

NGHIÊN CỨU SỰ LAN TRUYỀN CỦA THỦY NGÂN TRONG NƯỚC VÙNG VEN BIỂN CỦA SÔNG HỒNG

DISTRIBUTION OF MERCURY IN WATER OF THE RED RIVER ESTUARY

NGUYỄN THỊ THÚY NHUNG*, NGUYỄN THỊ THU

Viện Môi trường, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

*Email liên hệ: nhungntt.vmt@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này đưa ra các đặc trưng của sự phân bố và lan truyền các dạng thủy ngân trong nước vùng ven biển cửa sông Hồng. Nghiên cứu được thực hiện tại 37 điểm ở hạ lưu sông Hồng và ven biển vịnh Bắc Bộ 2 lần/năm từ năm 2016-2023. Nồng độ thủy ngân hòa tan vào mùa lũ gấp 1,4-2,2 lần so với mùa khô. Theo dòng chảy hướng ra biển, nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước giảm dần. Nồng độ thủy ngân lơ lửng tăng dần và đạt cực đại tại khu vực cửa sông và vùng giao thoa nước ngọt - nước mặn, sau đó giảm dần ở vùng nước mặn ven biển. Nồng độ thủy ngân trong nước có mối tương quan tuyến tính thuận với nhiệt độ nước, COD, TSS, TOC, nồng độ sắt và mối tương quan tuyến tính nghịch với độ muối. Kết quả nghiên cứu đưa ra mô hình hồi quy tuyến tính thể hiện mối liên hệ giữa nồng độ thủy ngân trong nước và các yếu tố môi trường. Phương pháp được sử dụng là mô hình Black box và hồi quy tuyến tính. Mô hình có thể được sử dụng để dự đoán nồng độ và sự lan truyền thủy ngân trong nước tại vùng biển cửa sông Hồng.

Từ khóa: Thủy ngân, vùng cửa sông Hồng, mô hình Black box, tương quan, mô hình hồi quy.

Abstract

In this study are presented the characteristics of mercury forms' distribution and spread in coastal waters of the Red River estuary. The study was conducted at 37 locations in the downstream and coastal region of the Bac Bo bay twice annually from 2016 to 2023. The concentration of dissolved mercury in the flood season is 1,4-2,2 times higher than in the dry season. Following the flow towards the sea, the concentration of dissolved mercury in water gradually decreases. The concentration of suspended mercury gradually increases and reaches a maximum in the estuary area and the freshwater-saltwater interface, then gradually decreases in the coastal saltwater area. The

concentration of mercury in water is positively correlated with water temperature, COD, TSS, TOC, iron concentration, and negatively correlated with salinity. The research results provide a linear regression model showing the relationship between mercury concentration in water and environmental factors. The method used is the Black box model and model linear regression. The model can be used to predict mercury concentrations and dispersion in water in the Red River estuary.

Keywords: Mercury, the Red River, model linear regression, correlation, black box model.

1. Mở đầu

Thủy ngân và các hợp chất của nó là những chất có độc tính cao đối với con người và sinh vật. Độc tính của thủy ngân không những phụ thuộc vào nồng độ và tính chất hóa học, mà còn phụ thuộc vào dạng tồn tại của chúng [1, 2]. Trong hệ sinh thái thủy, thủy ngân có thể tồn tại ở dạng hòa tan, liên kết với các chất rắn lơ lửng, dạng tích tụ ở trầm tích và trong cơ thể sinh vật [3]. Mỗi dạng tồn tại trên có tác động khác nhau đến môi trường và đến cơ thể sinh vật và con người. Vì vậy khi nghiên cứu sự ô nhiễm thủy ngân ở một khu vực nhất định thì cần thiết phải nghiên cứu dạng tồn tại và sự lan truyền ở trong môi trường đó.

