

ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG Ô NHIỄM KIM LOẠI NẶNG (Pb, Cu) TRONG NƯỚC RỈ TỪ Bùn THẢI NẠO VẾT TẠI SÔNG KIM NGƯU, HÀ NỘI

EVALUATION OF HEAVY METALS (Pb, Cu) POLLUTION IN LEACHING WATER FROM DISCHARGED SLUDGE OF KIM NGUU RIVER, HANOI

Đỗ Thị Cẩm Vân^{1,*}, Cù Thị Thúy Hà²

TÓM TẮT

Ô nhiễm bùn đáy nạo vét và thải bỏ ven hai bên bờ sông Kim Ngưu, TP. Hà Nội đang ở mức báo động đỏ. Khi có tác động của quá trình rửa trôi từ nước mưa (mưa axit) kim loại nặng tích tụ trong bùn sẽ được giải phóng, đi theo pha lỏng nhanh chóng xâm nhập vào đất và các mạch nước ngầm. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát sự chuyển hóa của hai kim loại nặng điển hình là chì và đồng từ mẫu bùn thải của sông Kim Ngưu bởi nước có pH khác nhau. Tại pH trung tính (pH = 6,5), sự chuyển hóa của ion Pb^{2+} và Cu^{2+} (nồng độ định lượng ban đầu là 0,11 và 0,11 mg/L tương ứng) trong bùn thải sang dạng hòa tan trong nước diễn ra chậm và không ổn định, nên hàm lượng kim loại nặng (Pb và Cu) tích lũy trong môi trường còn thấp, nồng độ Pb^{2+} và Cu^{2+} khảo sát sau 10 ngày xác định tương ứng là 14,73 và 15,11 mg/L. Tuy nhiên, khảo sát tại pH axit (pH = 4,5), sự chuyển hóa chì và đồng (đặc biệt là chì) diễn ra nhanh chóng, khả năng thôi hóa đồng và chì vào pha nước cao, trong đó nồng độ Pb^{2+} và Cu^{2+} tăng tương ứng từ 0,15 và 0,11 mg/L lên tới 26,20 và 18,76 mg/L. Điều này cho thấy, trong trường hợp có mưa axit nguy cơ ô nhiễm kim loại nặng gây ra bởi bùn thải nạo vét từ sông Kim Ngưu là rất cao, vấn đề quản lý và xử lý bùn trong sông Kim Ngưu là rất quan trọng và cần phải được thực hiện một cách khoa học.

Từ khóa: Ô nhiễm nước, kim loại nặng, bùn thải, chì, đồng, thôi hóa kim loại.

ABSTRACT

Sewage sludge pollution discharged across two riverside of Kim Nguu, Hanoi has been serious. When raining water (especially acid rain) occurs, heavy metals accumulated in sludge are released, dissolving into water and then underground water. In this study, we investigate the mobilization of typical heavy metals, Pb and Cu, leached from Kim Nguu sewage sludge at different pH. At neutral pH (pH = 6.5), the dissolve of Pb^{2+} and Cu^{2+} (Co = 0.11 and 0.11 mg/L equivalently) from sludge into water is slow and unstable, thus the concentrations of Pb and Cu in the water are low, namely that of Pb^{2+} và Cu^{2+} after 10 days determined are 14.73 và 15.11 mg/L equivalently. However, at acid pH (pH = 4.5), the transformation of Pb and Cu into water (especially Pb) occurs fast, the concentrations of Pb^{2+} và Cu^{2+} increase significantly from 0.15 và 0.11 mg/L lên tới 26.20 và 18.76 mg/L equivalently. This result show that the risk of heavy metal pollution from sewage sludge of Kim Nguu river is high when occurring acid rain, the management and treatment of Kim Nguu river sludge is very important and necessary to be implemented scientifically.

Keywords: Water pollution, heavy metals, sewage sludge, Pb, Cu, metal leaching.

