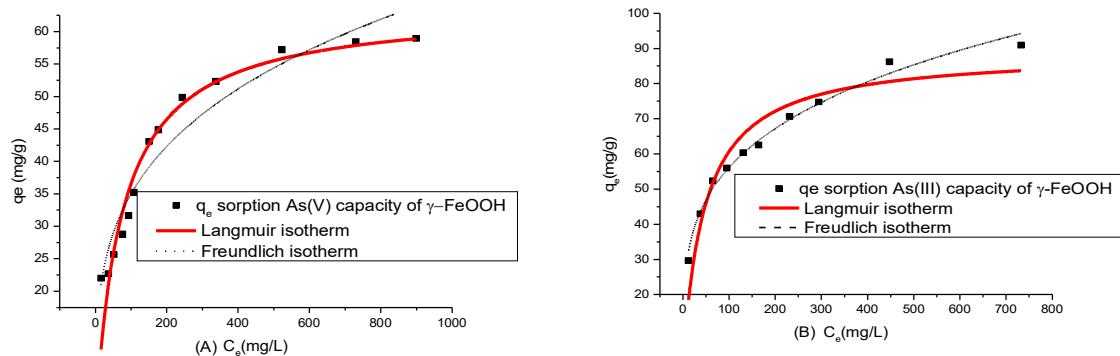
Hấp dung cực đại của các vật liệu

Từ số liệu thực nghiệm, dùng phần mềm Originlab 8.5.1 xử lý, phân tích số liệu, xây dựng đồ thị. Các phương trình hấp phụ đẳng nhiệt của các vật liệu hấp phụ γ -FeOOH, α -FeOOH đối với As(V) và As(III) được thể hiện trong Hình 3 và 4.

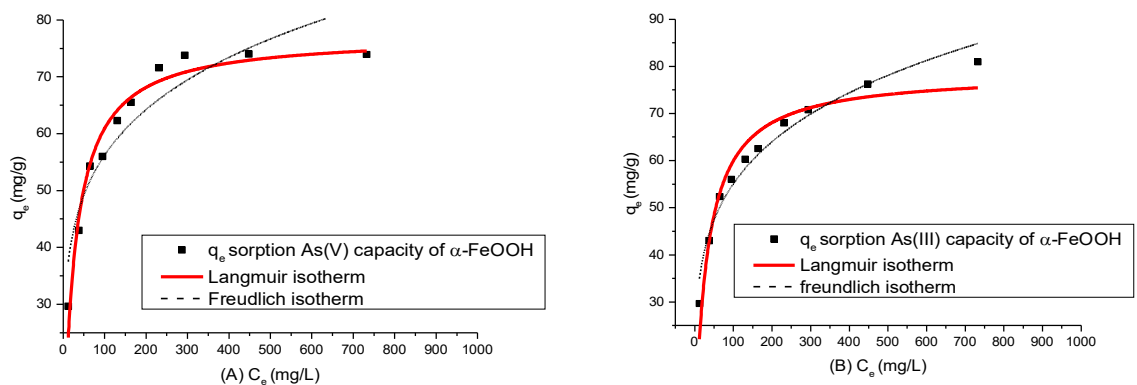
Qua kết quả nghiên cứu (Hình 3 và 4; Bảng 1) tính chất của quá trình hấp phụ của các vật liệu

γ -FeOOH và α -FeOOH, đối với As(V) và As(III) tuân theo mô hình hấp phụ Langmuir và Freundlich.

Dung lượng hấp phụ cực đại của α -FeOOH đối với As(V) và As(III) là 77,28 và 78,65 mg/g; còn của γ -FeOOH là 63,75 và 88,99 mg/g một cách tương ứng.



Hình 3. Mô hình hấp phụ Langmuir và Freundlich của As(V) (A) và của As(III) (B) lên chất hấp phụ γ -FeOOH



Hình 4. Mô hình hấp phụ Langmuir và Freundlich của As(V) (A) và của As(III) (B) lên chất hấp phụ α -FeOOH

Bảng 2. Phần trăm (%) hàm lượng arsenic bị loại ra khỏi dung dịch nghiên cứu bởi γ -FeOOH, α -FeOOH