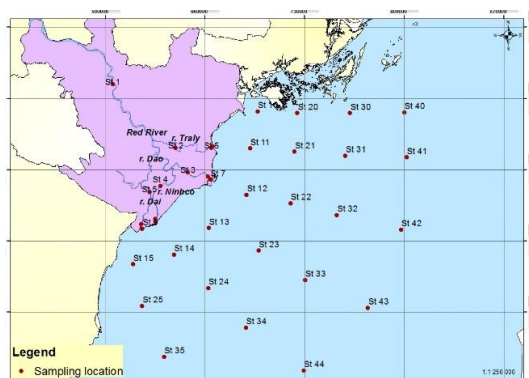
Đối tượng của nghiên cứu là sự lan truyền và tích tụ của thủy ngân ở vùng ven biển cửa sông Hồng. Sông Hồng là sông dài nhất chảy trên lãnh thổ Việt Nam, là nguồn nước và cũng là nơi thu nhận nước thải từ những khu công nghiệp và khu dân cư [4]. Các nguồn thủy ngân ở vùng cửa sông Hồng có thể kể đến là chất thải từ các khu công nghiệp ở miền bắc Việt Nam và nam Trung Quốc, đặc biệt là tái chế kim loại, thiêu hủy và chôn lấp rác thải, bùn thải sau xử lý nước và sự phát thải thủy ngân ở quy mô toàn cầu [5].

Mục tiêu của bài báo là nghiên cứu sự lan truyền và phân bố của thủy ngân ở vùng biển cửa sông Hồng. Để đạt được mục tiêu trên, nghiên cứu đã thực hiện những nhiệm vụ sau: Xác định hàm lượng thủy ngân trong nước sông và nước biển ven bờ, lập bản đồ phân

bổ và lan truyền thủy ngân, lập mô hình hồi quy tuyến tính thể hiện sự lan truyền thủy ngân trong môi trường nước vùng cửa sông Hồng.

2. Phương pháp nghiên cứu

Mẫu nước nghiên cứu được lấy tại 37 điểm (Hình 1) ở hạ lưu sông Hồng, các nhánh sông và vùng biển cửa sông 2 lần/năm (mùa khô và mùa lũ) trong giai đoạn từ năm 2016 đến năm 2023.



Hình 1. Bản đồ các khu vực nghiên cứu tại vùng cửa sông Hồng

Để đo nồng độ thủy ngân hòa tan cần tiến hành như sau: Lọc 500ml mẫu nước qua lớp giấy lọc 0,45 μ m và lấy 100ml nước qua lọc để phân tích.

Đối với dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng: Sấy chất rắn lơ lửng lọc ở trên ở nhiệt độ phòng và tiến hành các bước phân tích.

Nồng độ thủy ngân trong các mẫu được đo bằng phương pháp quang phổ hấp thụ nguyên tử theo phương pháp của EPA 1631e trên máy RA-915+ [6].

Các thông số đo tại hiện trường như nhiệt độ, độ muối, pH, DO được đo bằng máy WQC - 20A, COD, BOD₅, TOC, TSS được đo bằng máy UV-254.

Xác định độ lệch chuẩn của phép đo. Trong nghiên cứu này tác giả sử dụng mẫu lặp 9 lần dung dịch chuẩn 0,5 μ g/l. Kết quả trung bình khi phân tích mẫu lặp là 0,51 μ g/l, độ lệch chuẩn 0,01 μ g/l, độ thu hồi là 102% cho thấy phép đo đạt độ chính xác và tập trung. Giá trị t_s ứng với $p \leq 0,01$ là 2,36. Giới hạn phát hiện của phương pháp là $S \times t_s = 0,02 \mu\text{g/l}$.

Mô hình hồi quy tuyến tính được xây dựng dựa trên phân tích dữ liệu thực tế và nội suy. Xây dựng mô hình toán học được bắt đầu từ mô hình hộp đen Black box, trong đó thể hiện dữ liệu đầu vào (các yếu tố môi trường) và dữ liệu đầu ra (nồng độ thủy ngân trong nước). Dữ liệu được xử lý bằng các phần mềm thống kê SPSS 26 và STATGRAPHICS Centurion XVIII. Mối liên hệ tương quan giữa nồng độ thủy ngân trong

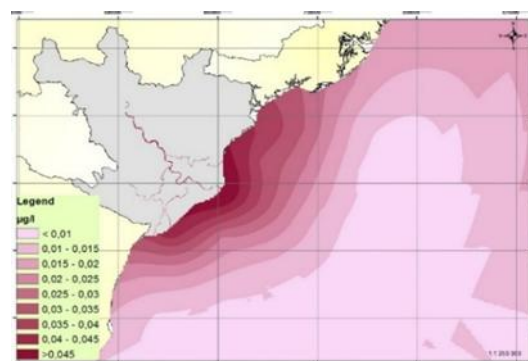
nước và các thông số môi trường được xem xét dựa trên hệ số tương quan Pearson ($-1 \leq r \leq 1$) với độ tin cậy đến 95% ($p \leq 0,05$). Bản đồ ô nhiễm được xây dựng bằng nội suy không gian theo phương pháp Kriging trên ArcGIS 10.2.2.