¹Khoa Công nghệ Hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Tài nguyên thiên nhiên và Môi trường

*Email: docamvan85@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 27/6/2018

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/12/2018

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2018

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sông Kim Ngưu là một phân lưu của sông Tô Lịch, dài khoảng 7,7km, kéo dài từ cầu Kim Ngưu đến cuối địa phận Yên Sở (Hoàng Mai). Theo thống kê của UBND phường Mai Động, trên đoạn sông Kim Ngưu chảy qua địa bàn phường ước tính cứ khoảng 1km có 7 đầu cống thoát nước sinh hoạt chảy trực tiếp ra sông.

Bên cạnh chức năng điều tiết mực nước, tạo cảnh quan của đô thị và thoát nước khi mưa, chống úng ngập thì sông Kim Ngưu còn có thêm chức năng dẫn nước thải công nghiệp và sinh hoạt về nơi xử lý. Cơ sở hạ tầng thoát nước của thành phố Hà Nội chưa được đầu tư hoàn chỉnh chính là nguyên nhân khiến cho dòng sông ngày càng ô nhiễm trầm trọng.

Với tốc độ phát triển đô thị hóa nhanh chóng, ý thức người dân và quản lý đô thị hạn chế, hệ quả là nước sinh hoạt của người dân đều xả trực tiếp ra sông nên không tránh khỏi phát sinh vấn đề ô nhiễm môi trường [4]. Rác thải khó phân hủy như đồ sứ, túi nilon đều bị thải bỏ xuống sông. Hai bên bờ sông, các đường ống nước thải sinh hoạt chưa qua xử lý được xả thẳng ra sông. Nước sông Kim Ngưu đang bị ô nhiễm ở mức báo động đỏ. Ở nhiều đoạn, lòng sông chẳng khác cái ao tù, nước đen đặc, nổi váng, bốc mùi uế nặng.

Theo báo cáo của Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội, trong năm 2012 lượng bùn thải đô thị thu gom

trên toàn thành phố đạt 167.200 tấn trong đó chỉ có 2.140 tấn phát sinh từ trạm xử lý nước thải sinh hoạt [1]. Vậy hơn 95% lượng bùn thải phát sinh từ đầu, điều này cho thấy phần lớn bùn thải đô thị có nguồn gốc từ việc thải bỏ rác ven khu vực các sông lớn và từ hệ thống vệ sinh tại chỗ ở các đô thị.

Hàng năm, bùn được nạo vét từ sông chủ yếu là đổ đống, nước bùn tự thấm hoặc tự chảy ra các kênh mương ao hồ xung quanh. Lượng bùn thải này chưa được xử lý theo đúng quy trình, phần lớn là để lộ thiên. Khi có tác động từ nước mưa thì lượng kim loại nặng sẽ nhanh chóng ngấm vào đất và các mạch nước ngầm tại khu vực chôn lấp. Nếu không được xử lý kịp thời thì lượng kim loại nặng sẽ gây ra ô nhiễm trên diện rộng. Từ đó ảnh hưởng trực tiếp tới đời sống sinh hoạt và sức khỏe của người dân.

Bùn thải tác động đến trực tiếp đến sức khỏe con người ngay sau khi tiếp xúc (như: mùi hôi, nhiễm trùng do hít/nuốt vi khuẩn) hoặc phát sinh do tiếp xúc lâu dài (tiếp xúc với kim loại nặng phát tán từ quá trình xử lý bùn), ảnh hưởng từ từ, không thấy ngay được hậu quả. Những người có nguy cơ bị ảnh hưởng nhiều nhất là người thường xuyên tiếp xúc với bùn thải như nhân viên xử lý nước thải, công nhân nạo vét bùn, công nhân tại các cơ sở ủ phân, nông dân canh tác trên đất từ bùn thải và các hộ gia đình có sự tiếp xúc.

Hàm lượng kim loại nặng trong bùn là mối quan tâm đầu tiên khi nạo vét kênh rạch, có liên quan chặt chẽ đến mục đích tái sử dụng bùn hoặc việc đổ bùn không đúng quy định như ảnh hưởng đến hệ sinh thái tại khu vực. Thành phần các kim loại nặng dễ hấp thụ trên bề mặt các chất lơ lửng dạng hữu cơ và vô cơ. Khi các chất này lắng xuống thành bùn thì các kim loại nặng cũng sẽ bị tích tụ trong bùn. Theo thời gian, dưới tác động của nước mưa tính chất của bùn thải sẽ biến đổi, chuyển hóa và có thể gia tăng sự tích lũy kim loại nặng có mặt trong nước sông thối hóa từ bùn thải tích đọng hai bên và trong lòng hồ, sông.

