

Nghiên cứu quá trình chuyển hóa photpho trong nước và trầm tích để đề xuất các giải pháp thích hợp xử lý ô nhiễm hồ đô thị Hà Nội

A study of phosphorus transformation between water and sediments to propose suitable treatment solutions for Hanoi urban lakes

> THS TRẦN THÚY ANH¹, GS.TS TRẦN ĐỨC HẠ¹, TS BÙI THỊ THÚY²

¹Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, ²Trường Đại học Thủy lợi.

TÓM TẮT

Nghiên cứu tập trung tìm hiểu mối quan hệ thành phần photpho trong pha nước và pha trầm tích của 2 nhóm hồ đô thị (HĐT) ở Hà Nội (nhóm 1: hồ đã được tách nước thải và nhóm 2: hồ chưa được tách nước thải). Kết quả cho thấy, do tích lũy P trong bùn lắng đáy hồ, một lượng lớn photpho đơn dễ dàng xâm nhập vào nước hồ khi có điều kiện thuận lợi, gây hiện tượng phú dưỡng hồ. Đồng thời, nguy cơ ô nhiễm môi trường nước hồ do phú dưỡng của HĐT nhóm 2, là nhóm hồ chưa được tách nước thải, nạo vét và kè bờ, cao hơn rất nhiều so với hồ nhóm 1. Trên cơ sở này, nghiên cứu đề xuất giải pháp kỹ thuật tổng hợp để giảm thiểu suy thoái và cải thiện chất lượng nước cho các HĐT theo nguyên tắc tiếp cận ngăn ngừa ô nhiễm từ bên ngoài vào và loại bỏ nguồn ô nhiễm trong hồ. Nhóm giải pháp ngăn ngừa ô nhiễm từ bên ngoài, chủ yếu áp dụng cho nhóm hồ thứ hai, bao gồm kè bờ và tách nước thải. Nhóm giải pháp loại bỏ nguồn ô nhiễm trong hồ, áp dụng cho cả hai nhóm hồ, có thể kể đến như là: nạo vét bùn cặn lắng đọng, kiểm soát để giữ photpho lại trong bùn trầm tích bằng tổ hợp hóa chất gốc muối kim loại sắt hoặc nhôm.

Từ khóa: Hồ đô thị; chu trình photpho; bùn trầm tích hồ; nạo vét bùn; phú dưỡng.

ABSTRACT

The study focuses on understanding the relationship of phosphorus composition in the water and sedimentary phases of 2 groups of Hanoi urban lakes (Group 1 includes wastewater-separated lakes, and Group 2 includes wastewater non-separated lakes). The results showed that, due to the accumulation of Phosphorus in the sediment at the lake bottom, a large amount of orthophosphate quickly penetrates the lake water in favorable conditions, causing eutrophication. At the same time, the risk of environmental pollution of lake water due to eutrophication of group 2, which has not been separated from wastewater, dredged, and embankment, is much higher than that of group 1. On this basis, the study proposes integrated technical solutions to minimize degradation and improve water quality for Hanoi urban lakes according to the principle of approaching pollution prevention from outside and eliminating pollution sources in the lake. The solutions to prevent pollution from outside are mainly applied to the second group of lakes, including embankment and wastewater separation. The solutions to eliminate pollution sources in the lake, applicable to both groups of lakes, can be mentioned as dredging of deposited sludge and controlling to keep Phosphorus in the sediment by a combination of salt-based chemicals, namely iron or aluminum metal.

Keyword: Urban lakes; Phosphorus cycle; lake sediments; sludge dredge; eutrophication.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

HĐT được hình thành từ các thủy vực tự nhiên hoặc nhân tạo, đóng vai trò điều tiết nước mưa và tạo cảnh quan sinh thái đô thị. Do tiếp nhận nước mưa và nước thải chưa qua xử lý (trong trường hợp khu vực đô thị có hệ thống thoát nước chung) nên môi trường nước các hồ thường bị ô nhiễm. Mặt khác, chất lượng nước hồ cũng bị giảm sút do thời gian lưu nước lớn và bùn cặn trầm tích nhiều năm không được nạo vét.

HĐT bị ô nhiễm với nguồn gốc bên ngoài là từ nước thải và nước mưa trên lưu vực chảy vào hồ, và nguồn gốc nội tại do các quá trình

sinh hóa, thủy hóa hoặc thủy văn diễn ra trong hồ. Khi bị ô nhiễm, các chất dinh dưỡng nồng độ cao sẽ gây nên sự bùng nổ tảo, làm phú dưỡng, chất lượng nước suy giảm, làm mất mỹ quan và trở ngại cho các hoạt động của HĐT.

Trong hồ, giữa pha nước và pha trầm tích có mối quan hệ mật thiết với nhau. Trong hệ sinh thái đó diễn ra các chu trình trao đổi vật chất làm cho chất lượng nước và chất lượng bùn trầm tích luôn thay đổi. Các ao hồ bị ô nhiễm thường liên quan đến bùn trầm tích chưa được kiểm soát. Các quá trình phú dưỡng, tái ô nhiễm hữu cơ... với

tác nhân chính là các thành phần ô nhiễm từ bùn cặn đáy làm thiếu hụt ô xy, gây mùi và màu nước, phát triển mầm bệnh dịch,... trong hồ. Trong điều kiện khí hậu nhiệt đới, khi tỉ lệ giữa tổng lượng nitơ (TN) và tổng lượng photpho (TP) trong vùng nước hồ lớn hơn 12 thì sự bổ cập photpho thêm cho nước hồ (chủ yếu từ vùng bùn trầm tích đáy hồ tái hòa tan vào nước) là nguyên nhân chính gây bùng nổ tảo dẫn đến phú dưỡng và ô nhiễm môi trường nước hồ [9].