3. Kết quả nghiên cứu

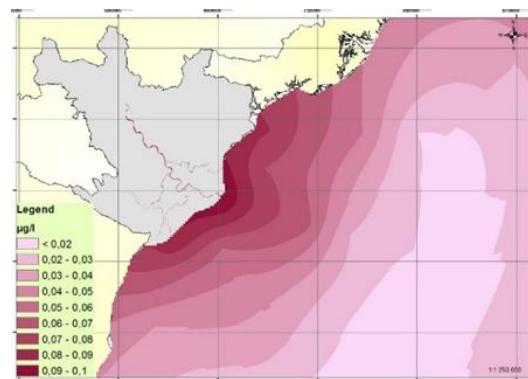
3.1. Phân bố thủy ngân hòa tan trong nước vùng cửa sông Hồng

Nồng độ trung bình của thủy ngân dạng hòa tan trong nước vùng cửa sông Hồng vào mùa khô dao động ở mức $0,025 \pm 0,02$ ($\mu\text{g/l}$) và mùa lũ ở mức $0,055 \pm 0,007$ ($\mu\text{g/l}$) [7].

Bản đồ lan truyền của thủy ngân hòa tan trong nước sông và nước biển ven bờ theo các mùa được minh họa trong Hình 2 và 3.



Hình 2. Sự lan truyền của thủy ngân dạng hòa tan trong nước vùng cửa sông Hồng vào mùa khô



Hình 3. Sự lan truyền của thủy ngân dạng hòa tan trong nước vùng cửa sông Hồng vào mùa lũ

Từ các hình trên có thể thấy rõ rằng nồng độ thủy ngân hòa tan ở các khu vực đồng bằng sông Hồng, nơi tập trung các khu công nghiệp và đô thị lớn như Hà Nội, Việt Trì duy trì ở mức cao ở cả hai mùa lũ và khô. Sau đó nồng độ này giảm dần theo hướng biển do sự pha loãng tự nhiên, và lại tiếp tục tăng dần đến cửa sông $0,08 \pm 0,01$ ($\mu\text{g/l}$). Quá trình hấp phụ thủy ngân ở trên bề mặt các chất hấp phụ tự nhiên và quá trình lắng

động thủy ngân xuống lớp trầm tích là nguyên nhân chính làm giảm nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước biển. Tại các khu vực cách bờ hơn 50km nồng độ giảm xuống chỉ còn $0,03 \pm 0,022$ ($\mu\text{g/l}$).

Nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước vào mùa lũ cao hơn nồng độ chất này vào mùa khô từ 1,4 đến 2,2 lần ở cả vùng hạ lưu sông và vùng ven biển vịnh Bắc Bộ. Nguyên nhân của hiện tượng này là do vào mùa lũ lưu lượng và vận tốc dòng chảy lớn, cùng với sự chênh lệch nhiệt độ giữa lớp nước mặt và lớp đáy dẫn đến sự hòa tan thủy ngân từ trầm tích đáy vào môi trường nước. Đây là hiện tượng ô nhiễm thứ cấp thường xảy ra đối với kim loại nặng và các chất ô nhiễm khó phân hủy.

Kết quả phân tích tương quan giữa các thông số đầu vào và nồng độ thủy ngân trong nước được thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Mối liên hệ tương quan giữa nồng độ thủy ngân trong nước và một số thông số môi trường nước vùng cửa sông Hồng

Thông số	Hệ số tương quan	
	r	p
Nhiệt độ nước	0,671	0,000
pH	-0,386	0,027
Độ muối	-0,864	0,000
COD	0,795	0,000
BOD ₅	0,558	0,001
Nồng độ sắt	0,732	0,000

Từ Bảng 1 có thể thấy rằng giữa nồng độ thủy ngân hòa tan và nhiệt độ nước có mối liên hệ tuyến tính thuận (hệ số $r=0,67$, $p<0,05$), tức là khi nhiệt độ nước tăng thì nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước cũng tăng. Trong điều kiện nhiệt độ nước tăng cao thì cũng đẩy nhanh các quá trình metyl hóa thủy ngân trong nước và quá trình giải phóng các hợp chất hòa tan của thủy ngân từ lớp trầm tích đáy vào các tầng nước [8, 9].