Hiện nay, ở Việt Nam các công trình nghiên cứu về đánh giá sự tồn dư hàm lượng kim loại nặng trong bùn, trầm tích của các sông lớn thuộc các đô thị đã được thực hiện. Trong đó có thể kể đến một số nghiên cứu liên quan đến đánh giá hàm lượng kim loại nặng tích lũy trong trầm tích đáy của sông của nhóm tác giả Phùng Thái Dương và Huỳnh Thị Kiều Trâm (2015), Nguyễn Văn Thơ (2007), Đoàn Thị Thanh Thủy (2007), Phạm Việt Nữ (2011), Lê Thị Vinh (2012), Phạm Thị Nga (2012) [6], hay nghiên cứu đánh giá sự tích lũy kim loại nặng trong bùn thải đô thị từ sông khu vực đô thị lớn tại Việt Nam trong đó có sông Kim Ngưu thực hiện bởi nhóm tác giả Cao Vũ Hùng và nnk [2],... Tuy nhiên số liệu nghiên cứu về sự tồn dư và biến đổi hàm lượng kim loại nặng trong bùn thải đô thị nói chung và sông Kim Ngưu nói riêng còn hạn chế.

Vi vậy, nghiên cứu này tiến hành khảo sát đánh giá khả năng chuyển hóa kim loại nặng (Pb, Cu) trong nước rỉ rác từ bùn thải nạo vét lấy được từ sông Kim Ngưu, TP. Hà Nội, đánh giá mức độ ô nhiễm kim loại nặng thay đổi tùy thuộc

tính chất nước mưa axit hoặc kiềm sẽ tác động thế nào đến môi trường đất và nước khu vực sông.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: Bùn thải nạo vét sông Kim Ngưu.
- Phạm vi nghiên cứu: Quy mô phòng thí nghiệm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp lấy mẫu và bảo quản mẫu

Phương pháp lấy mẫu theo tiêu chuẩn TCVN 6663-1: 2011 (ISO 5667-1: 2006) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 1: Hướng dẫn lập chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu và tiêu chuẩn TCVN 6663-6: 2008 (ISO 5667-6: 2005) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 6: Hướng dẫn lấy mẫu ở sông và suối. Mẫu tại các điểm lựa chọn nghiên cứu được lấy bằng dụng cụ lấy mẫu, lặp lại 3 lần.

Bảo quản mẫu theo TCVN 6663-3: 2008 (ISO 5667-3: 2003) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu.

2.2.2. Phương pháp phân tích và định lượng

a) *Xác định hệ số khô kiệt*: được xác định theo TCVN 4048:2011 về chất lượng đất - phương pháp xác định độ ẩm và hệ số khô kiệt.

b) *Xác định hàm lượng chì, đồng trong bùn thải ban đầu bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử (AAS)*.

* Công thức tính hàm lượng kim loại nặng trong bùn

Hàm lượng kim loại nặng trong bùn được tính bằng công thức sau:

$$KLN_{(mg/kg \text{ bùn khô})} = \frac{C_{do} \times V}{m} \times k \text{ (mg/kg)}$$

Trong đó:

C_{do} : Nồng độ kim loại nặng (mg/l)

V: Thể tích (ml)

k: Hệ số khô kiệt

m: Khối lượng mẫu (g)