Việc xử lý ô nhiễm và ngăn ngừa phú dưỡng cho các HĐT là cần thiết. Kiểm soát ô nhiễm môi trường nước hồ phải bao gồm xử lý nước và bùn cặn trầm tích. Để tìm được giải pháp cải thiện chất lượng nước hồ hợp lý, cần phải nghiên cứu chu trình vật chất trong hệ sinh thái hồ, trong đó có sự luân chuyển các hợp chất photpho giữa pha bùn đáy và pha nước.

Trên địa bàn 12 quận nội thành Hà Nội có khoảng 125 hồ bao gồm các hồ tự nhiên và các hồ được đào, xây dựng theo quy hoạch. Phụ thuộc vào điều kiện thoát nước khu vực, các HĐT phân thành 2 nhóm: 1). hồ đã được tách nước thải và 2). hồ chưa được tách nước thải. Trừ Hồ Tây và Hoàn Kiếm có vai trò điều tiết nước mưa hạn chế, các HĐT còn lại đều đóng vai trò là hồ điều hòa trong hệ thống thoát nước (HTTN) đô thị. Trong số 125 hồ nêu trên, có 98 hồ được kè xung quanh (chiếm 80,3% tổng số hồ), 14 hồ đang được cải tạo, 10 hồ chưa được cải tạo. Số hồ được xây dựng hệ thống bao tách nước thải là 51 hồ, chiếm 41,8% tổng số hồ hiện có tại Hà Nội [3]. Việc bùn cặn trầm tích và lắng đọng lâu dài mà không được kiểm soát sẽ ảnh hưởng rõ rệt đến chất lượng nước và dung tích chứa nước các HĐT [9]. Mặt khác, với khối lượng bùn cặn tích lũy lớn, tìm được vị trí và diện tích bãi đất phù hợp để đổ bùn là rất khó khăn. Đây là những vấn đề bức xúc trong quản lý hệ thống hạ tầng kỹ thuật nói chung, và nhất là đối với hệ thống HĐT ở TP Hà Nội.

Hiện nay, trên thế giới có những cách tiếp cận kiểm soát trầm tích và bảo vệ môi trường nước ao hồ như: không can thiệp vào trầm tích khi khả năng tự làm sạch nước hồ đảm bảo; xử lý trầm tích tại chỗ; và nạo vét bùn cặn lắng đọng khỏi hồ. Tuy nhiên, mỗi phương pháp có một số điều kiện áp dụng riêng, trong đó có dựa vào sự quan hệ vật chất giữa pha nước và pha trầm tích trong hồ. Vì thế, kiểm soát bùn cặn lắng sẽ góp phần cải thiện chất lượng nước, dung tích chứa nước và đảm bảo sự cân bằng sinh thái trong hồ. Trên cơ sở phân tích đặc điểm mối quan hệ giữa các thành phần photpho trong pha nước và pha trầm tích của 2 nhóm HĐT Hà Nội, nghiên cứu này sẽ đề xuất các giải pháp kiểm soát bùn cặn trầm tích phù hợp cho các nhóm hồ này.

2. CƠ CHẾ CHUYỂN HÓA PHỐT PHO GIỮA PHA NƯỚC VÀ PHA TRẦM TÍCH TRONG HĐT.

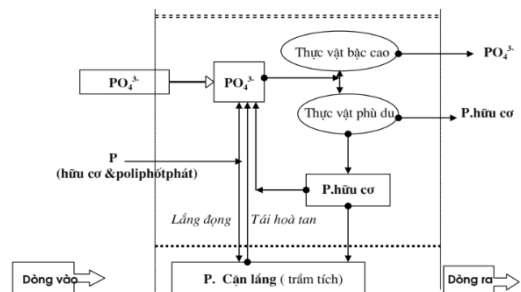
Các tác nhân làm thay đổi chất lượng nước và trầm tích đáy hồ là các chất hữu cơ hoặc vô cơ, nguồn gốc từ bên ngoài hoặc nội tại với các quá trình chủ yếu là lắng đọng, oxy hóa sinh hóa các chất hữu cơ ở các pha nước và bùn, và quá trình phú dưỡng với yếu tố tới hạn là photpho [15]. Các chất bên ngoài bao gồm các chất hữu cơ, các chất dinh dưỡng, đất, cát,... có trong nước thải, nước mưa và nước trôi bề mặt chảy vào hồ. Các chất nội tại chủ yếu là xác sinh vật: tảo, thực vật bậc cao, động vật đáy, chất bài tiết của các động vật,... Các chất hữu cơ và dinh dưỡng dễ bị lắng đọng và phân hủy trong trầm tích. Lớp bùn đáy này chủ yếu là xác tảo và thực vật phù du nên dễ gây ô nhiễm thứ cấp và làm thiếu hụt oxy tầng đáy.

Quá trình phú dưỡng liên quan trực tiếp đến chuỗi thức ăn trong môi trường nước. Trong điều kiện nhiệt đới, giàu ánh sáng mặt trời và nhiệt độ cao, nitơ và photpho là nguồn chất dinh dưỡng để tảo phát triển gây hiện tượng phú dưỡng ao hồ. Phương trình quang hợp sinh khối tảo được Stumm và Morgan (1981) biểu diễn như sau [15]:

$$106\text{CO}_2 + 16\text{NO}_3^- + \text{HPO}_4^{3-} + 122\text{H}_2\text{O} + 18\text{H}^+ \rightarrow \text{C}_{106}\text{H}_{263}\text{O}_{110}\text{N}_{16}\text{P} \text{ (sinh khối tảo)} + 138\text{O}_2$$