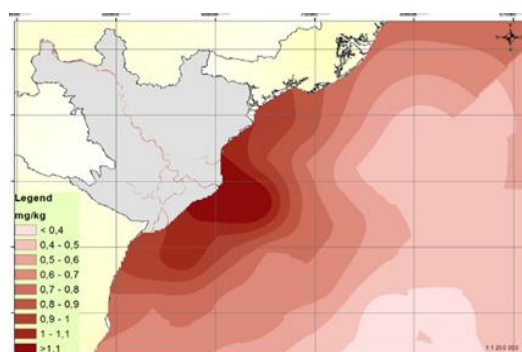
Mối liên hệ tuyến tính nghịch giữa nồng độ thủy ngân hòa tan và độ muối ($r=-0,864$, $p<0,05$) là minh chứng cho sự giảm nồng độ thủy ngân hòa tan theo chiều hướng ra biển. Sự giảm nồng độ này có thể được giải thích do sự hấp phụ mạnh thủy ngân hòa tan trên bề mặt các chất lơ lửng, đặc biệt tại khu vực giao thoa nước ngọt - nước mặn và sau đó là do sự lắng đọng các hợp chất thủy ngân xuống trầm tích ven biển [8].

Hệ số tương quan giữa nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước và COD thể hiện mối liên hệ tuyến tính thuận khá chặt chẽ giữa hai thông số trên ($r=0,795$,

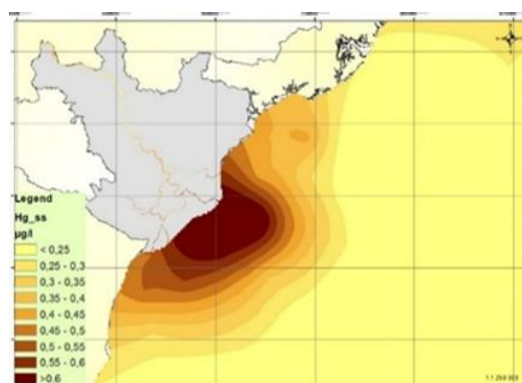
$p<0,05$). Khi hàm lượng COD tăng thì đẩy mạnh quá trình giải phóng thủy ngân từ hệ phức với các axit humic tại ranh giới “nước - trầm tích”, vì vậy làm tăng nồng độ các hợp chất thủy ngân hòa tan trong nước [9].

3.2. Phân bố dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước vùng cửa sông Hồng

Sự lan truyền của dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng được minh họa trong Hình 4 và 5.



Hình 4. Sự lan truyền của dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong lớp nước mặt vùng cửa sông Hồng



Hình 5. Sự lan truyền của dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong lớp nước đáy vùng cửa sông Hồng

Hàm lượng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước vùng cửa sông Hồng trung bình đạt $0,311 \pm 0,061$ (mg/kg) ở lớp nước mặt và $0,72 \pm 0,027$ (mg/kg) ở lớp đáy [7]. Nồng độ này tại các nhánh thuộc hệ thống sông Hồng đều tăng dần theo chiều hướng ra biển và đạt giá trị lớn nhất tại các cửa sông. Tại cửa Ba Lạt giá trị này đạt 0,6-0,7 (mg/kg) ở lớp nước mặt và 0,9-1,25 (mg/kg) ở lớp đáy. Nước ven biển có nồng độ thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng ở mức $0,45 \pm 0,08$ (mg/kg) ở lớp nước mặt và $0,9 \pm 0,15$ (mg/kg) ở lớp đáy.

Sự tăng mạnh nồng độ thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng ở lớp nước đáy ven biển, đặc biệt ở khu vực giao thoa nước ngọt - nước mặn cách bờ 20-30 (km) có thể được giải thích do sự tăng mạnh các chất keo tụ tự nhiên, nhất là các hydroxit nhôm và sắt. Các chất này sẽ kéo theo các chất lơ lửng, trong đó có thủy ngân xuống lớp trầm tích đáy. Điều này làm tăng mạnh nồng độ thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng tại lớp đáy tại khu vực này, theo đó nồng độ thủy ngân trong nước giảm dần. Tại các vị trí cách bờ trên 40km nồng độ thủy ngân lơ lửng chỉ còn $0,08 \pm 0,03$ (mg/kg), có nghĩa là gần 90% lượng thủy ngân lơ lửng đã bị giữ lại tại vùng giao thoa nước ngọt - nước mặn. So với các vùng cửa sông khác của nước ta, ví dụ như cửa sông Bạch Đằng [8], xu hướng lan truyền và phân bố dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước vùng cửa sông Hồng cũng tương tự, tuy nhiên hàm lượng này ở vùng cửa sông Hồng cao hơn hẳn so với vùng cửa sông Bạch Đằng (gấp từ 1,5-3,1 lần).