2.2.3. Phương pháp thí nghiệm

Mô hình thí nghiệm được thiết kế có điều kiện tương tự như môi trường tự nhiên. Sử dụng giá đỡ bằng nhựa và chậu nhỏ bố trí dưới giá để chứa nước rỉ rác từ bùn, thiết kế lớp bùn dày khoảng 10cm, dùng vải mỏng lót dưới lớp bùn để tránh thất thoát bùn trong quá trình thực hiện thí nghiệm và tăng khả năng thoát nước tốt. Thêm hợp chất chì sunfua (PbS) và đồng sunfua (CuS) để làm giàu mẫu, tăng hàm lượng chì trong bùn để mở rộng phạm vi đánh giá sự biến đổi hàm lượng kim loại nặng trong bùn thí nghiệm. Sử dụng nước mưa giả định có thành phần tương tự nước mưa tự nhiên tưới nhỏ giọt lên bùn theo thời gian, ở các giá trị pH khác nhau gần giống với môi trường pH của nước mưa tự nhiên (pH = 4,5 và 6,5). Để nước mưa thấm vào bùn, sau 24 giờ thu dung dịch rỉ từ hỗn hợp bùn ở dưới chậu nhựa và lấy mẫu phân tích (1 lần/ngày, liên tục trong 10 ngày).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xác định điều kiện ban đầu thiết lập thí nghiệm

Kết quả phân tích xác định thành phần nước mưa giả định được chuẩn bị sao cho có thành phần định tính tương tự như thành phần của nước mưa tự nhiên (bảng 1).

Bảng 1. Thành phần nước mưa giả định

Thành phần	Ca ²⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Mg ²⁺	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻
Nồng độ (mg/l)	2,4	8,5	3,9	5,35	1,5	1,9	4,44	24,4
pH dung dịch	6,5 hoặc 4,5							

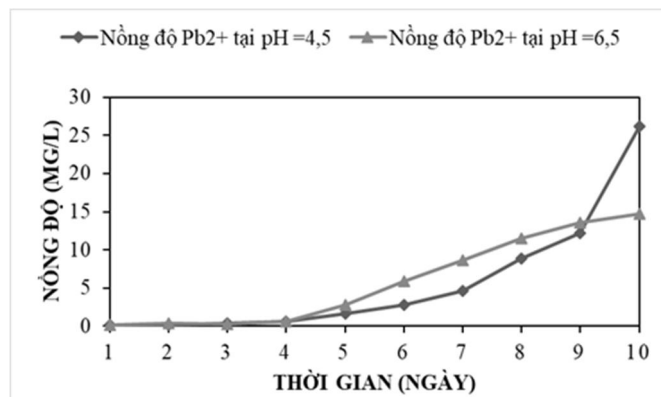
Kết quả phân tích mẫu bùn thải ban đầu:

Hệ số khô kiệt của bùn tính toán được là: $k = 1,5528$

Từ đó xác định được hàm lượng chì, đồng trong mẫu bùn ban đầu tương ứng là 19,66 và 21,71 mg/kg.

3.2. Kết quả đánh giá sự thôi hóa hàm lượng Pb²⁺ và Cu²⁺ từ bùn thải vào nước rỉ rác ở các điều kiện pH khác nhau

3.2.1. Kết quả nghiên cứu sự thay đổi hàm lượng Pb²⁺ trong điều kiện pH = 6,5 và pH = 4,5



Hình 1. Sự biến thiên nồng độ Pb²⁺ trong điều kiện pH = 6,5 và pH = 4,5

Từ hình 1 ta thấy, nồng độ Pb²⁺ định lượng trong nước rỉ từ bùn thải không đáng kể trong các điều kiện môi trường pH axit hay trung tính trong 4 ngày đầu thí nghiệm.

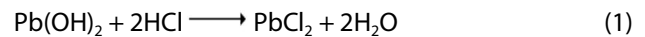
Các ngày thí nghiệm tiếp theo sau 10 ngày, nồng độ chì trong nước rỉ rác tăng đều nhanh chóng theo thời gian. Tại pH = 6,5, nồng độ Pb²⁺ tăng từ 0,11 mg/l đến 14,73 mg/l. Tại pH = 4,5, nồng độ Pb²⁺ tăng nhanh hơn đáng kể từ 0,15 mg/l đến 26,20 mg/l cao gấp hơn 2 lần so với nồng độ Pb²⁺ xác định tại pH = 6,5. Điều này có thể giải thích như sau:

Trong 4 ngày đầu, nồng độ Pb²⁺ biến đổi tăng ít, do mẫu bùn thải xuất hiện nhiều nấm mốc phủ kín mô hình thí nghiệm khiến cho lượng nước bổ sung ngấm xuống bùn gặp nhiều khó khăn. Qua đó, việc giải phóng Pb²⁺ trong bùn gặp cản trở, hàm lượng ion Pb²⁺ giải phóng ra môi trường nước chưa cao. Sự xuất hiện của nấm là do bùn thải đô thị có đặc tính chứa hàm lượng các chất hữu cơ cao. Từ ngày thứ tư trở đi, khi lượng nấm chết dần, sự giải phóng Pb²⁺ chì từ bùn ra nước không gặp sự cản trở của nấm mốc. Thêm vào đó, bùn giờ đây đã bốc hơi nước nhiều do để ngoài không khí thời gian dài trong điều kiện thời tiết khí hậu đặc trưng mùa

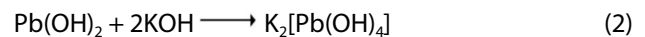
hè miền Bắc, nước mưa nhân tạo có thể từ từ ngấm vào bùn thải và giải phóng chì từ bùn thải vào nước.

Ngoài ra, môi trường pH có ảnh hưởng quan trọng trong quá trình cố định và giải phóng kim loại chì trong bùn thải vào môi trường nước. pH càng nhỏ, lượng chì giải phóng khỏi bùn thải có xu hướng càng tăng theo thời gian (so sánh giữa độ pH = 6,5 và pH = 4,5). Do muối [Pb(OH)₄]²⁻ dễ tan trong nước và bị phân hủy mạnh nên chỉ bền trong dung dịch kiềm. Cơ chế phản ứng như sau [5]:

Khi tan trong axit, Pb tạo thành muối của cation Pb²⁺

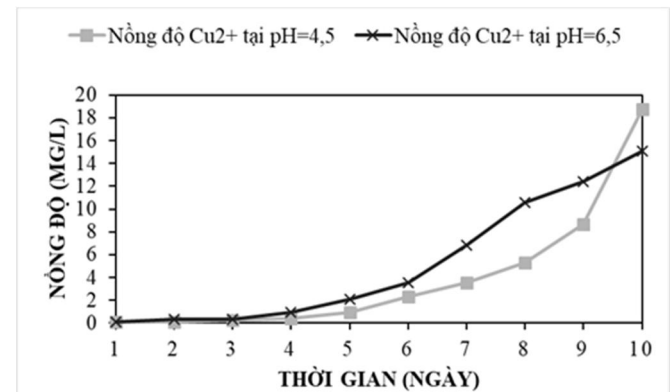


Khi tan trong dung dịch kiềm mạnh, Pb tạo thành muối hiđroxoplombit dễ tan trong nước và bị thủy phân mạnh nên chỉ bền trong dung dịch kiềm dư:



Hàm lượng ion chì có trong mẫu ban đầu đóng vai trò quan trọng trong quá trình giải phóng kim loại từ bùn thải ra môi trường nước. Khi nồng độ chì tích lũy trong bùn thải cao, lượng chì dạng tan giải phóng đi vào pha nước cũng sẽ có xu hướng tăng cao hơn so với mẫu bùn có hàm lượng chì tích lũy thấp điều này cho thấy nguy cơ cao bị ô nhiễm chì của nước sông nếu bùn nạo vét để lộ thiên mà không xử lý [3].

3.2.2. Kết quả nghiên cứu sự thay đổi hàm lượng Cu²⁺ trong điều kiện pH = 6,5 và pH = 4,5



Hình 2. Sự biến thiên hàm lượng Cu²⁺ trong điều kiện pH = 6,5 và pH = 4,5

Từ hình 2 ta thấy, tương tự như chì, sự biến thiên của nồng độ Cu²⁺ trong nước rỉ từ bùn thải khi có sự ảnh hưởng của pH gần như không đáng kể trong 4 ngày đầu thí nghiệm.