Theo phương trình này, tỉ lệ tổng nitơ (TN) và tổng photpho (TP) là 7,2. Tỉ lệ TN:TP quyết định yếu tố giới hạn phú dưỡng là theo chỉ tiêu N hay chỉ tiêu P. Các hợp chất photpho từ bên ngoài trôi vào và nội sinh từ chu trình sinh địa hóa trong hồ, dễ trầm tích ở bùn đáy. Các hợp chất photpho thường không có phương thức nào thoát khỏi môi trường nước thông qua các quá trình sinh hóa, hóa học xảy ra trong hệ sinh thái nguồn nước mặt, trừ quá trình nạo vét bùn hoặc thay nước. Do đó, tỉ lệ TN:TP trong nguồn nước mặt thường lớn hơn 12. Theo Vollenweider (1980), Watson và McCauley (1992), khi tỉ lệ N:P trên 12, TP là chỉ tiêu giới hạn để đánh giá mức độ phú dưỡng ao hồ [1,19]. Trần Đức Hạ (2001) cho thấy trong hầu hết các HĐT quan trắc được đều có tỉ lệ TN:TP trên 19 [8]. Vì vậy hàm lượng photpho trong nước là một trong những yếu tố chính để đánh giá nguy cơ bùng nổ tảo trong HĐT. Rong, tảo chết, thối rửa chìm xuống đáy hình thành lớp bùn ngày càng dày và chứa nhiều N và P. Khi phân hủy yếm khí, chúng tạo mùi hôi như H_2S , NH_3 , CH_4 ,... và các sản phẩm độc hại khác cho hệ sinh thái dưới nước, đặc biệt là trong điều kiện khí hậu thời tiết hoặc chế độ thủy lực ao hồ thay đổi [18].

Theo TCVN 7957:2023, mỗi người trong một ngày xả vào HTTN theo con đường nước thải sinh hoạt là 13g TN, 2,5g TP (trong đó 1,5g là $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$) [16]. Theo Steven C. Chapa (1997), các số liệu nghiên cứu ở Mỹ cho thấy, nguồn photpho chảy vào sông hồ do nước mưa cuốn trôi bề mặt khu vực đô thị là: 0,1-10 (trung bình: 1)kg TP/ha.năm [10,15]. Photpho vào hồ dưới các dạng photpho hoạt tính hòa tan (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} và PO_4^{3-}), photpho hữu cơ liên kết tồn tại như một thành phần sinh khối của thực vật, động vật và vi khuẩn, photpho hữu cơ không liên kết dưới dạng hợp chất hữu cơ không hòa tan hoặc keo, photpho vô cơ liên kết dưới dạng các loại muối photphat hoặc photphat orthophotphat hấp phụ trong sét hoặc trong phức chất với các chất rắn và photpho vô cơ không liên kết chủ yếu là các chất tẩy giặt. Quá trình chuyển hoá photpho trong nước được nêu trong Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ chuyển hóa photpho trong nước

Vòng tuần hoàn của photpho trong ao hồ có thể tách làm hai phần: photpho trong nước và photpho trong bùn. Photpho dòng vào thường trầm tích và lắng đọng trong hồ, tạo nên lượng tích tụ lớn. Do sự phân ly của acid H_3PO_4 , photpho có trong nước tự nhiên ở các dạng PO_4^{3-} , H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} . Trong nước hồ bình thường, photpho là một yếu tố giới hạn phát triển chung cho sinh vật phù du bởi vì nó tồn tại ở nồng độ thấp dưới dạng hợp chất, sinh vật phù du có thể chỉ sử dụng $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ hòa tan để phát triển. Trong HĐT, một phần nhỏ photphat tồn tại ở dạng đơn hòa tan (ortho photphat PO_4^{3-}), một phần lớn nằm ở lớp bùn dưới dạng muối ít tan (với Ca, Fe, Al) hoặc trong sinh khối chết của động vật, thực vật. Nhóm photpho ở lớp trầm tích bề mặt thường rất dễ chuyển hóa pha, tái nhập vào chu trình địa hóa sinh của hồ, hình thành nên tài nguyên photpho nội tại.

Nền tảng của liên kết photpho trong pha trầm tích là acid H_3PO_4 tạo thành khoáng chất với các cation như Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} ... Một phần photpho bị giữ chặt bởi $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 và một phần được phân hủy bởi HPO_4^{2-} , $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, AlPO_4 , H_2PO_4^- , PO_4^{3-} để hấp thụ vào rễ thực vật và vi sinh vật, lại tạo ra các acid amin chứa P và các enzyme photphatase,

ADP và giải phóng năng lượng, tích lũy trong quả hạt... Khi phân tích thành phần bùn đáy hồ, người ta tìm thấy các dạng photpho hoạt tính như: photphat thể hòa tan bị hút bám vào các hạt bùn, photphat vô cơ liên kết với Ca và Fe, photphat hoạt tính hữu cơ... Các dạng photpho này có khả năng tái hòa nhập vào nước và đe dọa gây nên tình trạng phú dưỡng hồ [7]. Quá trình hô hấp ở lớp cận đáy tiêu thụ lượng lớn ô xy ở tầng nước đáy hồ. Độ tiêu thụ ô xy tầng đáy liên quan đến quá trình chuyển hoá photpho ở đây [9]. Lượng trầm tích trong hồ luôn tăng theo thời gian, lớn hơn nhiều so với lượng bùn được khoáng hóa. Khi lớp đáy hồ không có ô xy, các vi sinh vật hiếu khí không thể sống được và do đó không có nguồn tiêu thụ lớp bùn đáy khiến lớp bùn ngày càng dày [7].

Về nguyên tắc, một lượng lớn P liên kết bị lắng đọng sẽ làm giảm lượng P trong nước và hạn chế tình trạng phú dưỡng hồ. Tuy nhiên trong quá trình tích tụ ở điều kiện yếm khí của lớp bùn đáy, các dạng photphat không tan được một số loại vi khuẩn (*Acinetobacter*) phân hủy thành dạng tan PO_4^{3-} hoạt tính có thể giải phóng khỏi bùn và tái thâm nhập vào nước. Đây là dạng photpho thích ứng cho tảo hấp thụ và phát triển. Sự xâm nhập trở lại photpho đơn (PO_4^{3-}) từ trầm tích vào nước tạo nên hàm lượng P tăng gây nên sự biến đổi đột ngột chất lượng nước hồ. Như vậy bùn đáy như là một lớp đệm bổ sung photpho cho pha nước, tăng cường tải lượng P cho hồ, gây nên tình trạng phú dưỡng hồ.