γ -FeOOH			α -FeOOH		
Lượng cân (g)	% As (III) bị loại	% As (V) bị loại	Lượng cân (g)	% As(III) bị loại bỏ	% As (V) bị loại bỏ
0,1	97,25±0,02	98,33±0,02	0,1	97,19±0,03	97,79±0,04
0,2	97,25±0,02	98,33±0,02	0,2	97,23±0,01	97,78±0,04
0,3	97,24±0,03	98,32±0,03	0,3	97,23±0,01	97,72±0,01
0,4	97,23±0,03	98,31±0,03	0,4	97,21±0,02	97,81±0,02
0,5	97,25±0,01	98,34±0,02	0,5	97,24±0,01	97,81±0,01
0,6	97,24±0,01	98,34±0,01	0,6	97,24±0,01	97,80±0,02
0,7	97,23±0,02	98,30±0,03	0,7	97,22±0,02	97,82±0,01
0,8	97,24±0,01	98,33±0,01	0,8	97,23±0,02	97,83±0,01
0,9	97,25±0,01	98,31±0,02	0,9	97,23±0,02	97,82±0,02
1	97,24±0,02	98,31±0,03	1	97,22±0,02	97,80±0,03

Khi so sánh kết quả nghiên cứu và kết quả từ các công trình đã công bố, trên nền vật liệu hấp phụ arsenic là các ion kim loại như zirconium và titanium tại Bảng 3. Các muối của kim loại zirconium và titanium có khả năng loại arsenic ra khỏi dung dịch tuy nhiên phần trăm còn lại tương đối lớn, chỉ có titanium (IV) sulfate là có thể loại arsenic ra khỏi dung dịch đến 90%.

Trong kết quả nghiên cứu này, các loại vật liệu γ -FeOOH, α -FeOOH có kích thước nano, có quá trình tương tác hấp phụ với các ion của arsenic trong dung dịch thuận lợi hơn, diện tích bề mặt hấp phụ lớn hơn, cấu trúc tinh thể có thể thuận lợi trong việc hấp phụ loại bỏ các ion arsenic tự do trong dung dịch ở nồng độ thấp.

Bảng 3. So sánh khả năng loại bỏ arsenic bởi γ -FeOOH, α -FeOOH và các loại vật liệu khác

Loại vật liệu	Nồng độ ban đầu (mg/L)	pH nghiên cứu	Lượng chất hấp phụ (mg/L)	Arsenic bị loại khỏi dung dịch (%)	Tham khảo
Zirconium(IV) Chloride	0,05	7,5	2	As(V): 55% As(III): 47%	[19]
Titanium(III) Chloride	0,05	7,5	2	As(V): 75% As(III): 32%	[19]
Titanium(IV) Chloride	0,05	7,5	2	As(V): 55% As(III): 26%	[19]
Titanium(IV) Oxychloride	0,05	7,5	2	As(V): 37% As(III): 20%	[19]
Zirconium(IV) Oxychloride	0,05	7,5	2	As(V): 59% As(III): 8%	[19]
Ferric Sulfate	1,00	7,0	25	As(III): 80%	[20]
Titanium(IV) Sulfate	1,00	7,0	25	As(III): 90%	[20]
γ -FeOOH nano	0,05	6,0	1000	As(V): 98,3% As(III): 97,2%	Nghiên cứu này
α -FeOOH nano	0,05	6,0	1000	As(V): 97,8% As(III): 97,2%	Nghiên cứu này

Để có thể ứng dụng làm vật liệu xử lý nước nhiễm arsenic, loại vật liệu đó phải bền, dung lượng hấp phụ cực đại cao, có khả năng hấp phụ ở trạng thái mà nồng độ chất bị hấp phụ rất nhỏ, đồng thời quá trình hấp phụ diễn ra dễ dàng nhanh chóng.

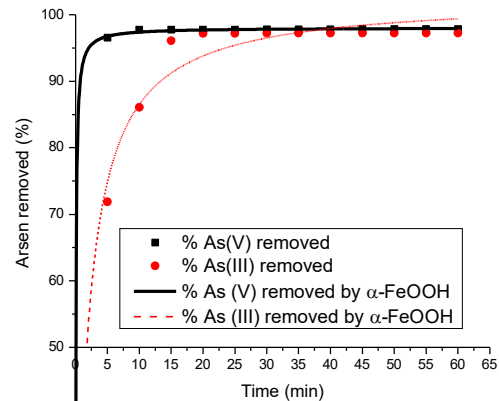
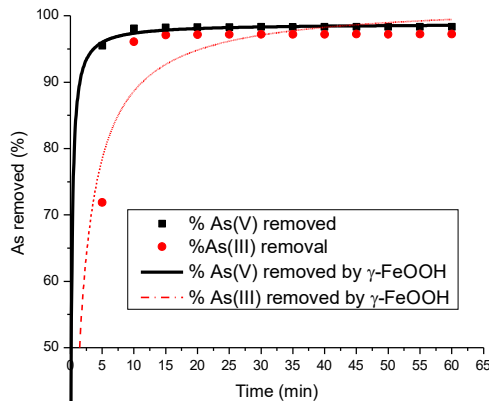
Phần trăm arsenic bị loại khỏi dung dịch theo thời gian