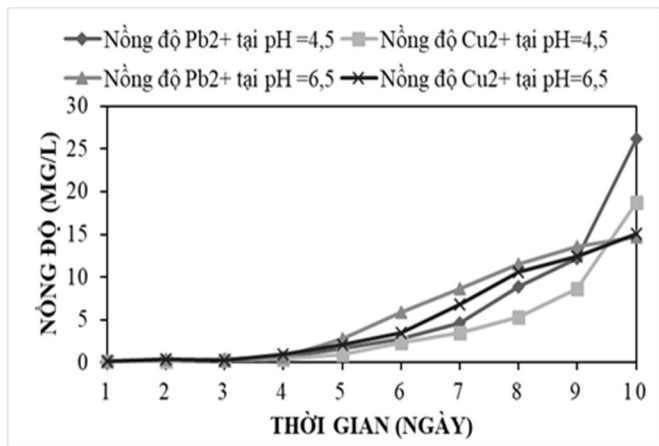
Đối với pH = 6,5, điều kiện nước mưa thông thường, sau 10 ngày thí nghiệm thấy hàm lượng đồng trong nước rỉ từ bùn thải thấp tăng từ 0,11 mg/L lên 15,11 mg/L. Cần nhiều thời gian mới có thể giải phóng đồng từ bùn thải vào nước. Khi đó, ion kim loại Cu hầu như bị giữ lại trên bùn.

Tại pH = 4,5, hàm lượng ion Cu²⁺ trong nước rỉ từ bùn thải sau 10 ngày tăng nhanh chóng theo thời gian từ 0,11 mg/L lên 18,58 mg/L. Sau 5 ngày khảo sát, hàm lượng Cu²⁺ ở pH = 6,5 cao hơn 2,14 lần so với điều kiện pH = 4,5. Tuy nhiên đối với ngày thứ 10, hàm lượng Cu²⁺ tại pH = 4,5 lại cao hơn 1,24 lần so với điều kiện pH = 6,5.

Ion Cu^{2+} có xu hướng tích lũy và tồn tại lâu dài trong môi trường bùn thải. Trong quá trình thử nghiệm, lượng nấm mốc làm giảm đáng kể khả năng giải phóng ion Cu^{2+} từ bùn thải vào môi trường nước. pH có ảnh hưởng quan trọng trong quá trình cố định và giải phóng Cu^{2+} trong bùn thải vào môi trường nước. Trong thời gian đầu, sự thôi đồng ở điều kiện nước mưa nhân tạo có pH = 6,5 diễn ra nhanh hơn so với mẫu có pH = 4,5. Tuy nhiên, càng thời gian càng tăng thì lượng giải phóng Cu^{2+} ở mẫu có pH = 4,5 lại cao hơn so với mẫu có pH = 6,5.

Nhìn chung, hàm lượng Cu^{2+} trong bùn thải giải phóng ra môi trường nước tăng dần theo thời gian. Sự giải phóng kim loại nặng dạng tan vào môi trường nước là nguyên nhân gây ô nhiễm môi trường [3, 11].

3.2.3. Kết quả đánh giá sự thôi hóa chì (Pb^{2+}) và đồng (Cu^{2+}) từ bùn thải vào nước rỉ rác trong điều kiện nước mưa nhân tạo có pH = 4,5 và 6,5



Hình 3. So sánh khả năng thôi hóa kim loại chì và đồng từ bùn thải vào nước rỉ rác

Từ hình 3 cho thấy, tại môi trường nước mưa trung tính (pH = 6,5), sự giải phóng ion hai kim loại chì và đồng vào nước rỉ rác tăng nhưng không có sự khác nhau đáng kể sau 10 ngày thí nghiệm. Tuy nhiên tại môi trường axit (pH = 4,5), khả năng giải phóng ion Pb^{2+} hòa tan vào nước rỉ rác đạt tốc độ và nồng độ cao hơn đáng kể so với sự hòa tan kim loại Cu.

Điều này cho thấy, sự tích tụ hàm lượng kim loại nặng đặc biệt là chì trong bùn thải và sự giải phóng kim loại nặng, đặc biệt đáng lưu ý là chì vào môi trường nước là nguyên nhân quan trọng góp phần vào việc gia tăng ô nhiễm môi trường nước sông. Chì có xu hướng tích lũy và tồn tại lâu dài trong môi trường bùn thải. Khi sử dụng bùn thải tái chế cho mục đích nông nghiệp rất dễ có khả năng ion chì đi vào chuỗi thức ăn và gây độc cho sinh vật tiêu thụ.