Nồng độ thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước có mối liên hệ với các yếu tố môi trường. Các mối liên hệ tương quan giữa các yếu tố này được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Mối liên hệ tương quan giữa nồng độ thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng và một số thông số môi trường nước vùng cửa sông Hồng

Thông số	Nồng độ Hg liên kết với chất rắn lơ lửng ở lớp nước mặt		Nồng độ Hg liên kết với chất rắn lơ lửng ở lớp nước đáy	
	r	p	r	p
Nhiệt độ nước	0,644	0,000	0,542	0,001
DO	0,37	0,034	0,389	0,025
Nồng độ sắt	0,85	0,000	0,805	0,000
TSS	0,533	0,001	0,364	0,037
TOC	0,863	0,000	0,824	0,000

Từ Bảng 2 có thể thấy rằng, giữa nồng độ thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng và nhiệt độ nước có mối liên hệ tuyến tính thuận ($r=0,644$ và $0,542$, $p<0,05$), có nghĩa là khi nhiệt độ nước tăng thì nồng độ thủy ngân dạng liên kết với chất rắn lơ lửng ở cả lớp nước mặt và đáy đều tăng và ngược lại. Khi nhiệt độ nước tăng thì cũng đẩy nhanh tốc độ các phản ứng phân hủy các hợp chất hữu cơ chứa thủy ngân ở trầm tích và giải phóng các hợp chất chứa thủy ngân vào môi trường nước.

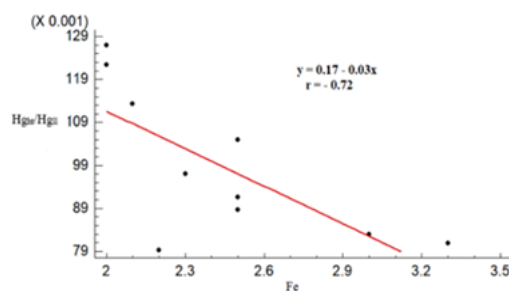
Các mối tương quan giữa nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước với các thông

số DO và TSS tuy vẫn có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$) nhưng các mối tương quan tuyến tính thuận này đều yếu, không thể hiện rõ sự phụ thuộc của nồng độ thủy ngân lơ lửng liên kết với chất rắn lơ lửng với các thông số DO và TSS.

Nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước cửa sông Hồng có mối liên hệ tuyến tính thuận với giá trị tổng cacbon hữu cơ TOC ($r=0,863$ và $0,824$, $p<0,05$). Nồng độ cacbon hữu cơ càng cao thì càng tạo ra các phức chất hữu cơ với thủy ngân ở dạng lơ lửng.

Rõ ràng rằng các hydrat sắt là chất keo tụ tự nhiên, hấp phụ các hợp chất thủy ngân lên bề mặt các hạt lơ lửng, vì vậy khi tăng nồng độ sắt hydrat cũng làm tăng nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước [9, 10]. Các kết quả phân tích thống kê cũng chứng minh cho hiện tượng này. Hệ số tương quan giữa nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng và nồng độ sắt trong nước khá cao, có ý nghĩa thống kê ($r=0,85$ và $0,805$, $p<0,05$) và là minh chứng cho mối liên hệ tuyến tính thuận chặt chẽ giữa hai thông số này.

Ngoài có tương quan tuyến tính thuận với nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng thì tại các vùng nước lơ lửng nồng độ sắt trong nước còn có mối liên hệ tuyến tính nghịch với độ linh động địa hóa của thủy ngân trong nước, đại lượng được đặc trưng bởi tỷ lệ giữa nồng độ thủy ngân hòa tan và dạng liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước. Mối tương quan này được thể hiện trong Hình 6.