Nghiên cứu quá trình loại bỏ arsenic theo thời gian với nồng độ tương ứng 0,05mg/L, vật liệu hấp phụ được sử dụng 1g/L, thời gian khảo sát từ 0–60 phút. Kết quả nghiên cứu (Hình 6)

cho thấy As(V) bị loại khỏi dung dịch với thời gian ngắn. Trong vòng từ 5–10 phút đối với loại vật liệu hấp phụ là γ -FeOOH là 98%, còn đối với α -FeOOH là 97%, còn quá trình loại As(III) ra khỏi dung dịch mất nhiều thời gian hơn.

Hai loại vật liệu hấp phụ γ -FeOOH và α -FeOOH dạng nano, có dung lượng hấp phụ cực đại lớn đối với arsenic, có thể loại bỏ arsenic ở

nồng độ thấp ra khỏi dung dịch nước lên đến 97–98%, thời gian cần cho quá trình loại bỏ ngắn. Vậy γ -FeOOH và α -FeOOH là loại vật liệu tiềm năng trong xử lý nước ngầm nhiễm arsenic, tuy nhiên, để ứng dụng được trong công nghệ làm sạch nước thì chúng phải được gắn lên giá thể nào đó vì kích thước của chúng quá bé.



Hình 6. Quá trình loại arsenic ra khỏi dung dịch bởi γ -FeOOH, α -FeOOH theo thời gian

4 KẾT LUẬN

Dạng vật liệu γ -FeOOH và α -FeOOH có kích thước trung bình 30nm đã được tổng hợp, dung lượng hấp phụ cực đại của α -FeOOH đối với As(V) và As(III) là 77,28 và 78,65 mg/g; còn của γ -FeOOH là 63,75 và 88,99 mg/g một cách tương ứng. Có khả năng loại bỏ As(V) và As(III) ra khỏi dung dịch lên đến 98% đối với dung dịch nghiên cứu có nồng độ 0,05 mg/L và lượng chất hấp phụ 1g/L, trong khoảng thời gian 5–15 phút. Vậy γ -FeOOH và α -FeOOH, là loại vật liệu tiềm năng trong xử lý nước ngầm nhiễm arsenic.

Lời cảm ơn: Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Sở KH&CN tỉnh Lâm đồng cấp kinh phí giai đoạn 2014-2016 và Bộ GD&ĐT cấp kinh phí giai đoạn 2016-2017 cho nghiên cứu này, cảm ơn Trường Đại học Đà Lạt tạo điều kiện để chúng tôi thực hiện đề tài nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.Y. Tsai, H.Y. Chou, H.W. The, C.M. Chen, C.J. Chen, "The effects of chronic arsenic exposure from drinking water on the neurobehavioral development in adolescence", *Neuro Toxicology*, vol. 24, pp. 747–753, 2003.
- [2] C.H. Tseng, C.K. Chong, C.P. Tseng, Y.M. Hues, H.Y.

Chiou, C.C. Tseng, C.J. Chen, "Long term arsenic exposure and ischemic heart disease in arseniasis hyperendemic villages in Taiwan", *Toxicology Letters*, vol. 137, pp. 15–21, 2003.

- [3] C.H. Tseng, T.Y. Tai, C.K. Chong, C.P. Tseng, M.S. Lai, B.J. Lin, H.Y. Chiou, Y.M. Hsueh, K.H. Hsu, C.J. Chen, "Long term arsenic exposure and incidence of non-insulin-dependent diabetes mellitus: a cohort study in arseniasis-hyperendemic villages in Taiwan", *Environmental Health Perspectives*, vol. 108, pp. 847–851, 2000.
- [4] R.A. Yokel, S.M. Lasley, D.C. Dorman, "The speciation of metals in mammals influences their toxicokinetics and toxicodynamics and therefore human health risk assessment", *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, Critical Reviews*, vol. 9, no. 1, pp. 63–85, 2006.
- [5] F.C. Knowles, A.A. Benson, "The Biochemistry of Arsenic", *Trends in Biochemical Sciences*, vol. 8, no. 5, pp. 178–180, 1983.
- [6] N.E. Korte, Q. Fernando, "A review of arsenic (III) in groundwater", *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 1–39, 1991.
- [7] H. Zhu, Y. Jia, X. Xu, H. Wang, "Removal of arsenic from water by supported nano zero-valent iron on activated carbon", *Journal of Hazardous Materials*, vol. 172, no. 2–3, pp. 1591–1596, 2009.
- [8] J. Kim, M.M. Benjamin, "Modeling a novel ion exchange process for arsenic and nitrate removal", *Water Research*, vol. 38, no. 8, pp. 2053–2062, 2004.
- [9] I. Akin, G. Arslan, A. Tor, Y. Cengeloglu, M. Ersoz, "Removal of arsenate [As(V)] and arsenite [As(III)] from