4. KẾT LUẬN

Quá trình nghiên cứu sự thay đổi hàm lượng chì và đồng trong nước rỉ của bùn thải đô thị đã thu được một số kết quả quan trọng. Các ion kim loại chì và đồng trong môi trường bùn thải tồn tại lâu dài và khả năng tích lũy cao trở thành tác nhân ô nhiễm hóa học trong môi trường khi tích

tụ với hàm lượng lớn. Sự tích lũy hay giải phóng ion Pb^{2+} và Cu^{2+} trong bùn thải hay nước rỉ rác phụ thuộc vào môi trường pH hay ảnh hưởng bởi môi trường của nước mưa, đặc biệt là mưa axit. Sự tích lũy và chuyển hóa kim loại nặng từ pha rắn vào pha lỏng cần được theo dõi, đánh giá và quan tâm hơn hết, đặc biệt là các kim loại linh động, độc tính cao và có xu hướng biến đổi nhanh như chì. Ngoài môi trường tự nhiên, những nơi xuất hiện nhiều mưa axit sẽ gây ô nhiễm môi trường cả đất và nước nếu hàm lượng kim loại nặng trong bùn thải tích tụ đủ lớn, sẽ làm gia tăng cả về hàm lượng lẫn độc tính [11]. Do vậy, vấn đề ô nhiễm kim loại nặng khu vực sông tại các đô thị lớn là một vấn đề môi trường đáng phải quan tâm và lưu ý trong công tác thu gom và quản lý chất thải đô thị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Cao Vũ Hưng, 2014. *Nghiên cứu sự chuyển hóa một số yếu tố gây ô nhiễm trong quá trình ổn định bùn thải kết hợp rác hữu cơ bằng phương pháp lên men nóng*. Luận án tiến sĩ hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội.

[2]. Cao Vu Hung, Bui Duy Cam, Pham Thi Ngoc Mai, Bach Quang Dzung, 2014. *Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in municipal sewage sludge from a river in highly urbanized metropolitan area in Hanoi, Vietnam: levels, accumulation pattern and assessment of land application*. Environ Geochem Health, DOI 10.1007/s10653-014-9635-2.

[3]. Lê Thị Hoa, Vũ Văn Tùng, Nguyễn Thị Ngọc Mai, Lê Văn Khỏe, Vũ Thị Hà Mai, 2016. *Nghiên cứu khả năng giải phóng Fe, Cu, Pb, và As từ phân thải có chứa quặng đồng sunphua*. Tạp chí Khoa học, Trường Đại Học Hồng Đức - số 29. 2016. trang 92-99.

[4]. Nguyễn Tấn Vinh, 2007. *Vấn đề đô thị hóa và phát triển bền vững ở thành phố Hà Nội*.

[5]. Nguyễn Đức Vận, 2006. *Hóa học vô cơ, tập 2 - Các kim loại điển hình*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[6]. Phùng Thái Dương và Huỳnh Thị Kiều Trâm, 2015. *Nghiên cứu và đánh giá hàm lượng một số kim loại nặng trong trầm tích đáy vùng cửa sông Mê Kông*. Tạp chí Khoa học ĐHPH HCM, Số 9 (75), trang 119-129.

[7]. TCVN 4048:2011 về chất lượng đất - phương pháp xác định độ ẩm và hệ số khô kiệt.

[8]. Tiêu chuẩn Việt Nam: TCVN 6663-1: 2011 (ISO 5667- 1: 2006) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 1: Hướng dẫn lập chương trình lấy mẫu và kỹ thuật lấy mẫu.

[9]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6663-6: 2008 (ISO 5667-6: 2005) Chất lượng nước - lấy mẫu - Phần 6: Hướng dẫn lấy mẫu ở sông và suối.

[10]. Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6663-3: 2008 (ISO 5667-3: 2003) Chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 3: Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu.

[11]. Xingzhong Yuan, Huajun Huang, Guangming Zeng, Hui Li, Jingyu Wang, Chunfei Zhou, Huina Zhu, Xiaokai Pei, Zhifeng Liu, Zhantao Liu, 2011. *Total concentrations and chemical speciation of heavy metals in liquefaction residues of sewage sludge*. In Bioresource Technology, Volume 102, Issue 5, Pages 4104-4110, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.12.055>.