3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU VỀ CHUYỂN HÓA PHOTPHO TRONG HDT HÀ NỘI

Trong nghiên cứu này nhóm tác giả tiến hành lấy mẫu phân tích thành phần chất lượng nước và bùn của 2 nhóm HDT Hà Nội.

Đối tượng nghiên cứu hồ nhóm 1 là vũng Quán Gió có diện tích mặt nước 3078 m², thuộc hồ Bảy Mẫu, đã được kè bờ và nạo vét năm 2016 cùng với xây dựng giếng xả nước mưa (CSO) từ đường Lê Duẩn vào hồ để tách nước thải đưa về nhà máy XLNT hồ Bảy Mẫu. Tuy nhiên, một phần nước thải phân tán ven bờ và nước mưa trong lưu vực vẫn chảy vào hồ. Bùn cặn lắng đọng trong trầm tích đáy hồ chủ yếu là nguồn bên ngoài do nước mưa và một phần nước thải đưa vào khi mưa to. Vì vậy, bùn cặn lắng đọng được xem là bùn trầm tích đáy hồ nhóm 1. Theo quy trình quản lý vận hành hồ nội thành của Công ty TNHH Thoát nước Hà Nội, tần suất nạo vét bùn lắng đọng trong hồ là 5 năm/lần [3]. Nghiên cứu được triển khai trong thời gian từ 10/11/2021 đến 30/11/2021, phù hợp với thời gian Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội theo kế hoạch nạo vét bùn tại hồ này từ 15/11/2021 đến 30/11/2021.

Đối tượng nghiên cứu hồ nhóm 2 là hồ nhỏ Kim Liên có diện tích 3000 m² và độ sâu trung bình 1,2 m. Đây là một hồ trong hệ thống hồ Kim Liên - Phương Mai do Công ty TNHH Thoát nước Hà Nội quản lý. Hồ chưa được kè bờ và không được nạo vét hàng mấy chục năm nay kể từ khi hình thành khu tập thể Kim Liên. Bùn cặn lắng đọng tạo thành lớp bùn đáy dày gần 1 mét và diện tích hồ bị thu nhỏ dần do nước thải, nước mưa và rác thải sinh hoạt khu vực xung quanh đổ vào và các quá trình nội sinh trong hồ. Thời gian nghiên cứu tiến hành vào đầu tháng 5/ 2022, sau mấy ngày của trận mưa đầu mùa năm 2022.

Đối với vũng Quán Gió, bùn nạo vét hồ được lấy trực tiếp trên sà lan chứa bùn với mẫu tổ hợp lấy từ nhiều điểm khác nhau trong đồng bùn trong những đêm đầu hút bùn. Đối với hồ Kim Liên nhỏ, bùn cặn trầm tích được lấy bằng cuốc bùn chuyên dụng Peterson theo TCVN 6663 - 3:2000 - Chất lượng nước - Lấy mẫu. Phần 13: Hướng dẫn lấy mẫu bùn nước, bùn nước thải và bùn liên quan. Các mẫu bùn được bảo quản theo TCVN 6663 - 15: 2004 - Chất lượng nước - Lấy mẫu. Hướng dẫn bảo quản và xử lý mẫu bùn và trầm tích. Nước hồ được lấy trước, trong khi và sau khi kết thúc hút bùn; bảo quản theo TCVN 5994:1995 (ISO 5667-4:1987) - Chất lượng nước - Lấy mẫu: Hướng dẫn lấy mẫu ở hồ ao tự nhiên và nhân tạo. Các mẫu nước bùn được lấy trên mô hình thử nghiệm xử lý

bùn HDT, đối với là nước tách là lớp nước trên bề mặt lớp bùn trong mô hình với chiều cao lớp bùn 0,8 m sau khi nén 2 ngày (NNB) và nước rỉ bùn là nước lọc bùn qua lớp cát sau 2 (NRB).

Các thông số chất lượng nước hồ và nước bùn được phân tích là các thông số: pH (theo TCVN 6492:2011), TSS (theo TCVN 6625:2000), BOD₅ (theo TCVN 6001:2008), COD (theo TCVN 6491:1999) và PO_4^{3-} -P (theo TCVN 6202:2008). Các thông số chất lượng bùn phân tích là pH_{KCl} (theo TCVN 5979:2007), TN (theo TCVN 6498:1999), TP (theo TCVN 6499:1999) và tỉ lệ hữu cơ của bùn -VSS (theo TCVN 4196:2012).

Một vài thông số khác về chất lượng nước hồ và bùn hồ cũng được lấy, bảo quản và phân tích mẫu theo các phương pháp phân tích chuẩn của TCVN hoặc ISO tương ứng.

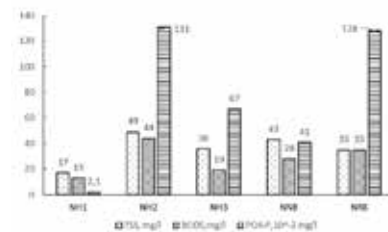
4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Nước vũng Quán Gió được lấy mẫu phân tích trước khi Công ty Thoát nước Hà Nội tiến hành hút bùn 5 ngày (NH1 ngày 10/11/2021), trong khi nạo hút bùn (NH2 ngày 17/11/2021) và sau khi kết thúc nạo hút bùn hồ 2 tuần (NH3 ngày 02/12/2021). Mẫu bùn nạo vét được đưa về mô hình thí nghiệm để tách nước trên lớp bùn nén (NNB- ngày 20/11/2021) và nước rỉ bùn qua lớp lọc cát (NRB- ngày 20/11/2021). Kết quả phân tích chất lượng nước hồ và nước bùn nạo vét tại vũng Quán Gió (hồ Bảy Mẫu) sau giếng CSO trong thời gian tháng 11 năm 2021 được thể hiện trên Bảng 1.