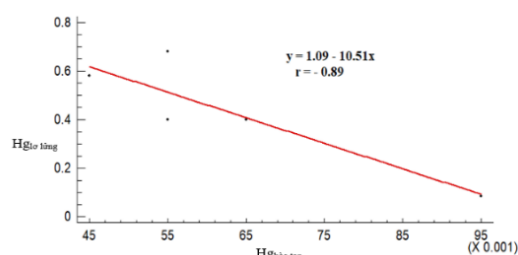
Hình 6. Mối tương quan giữa độ linh động địa hóa của thủy ngân và nồng độ sắt trong nước

Từ đồ thị tương quan ở Hình 6 có thể rút ra kết luận rằng, ở vùng ven biển nơi giao thoa giữa nước ngọt và nước biển, độ linh động địa hóa của thủy ngân trong nước, đặc trưng bởi tỷ lệ nồng độ thủy ngân hòa tan và dạng liên kết với chất rắn lơ lửng, giảm khi nồng độ sắt trong nước tăng. Theo nghiên cứu của Gordeeva V.V. và Licishin A.P. (2014) [11], vùng giao thoa với nồng độ cao các chất lơ lửng, trong đó có các hạt lơ lửng hydrat sắt làm tăng sự hấp phụ tự nhiên

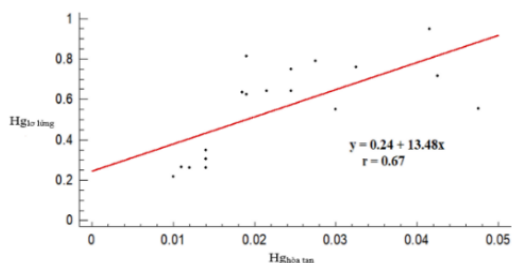
của thủy ngân lên bề mặt các hạt này. Tại khu vực giao thoa vùng biển của sông Hồng, hiện tượng này làm tăng nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng, do đó tỷ lệ giữa nồng độ thủy ngân hòa tan và dạng liên kết với chất rắn lơ lửng tại khu vực này giảm mạnh, tương ứng với giảm độ linh động địa hóa của thủy ngân trong nước.

Tại các khu vực nước ngọt hay nước mặn, nồng độ hydrat sắt giảm nên vai trò của nó đến sự hấp phụ hợp chất thủy ngân không đáng kể. Kết quả phân tích thống kê cũng không phát hiện các mối tương quan có ý nghĩa giữa nồng độ sắt và tính linh động địa hóa của thủy ngân trong nước tại các khu vực này.

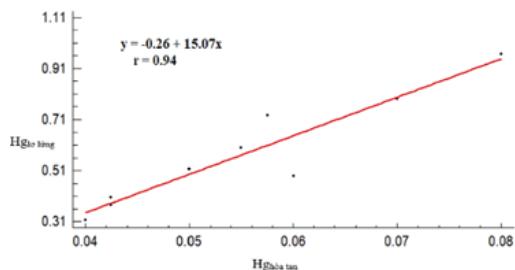
Ngoài ra nồng độ của các hợp chất thủy ngân hòa tan và dạng liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước có mối liên hệ tuyến tính với nhau. Hình 7 minh họa mối tương quan giữa hai giá trị thông số này tại vùng cửa sông Hồng.



a) Vùng nước ngọt



b) Vùng nước lợ



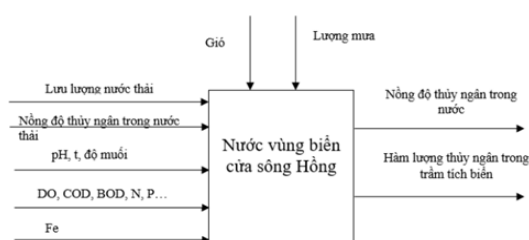
c) Vùng nước mặn

Hình 7. Mối tương quan giữa nồng độ thủy ngân hòa tan và dạng liên kết với chất rắn lơ lửng trong nước vùng cửa sông Hồng

Tại vùng nước ngọt ở sông Hồng và các nhánh sông, nồng độ $Hg_{lơ\ lửng}$ và $Hg_{hòa\ tan}$ có mối tương quan tuyến tính nghịch ($r = -0,89$, $p < 0,05$), nghĩa là khi nồng độ thủy ngân hòa tan tăng thì nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng giảm và ngược lại. Tại các khu vực cửa sông, vùng nước lợ và vùng nước mặn, mối liên hệ giữa hai thông số này là tuyến tính thuận ($r = 0,94$ và $0,67$). Đây là minh chứng rõ ràng cho thấy khi tăng nồng độ thủy ngân hòa tan thì nồng độ các hợp chất lơ lửng của nó cũng tăng lên do sự tăng mạnh của các quá trình keo tụ, hấp phụ và lắng đọng thủy ngân xuống trầm tích biển.