- water by SWHR and BW-30 reverse osmosis”, *Desalination*, vol. 281, pp. 88–92, 2011.
- [10] A. Zouboulis, I. Katsoyiannis, “Removal of arsenates from contaminated water by coagulation-direct filtration”, *Separation Science and Technology*, vol. 37, no. 12, pp. 2859–2873, 2002.
- [11] E.O. Omoregie, R.M. Couture, P. Van Cappellen, C.L. Corkhill, J.M. Charnock, “Arsenic bioremediation by biogenic iron oxides and sulfides”, *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 79, no. 14, 2013.
- [12] L. Dambies, T. Vincent, E. Guibal, “Treatment of arsenic-containing solutions using chitosan derivatives: uptake mechanism and sorption performances”, *Water Research*, vol. 36, no. 15, pp. 3699–3710, 2002.
- [13] W. Tang, Q. Li, S. Gao, J.K. Shang, “Arsenic (III,V) removal from aqueous solution by ultrafine α -Fe₂O₃ nanoparticles synthesized from solvent thermal method”, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 192, pp. 131–138, 2011.
- [14] S.R. Chowdhury, “Arsenic and chromium removal by mixed magnetite-maghemite nanoparticles and effect of phosphate on removal”, *Journal of Environmental Management*, vol. 91, no. 11, pp. 2238–2247, 2010.
- [15] M. Mohammad, N. Sepide, K. Alireza, N. Simin, A.H. Ahmad, “Removal of Arsenic (III, V) from aqueous solution by nanoscale zero-valent iron stabilized with starch and carboxymethyl cellulose”, *J. Environmental Health Science & Engineering*, vol. 12, no.74, pp. 2–10, 2014.
- [16] N.D. Trung, T.D. Phuong, “Adsorption of As(V) and As(III) from aqueous solution by lepidocrocite (γ -FeOOH) nanoparticle”, *Science & Technology Development*, vol. 19, no. T5, pp. 268–278, 2016.
- [17] U. Schwertmann, R.M. Cornell, *The iron oxides: structure, properties, reactions, occurrences and uses*. Wiley-VCH, Weinheim, 2003.
- [18] R. Lee Penn, J.J. Erbs, D.M. Gulliver, “Controlled growth of alpha-FeOOH nanorods by exploiting-oriented aggregation”, *Journal of Crystal Growth*, vol. 293, no. 1, pp. 1–4, 2006.
- [19] D. Lakshmanan, D. Clifford, G. Samanta, “Arsenic removal by coagulation: With aluminum, iron, titanium, and zirconium”, *American Water Works Association*, vol. 100, no. pp. 76–88, 2008.
- [20] Y. Sun, G. Zhou, X. Xiong, X. Guan, L. Li, H. Bao, “Enhanced arsenite removal from water by Ti(SO₄)₂ coagulation”, *Water Research*, vol. 47, pp. 4340–4348, 2013.

Arsenic removal from water by γ -FeOOH, α -FeOOH nanoparticles

Nguyen Dinh Trung

Da Lat University

Corresponding author: trungnd@dlu.edu.vn

Received: 20-3-2017; Accepted: 06-4-2017; Published: 30-8-2018

Abstract— γ -FeOOH and α -FeOOH nanoparticle adsorbents for As(V) and As(III) removal were evident from the XRD diagrams, where the oxides appeared in the form γ -FeOOH and α -FeOOH. The SEM image of the prepared samples revealed that the nanoparticles diameter was about 30 nm. The maximum adsorption capacities of α -FeOOH for As(V) and As(III) were 77.28 and 78.65 mg/g; and γ -FeOOH were 63.75 and 88.99 mg/g, respectively. After 15 min, about 97–98% of initial As (III) and As(V) concentration (0.05mg/L) was removed from the solution using 1000 mg/L adsorbent. γ -FeOOH and α -FeOOH nano particles became a promising adsorbent for the removal of As(V) and As(III) from groundwater.

Keywords—Arsenic removal; γ -FeOOH, α -FeOOH nano