Bảng 1. Chất lượng nước hồ và nước bùn liên quan đến nạo vét bùn vũng Quán Gió

Thông số	Loại mẫu nước				
	Nước hồ			Nước bùn	
	NH1	NH2	NH3	NNB	NRB
Thời điểm lấy mẫu	10/11/21	17/11/21	02/12/21	20/11/21	20/11/21
pH	7,7	7,2	7,5	7,6	7,3
TSS, mg/L	17	49	36	63	45
BOD ₅ , mg/L	13	44	19	28	35
COD, mg/L	59	112	94	162	145
PO_4^{3-} -P, mg/L	0,021	1,31	0,67	0,41	1,28
NH ₄ -N, mg/L	3,5	8,5	4,2	9,2	11,1

Tương quan giữa nồng độ các thông số TSS, BOD₅ và ortho photphat (PO_4^{3-} -P) trong các mẫu nước hồ và nước bùn được nêu trên Hình 3.



Hình 3. Tương quan giữa TSS, BOD₅ và PO_4^{3-} -P trong các mẫu nước hồ (NH1, NH2, NH3) và nước tách từ bùn nạo vét hồ Bảy Mẫu (NNB, NRB)

Kết quả phân tích nước hồ Bảy Mẫu tại vũng Quán Gió trong thời gian nạo vét bùn thấy rằng, trước khi nạo vét chất lượng nước hồ đảm bảo mức B1 theo QCVN 08-MT:2015/BTNMT với hàm lượng PO_4^{3-} -P là 0,021 mg/l. Tuy nhiên trong quá trình nạo vét, TSS trong nước hồ tăng lên rõ rệt (từ 17 mg/l tăng lên đến 49 mg/l), kéo theo các giá trị BOD₅, COD,... tăng lên, đặc biệt là hàm lượng PO_4^{3-} -P tăng từ 0,021 mg/l lên đến 1,31 mg/l (gấp 62,4 lần). Nạo vét hồ bằng thiết bị cơ khí như là một tác động vật lý, bóc lớp bùn phía trên làm cho lượng photpho hòa tan tái nhập vào nước tăng lên rõ rệt. Nhưng sau khi kết thúc nạo vét 2 tuần, hàm lượng PO_4^{3-} -P trong nước hồ (nguyên nhân chính của quá trình phú dưỡng hồ) được hấp thụ vào các phần tử chất rắn lơ lửng để cùng lắng đọng xuống vùng trầm tích hồ nên giá trị này chỉ còn là 0,67 mg/l (giảm gần 2 lần).

Kết quả phân tích chất lượng bùn nạo vét từ vũng Quán gió được thể hiện trên *Bảng 2*.

Bảng 2. Chất lượng bùn nạo vét tại vũng Quán Gió - hồ Bảy Mẫu.

Thông số	Thứ nguyên	Hồ Bảy Mẫu Trung bình (Min-Max)
pH _{KCl}	Tính theo KCl	7,6
Độ ẩm	% trọng lượng bùn tươi	81,0 (80,7-81,4)
Tổng chất rắn khô (DS)	% trọng lượng bùn tươi	19,0 (18,6-19,3)
Tổng chất rắn bay hơi (VS)	%DS	18 (16-22)
Tổng nitơ (TN)	%DS	0,32
Tổng photpho (TP)	%DS	0,44

Kết quả phân tích nêu trong *Bảng 2* cho thấy TP trong bùn hồ Bảy Mẫu là 4,4 mg/g (0,44% trọng lượng khô). Do nguồn xả vào hồ chủ yếu là nước mưa qua giếng CSO và thời gian tích lũy bùn trong lớp trầm tích không lớn (5 năm) nên hàm lượng hữu cơ trong bùn không lớn, tỉ lệ VS chỉ chiếm 18% trọng lượng bùn khô. Hàm lượng TP trong bùn khô (khoảng 4400 mg/kg) tuy nhỏ nhưng vẫn lớn hơn TN (3200 mg/kg).

Kết quả nghiên cứu trên mô hình tách nước làm khô bùn nạo vét hồ Bảy Mẫu cho thấy, sau 3 ngày tách nước bùn, hàm lượng PO₄³⁻-P ở lớp nước trên khối bùn nén (NNB) là 0,41 mg/l nhưng ở trong nước rỉ bùn qua lọc cát (NRB) là 1,28 mg/l. Điều đó cho thấy trong quá trình trầm tích nén tĩnh, lượng photpho đơn (dạng hòa tan) giữ lại ở trong bùn vẫn lớn hơn nhiều so với khuếch tán trở lại vào môi trường nước.

Nước hồ Kim Liên nhỏ được lấy vào ngày 03/5/2022 trước thời điểm lấy mẫu bùn. Mẫu được đưa về mô hình thí nghiệm để tách nước trên lớp bùn nén (NBN- ngày 05/5/2022) và nước rỉ bùn qua lớp lọc cát (NBL- ngày 05/5/2022). Kết quả phân tích chất lượng nước hồ và nước bùn (nước bùn nén và nước rỉ bùn qua lọc cát) nêu trong *Bảng 3*.

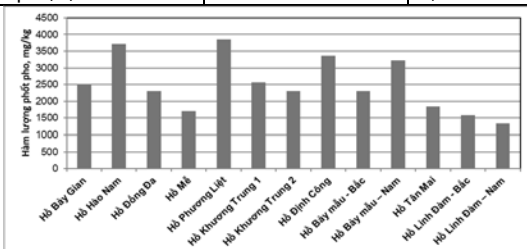
Bảng 3. Chất lượng nước hồ và nước bùn liên quan đến nạo vét bùn hồ Kim liên nhỏ

Thông số	Nước hồ (NH)	Nước nén bùn (NBN)	Nước bùn lọc cát (NBL)
pH	7,4	7,6	7,5
TSS, mg/L	17	40	43
BOD ₅ , mg/L	36	42	39
COD, mg/L	59	65	76
PO ₄ ³⁻ -P, mg/L	0,8	6,3	8,5
NH ₄ -N, mg/L	0,6	1,6	1,3

Kết quả phân tích chất lượng bùn nạo vét từ hồ Kim Liên nhỏ được thể hiện trên *Bảng 4*.

Bảng 4. Chất lượng bùn trầm tích hồ Kim Liên nhỏ.

Thông số	Thứ nguyên	Bùn hồ Kim Liên nhỏ Trung bình (Min-Max)
pH _{KCl}	Tính theo KCl	7,4
Độ ẩm	% trọng lượng bùn tươi	88,5 (87,6-89,2)
Tổng chất rắn khô (DS)	% trọng lượng bùn tươi	11,5 (10,8-12,4)
Tổng chất rắn bay hơi (VS)	%DS	25,4 (24,1-26,7)
Tổng nitơ (TN)	%DS	0,5
Tổng photpho (TP)	%DS	0,74

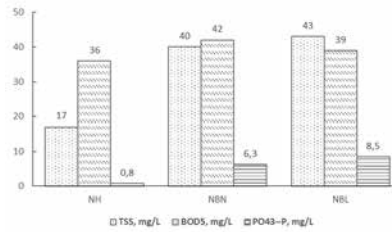


Hình 4. Hàm lượng photpho trong bùn trầm tích các hồ Hà Nội trước khi cải tạo [11].

Bùn trầm tích hồ Kim Liên nhỏ có độ ẩm và tỉ lệ thành phần hữu cơ (giá trị VS) cao hơn bùn nạo vét trong vũng Quán Gió hồ Bảy Mẫu do nước thải sinh hoạt và nước mưa xung quanh đổ vào nhưng máy chực

năm nay không được nạo vét. Tỉ lệ photpho trong thành phần chất khô (DS) rất lớn (0,74% hay 7400 mg/kg), cao hơn nhiều so với bùn trầm tích các HĐT Hà Nội theo nghiên cứu của NIPPON KOEI (2005) nêu trên *Hình 4* [11].

Tương quan giữa các thông số TSS, BOD₅ và ortho photphat (PO₄³⁻-P) trong các mẫu nước hồ và nước bùn được nêu trên *Hình 5*.



Hình 5. Tương quan giữa các thông số TSS, BOD₅ và PO₄³⁻-P trong các mẫu nước hồ (NH) và nước tách từ bùn hồ Kim Liên nhỏ (NBN, NBL)

Mặc dù trong nước hồ Kim Liên nhỏ hàm lượng PO₄³⁻-P không cao (0,8 mg/l) nhưng khi lấy mẫu bùn về để nén và lọc tách nước thì hàm lượng photpho này trong nước nén bùn (NBN) là 6,3 mg/l và trong nước rỉ lọc bùn (NBL) là 8,5 mg/l. Các giá trị này cao hơn rất nhiều so với các mẫu nước NNB và NRB của bùn hồ Bảy Mẫu. Như vậy, để thấy rằng bùn trầm tích hồ Kim Liên nhỏ có hàm lượng photpho (TP) lớn và hầu hết đã chuyển hóa thành PO₄³⁻ nên khi có điều kiện, nó sẽ tách khỏi tầng trầm tích để xâm nhập vào nước, để tạo nên nguy cơ phú dưỡng cho hồ.

Kết quả nghiên cứu mối quan hệ thành phần photpho trong pha nước và pha trầm tích của 2 nhóm HĐT Hà Nội nêu ở mục 4 cho thấy, do tích lũy P trong bùn lắng đáy hồ, một lượng lớn photpho đơn (dạng ortho photphat) ở đây dễ dàng xâm nhập vào nước hồ khi có điều kiện, gây hiện tượng phú dưỡng hồ. Tuy nhiên nguy cơ ô nhiễm môi trường nước hồ do phú dưỡng của HĐT nhóm 2, chưa được tách nước thải, nạo vét và kè bờ, cao hơn rất nhiều so với hồ nhóm 1.

5. ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP KIỂM SOÁT Bùn CẶN TRẦM TÍCH TRONG HĐT

Hiện nay có 2 cách tiếp cận đối với bùn trầm tích HĐT: xử lý trầm tích tại chỗ và nạo vét trầm tích.

Xử lý trầm tích tại chỗ thường được tiến hành bằng cách bổ sung các chế phẩm hóa chất, các vật liệu lên bề mặt hoặc vào trong trầm tích. Khi đó, các chất gây ô nhiễm của trầm tích sẽ bị cô lập và cố định lại, không còn khả năng tái nhập lại cột nước và ảnh hưởng đến chất lượng nước thủy vực và đời sống thủy sinh. Chất ô nhiễm thường được xử lý theo chiến lược này là photpho và một số chất hữu cơ độc hại. Do hàm lượng P cao, trầm tích của các hồ phú dưỡng thường bị thiếu khả năng liên kết P một cách tự nhiên. Kết quả là khả năng tái nhập vào nước của nhóm photpho nội tại kể trên được tăng lên. Vì thế, cần phải có các biện pháp tăng cường khả năng liên kết, khóa photpho trong trầm tích, ngăn chặn nguyên tố dinh dưỡng này tái nhập vào cột nước. Các muối có chứa kim loại vốn có sẵn trong môi trường hồ như nhôm (Al), sắt (Fe) và canxi (Ca) thường được sử dụng cho biện pháp này [14]. Khi chất keo tụ FeCl₃ cho vào nước, các hạt cặn trong nước bị mất tính ổn định, tương tác với nhau, kết cụm lại hình thành các bông cặn lớn, dễ lắng. Phen Fe(III) khi cho vào nước phân li thành ion Fe³⁺ và bị thủy phân thành Fe(OH)₃. Khi Fe(OH)₃ lắng xuống nó sẽ kéo theo các chất rắn lơ lửng. Quá trình keo tụ này sẽ làm trong nước, đồng thời khi lắng xuống một phần phen sắt còn lại sẽ hấp thụ photphat đơn tạo liên kết phức FeO(OH) ~ PO₄³⁻ nằm lại trong trầm tích [6,12]. Sử dụng chế phẩm Redoxy -3C (có thành phần tương tự như tổ hợp Riplox [14]), trong giai đoạn 2016 đến 2018, Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội cũng đã cải thiện đáng kể chất lượng nước ở một số HĐT [4, 5].

Một xu hướng nổi lên trong khoảng thời gian gần đây kết hợp giữa hai nhóm biện pháp xử lý tại chỗ bằng hóa chất và bao phủ chủ

động nêu trên. Trong xu thế này, các nhóm nghiên cứu bổ sung các kim loại có khả năng khóa phốt pho nội tại vào vật liệu đất sét và hòa trộn vào nước hồ [20]. Tuy nhiên, do đây là xu hướng mới, thời gian thử nghiệm chưa lâu nên cần thêm thời gian kiểm nghiệm hiệu quả lâu dài đối với hệ sinh thái hồ.

Trầm tích sẽ được tách ra khỏi lòng thủy vực bằng các biện pháp nạo vét, hút định kỳ hoặc theo dự án, giai đoạn. Đây là biện pháp vật lý được sử dụng phổ biến, dễ dàng loại bỏ các chất ô nhiễm, độc hại vĩnh viễn khỏi bùn hồ. Các hoạt động nạo vét thường xuyên được tiến hành để khôi phục toàn bộ dung tích của các đập và hồ chứa nước ngọt, vốn bị suy giảm theo thời gian do sự bồi lắng làm giảm dung tích lưu vực hoặc làm hỏng các tuabin trong trường hợp đập thủy điện. Đặc điểm trầm tích, điều kiện thủy văn, phương pháp và mùa nạo vét... là những yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình nạo vét bùn và tải lượng dinh dưỡng bên trong hồ. Giải pháp nạo trầm tích đã chứng minh được tác dụng của mình trong loại bỏ chất ô nhiễm qua các dự án trong hàng chục năm qua. Ngoài ra, nạo vét bùn cũng sẽ trả lại chiều sâu điều hòa cần thiết cho các hồ đô thị. Tuy nhiên, quá trình quan trắc và theo dõi lâu dài cũng cho thấy những nhược điểm của giải pháp này như là: giá thành nạo vét và xử lý bùn hồ; nguy cơ tái xâm nhập vào nước hồ của các chất ô nhiễm vốn bị khóa trong trầm tích; ... Các hoạt động nạo vét phải được lập kế hoạch cẩn thận và chỉ bắt đầu khi đáp ứng tất cả các yêu cầu kỹ thuật [13]. Tiếp theo biện pháp nạo trầm tích, cơ quan quản lý môi trường địa phương có thể lựa chọn một trong các hướng thải bỏ, chôn lấp, xử lý, tái sử dụng hoặc kết hợp các hướng trên. Như vậy quy trình kiểm soát bùn trầm tích ở 2 nhóm hồ sẽ khác nhau. Phương án được đề xuất đối với từng nhóm hồ cụ thể như sau:

- Đối với hồ nhóm 1: không nạo vét hoặc nạo vét theo định kỳ và xử lý trầm tích tại chỗ.

- Đối với hồ nhóm 2: thực hiện 2 bước. Trong đó, bước 1 là tách nước thải, kè bờ, nạo vét và xử lý ô nhiễm tồn lưu; và bước 2 là triển khai các hoạt động như hồ nhóm 1.

Tuy nhiên, như những vấn đề trình bày ở phần 2 bài báo và từ những kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở phần 4 bài báo, thấy rằng sau mỗi lần nạo vét bùn cặn hoặc thay đổi điều kiện khí hậu thời tiết, sự tái nhập photpho hòa tan từ bùn đáy vào nước hồ gia tăng, thay đổi cân bằng nitơ và photpho trong nước hồ, làm bùng nổ tảo và gây hiện tượng phú dưỡng hồ. Vì vậy sau mỗi lần nạo vét hoặc khi chuyển giao thời tiết, cần bổ sung CuSO_4 hình thức phun trực tiếp hoặc cùng với tổ hợp hóa chất khác như: FeCl_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$... để khử và kết tủa lắng đọng tảo [17].

Trong bối cảnh HĐT có chiều sâu nông, dễ bị lấn chiếm và phải tiếp nhận nước mưa và nước thải từ HTTN chung, bên cạnh các biện pháp trên bờ như tách dòng thải, thay đổi bề mặt phủ và hoạt động sử dụng đất, nạo vét bùn hồ sẽ giúp trả lại dung tích của hồ, loại bỏ đáng kể các chất ô nhiễm có nồng độ cao ra khỏi hồ [2]. Trầm tích có thể gây ra rủi ro nhất định, nhưng ở mức độ đủ thấp sau khi nạo vét các rủi ro này có thể bị loại bỏ dần nhờ các quá trình lý sinh hóa tự nhiên theo thời gian. Giải pháp nạo vét bùn hồ phụ thuộc rất nhiều vào hiện trạng của thủy vực, như là: sự xói mòn, bồi tụ trong lòng thủy vực,.... Sau quá trình nạo vét, tuy sẽ dần được phục hồi tự nhiên nhưng HĐT luôn phải được giám sát chặt chẽ.

6. KẾT LUẬN

Hà Nội có lượng lớn hồ đô thị đóng vai trò điều tiết nước mưa và đảm bảo cảnh quan sinh thái. Tuy nhiên do tiếp nhận nước mưa và nước thải chưa qua xử lý còn chứa nhiều photpho nên phần lớn các hồ này diễn ra quá trình phú dưỡng, làm giảm sút chất lượng nước và gây ô nhiễm môi trường khu vực hồ.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu quá trình chuyển hóa photpho cho 2 nhóm HĐT Hà Nội: vũng Quán Gió hồ Bảy Mẫu đại diện cho các nhóm hồ được kè bờ, tách nước thải và thường xuyên được

loại bỏ bùn cặn lắng đọng; và hồ Kim Liên nhỏ, đại diện cho nhóm hồ chưa được tách nước thải, chưa kè bờ và ít được nạo vét, loại bỏ bùn cặn trầm tích. Từ kết quả phân tích chất lượng nước hồ, bùn cặn lắng đọng và nước bùn từ trầm tích đáy hồ, thấy rằng bùn hồ chứa hàm lượng photpho lớn, dễ chuyển hóa thành photpho đơn và xâm nhập trở lại nước hồ để gây phú dưỡng. Rủi ro giảm sút chất lượng nước, suy thoái hồ phụ thuộc đặc điểm và giải pháp kiểm soát hai nhóm hồ này.

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu chuyển hóa photpho trong HĐT, đề xuất giải pháp kỹ thuật tổng hợp để giảm thiểu suy thoái và cải thiện chất lượng nước cho các hồ này theo nguyên tắc ngăn chặn ngấm ô nhiễm từ bên ngoài vào như là: kè bờ và tách nước thải (cho nhóm hồ thứ hai); và loại bỏ nguồn ô nhiễm trong hồ, như là: nạo vét bùn cặn lắng đọng, kiểm soát để khóa lại photpho trong bùn trầm tích bằng tổ hợp hóa chất gốc muối kim loại sắt hoặc nhôm,... (cho cả hai nhóm hồ).

Lời cảm ơn: Trần Thuý Anh được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2022.TS005.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Alexander J. Horne, Charles R. Goldman. *Limnology*. McGraw-Hill, Inc. International Edition, 1994.
- Chen, C., Kong, M., Wang, Y. Y., Shen, Q. S., Zhong, J. C., & Fan, C. X., Dredging method effects on sediment resuspension and nutrient release across the sediment-water interface in Lake Taihu, China. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(21), 2021, pp. 25861-25869.
- Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội. *Báo cáo số 1604/BC-TNHN: Hiện trạng quản lý hồ sơ theo phân cấp và hiện trạng môi trường các hồ trên địa bàn TP Hà Nội*. Hà Nội, 2017.
- Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội. *Báo cáo Đánh giá công tác xử lý, duy trì chất lượng các hồ trên địa bàn thành phố Hà Nội bằng chế phẩm Redoxy - 3C sau hơn 1 năm triển khai thực hiện (từ tháng 10/2016 đến tháng 12/2017)*. Hà Nội, 2018.
- Công ty TNHH MTV Thoát nước Hà Nội. *Báo cáo tình hình quản lý các hồ điều hòa ở Hà Nội năm 2019*. Hà Nội, 2020.
- Cooke, G.D., Welch, E.B., Peterson, S.A. & Nichols, S.A.. *Restoration and management of lakes and reservoirs* (Third Edition). Boca Raton, FL: Taylor & Francis, 2005.
- Guidelines of Lake Management, Volume 9: Reservoir Water Quality Management*. International Lake Environmental Committee, 1999.
- Trần Đức Hạ. Báo cáo đề tài NCKH cấp Bộ Giáo dục và Đào tạo: *Hoàn thiện mô hình kiểm soát ô nhiễm nước sông hồ trong quá trình đô thị hoá*. Mã số: B2000-34-63. Hà Nội, 2001.
- Trần Đức Hạ. *Hồ đô thị: Quản lý kỹ thuật và kiểm soát ô nhiễm*. Nhà xuất bản Xây dựng, 2016.
- Melcalf and Eddy Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 4th edition, McGraw-Hill, Inc., New York, 2004.
- NIPPON KOEI. *Báo cáo nghiên cứu khả thi Dự án thoát nước Hà Nội giai đoạn II- Phần: Đánh giá tác động môi trường*. Hà Nội, 2005.
- Perrow M., Davy A. (eds.). *Handbook of ecological restoration. Vol. 1 and 2*. Cambridge University Press Cambridge, UK, 2002
- Renella, G., Recycling and reuse of sediments in agriculture: Where is the problem? *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), 2021, pp 1-12.
- Ripl, W. Biochemical oxidation of polluted lake sediment with nitrate: a new lake restoration method. *Ambio*, 1976, pp 132-135.
- Steven C. Chapa. *Surface Water Quality Modeling*. McGraw-Hill, 1997.
- TCVN 7957:2023 - *Thoát nước: Mạng lưới bên ngoài và công trình - Các yêu cầu thiết kế*.
- Bùi Thị Thủy, Trần Thuý Anh, Trần Đức Hạ, Nguyễn Danh Tiến. Nghiên cứu ứng dụng tổ hợp hóa chất xử lý ô nhiễm nước hồ đô thị Hà Nội quy mô phòng thí nghiệm. *Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng (ĐHXD)*, tập 15 (4V), 2021, trang 98-108.
- Nguyễn Đức Toàn. *Thiết lập mô hình kiểm soát chất lượng nước hệ thống HĐT thuộc đồng bằng sông Hồng*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật. Trường Đại học Xây dựng, 2005.
- Vollenweider R.A. Advanced in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Memorie Ist. Ital. Idrobiol.* 33, 1976, pp 53-83.
- Zhang, C., Zhu, M. ying, Zeng, G. ming, Yu, Z. gang, Cui, F., Yang, Z. zhu, & Shen, L. qing. Active capping technology: a new environmental remediation of contaminated sediment. *Environmental Science and Pollution Research*, 23(5), 2016, pp 4370- 4386.