3.3. Mô hình lan truyền thủy ngân trong nước vùng cửa sông Hồng

Các mô hình toán học được xây dựng dựa trên “mô hình hộp đen” (Black box). Trên Hình 8 thể hiện mô hình Black box với hai quá trình “đầu vào - đầu ra” của thủy ngân trong nước vùng cửa sông Hồng.



Hình 8. Mô hình Black box thể hiện sự phân bố thủy ngân trong nước vùng biển cửa sông Hồng

Các yếu tố chính của hệ sinh thái thủy liên quan đến sự lan truyền thủy ngân trong nước (dữ liệu đầu vào), bao gồm lưu lượng nước thải, nồng độ thủy ngân đầu vào, pH, nhiệt độ nước, độ muối, vận tốc dòng chảy, DO, BOD₅, COD, tổng nitơ, tổng phospho, nồng độ sắt trong nước, cũng như các yếu tố thời tiết (tốc độ gió, lượng mưa,...). Dữ liệu đầu ra là nồng độ thủy ngân trong nước và trong trầm tích đáy.

Trong nghiên cứu này để xây dựng mô hình lan truyền thủy ngân trong nước, nhóm tác giả sử dụng mô hình hồi quy tuyến tính [12] với các mối liên hệ tương quan giữa các yếu tố của hệ sinh thái thủy:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

Trong đó, $x_1, x_2, \dots, x_n$ - các biến không phụ thuộc (dữ liệu đầu vào) của quá trình lan truyền thủy ngân trong nước (vận tốc dòng chảy, pH, nhiệt độ nước, độ muối, DO, COD,...);

y - Biến phụ thuộc (dữ liệu đầu ra) của quá trình lan truyền thủy ngân (nồng độ thủy ngân trong nước, hàm lượng thủy ngân trong trầm tích đáy).

Do có mối tương quan tuyến tính chặt chẽ giữa

nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước và nồng độ dạng thủy ngân liên kết với chất rắn lơ lửng nên khi xây dựng mô hình phân bố thủy ngân trong nước nhóm tác giả xem xét mô hình đối với thủy ngân hòa tan. Mô hình toán học thể hiện mối liên hệ giữa nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước và các thông số của môi trường nước cửa sông Hồng có dạng phương trình hồi quy tuyến tính sau:

$$y = -0,009 + 0,005 \times pH - 0,001 \times S + 0,002 \times COD + 0,009 \times Fe \quad (2)$$

Trong đó, y - Nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước;

pH - Giá trị pH của nước;

S - Độ muối;

COD - Giá trị COD;

Fe - Nồng độ sắt trong nước.

Để đánh giá sự hữu dụng của mô hình hồi quy tuyến tính có thể sử dụng hệ số xác định R^2 và phương sai của mô hình [11]. Kết quả phân tích mô hình lan truyền thủy ngân trong nước nhận được hệ số xác định R^2 là 0,865. Nói cách khác, mô hình lan truyền thủy ngân hòa tan trong nước giải thích được 86,5% bộ số liệu thực tế. Phương sai của mô hình nhỏ (0,0089), hệ số $p < 0,05$ có nghĩa là mô hình lan truyền này có ý nghĩa về mặt thống kê, có thể được sử dụng để dự đoán nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước. Ngoài ra trong mô hình này, các thông số đầu vào của mô hình đều có ý nghĩa thống kê và đều có ảnh hưởng đến sự lan truyền thủy ngân trong nước, trong đó nồng độ muối của nước là thông số có ảnh hưởng lớn nhất. với hệ số $\sigma = 0,479$ đạt giá trị lớn nhất.

Như vậy, mô hình hồi quy tuyến tính thể hiện nồng độ thủy ngân hòa tan trong nước có thể được ứng dụng trong thực tế để dự đoán nồng độ và lan truyền thủy ngân trong nước biển ven bờ vùng cửa sông Hồng.

4. Kết luận

Đặc trưng của sự lan truyền thủy ngân trong nước vùng cửa sông Hồng là sự giảm dần theo chiều dòng chảy ra biển ở các vùng nước ngọt, sau đó tăng mạnh ở khu vực cửa sông Hồng và các nhánh, đặc biệt là ở khu vực nước lợ, nơi giao thoa giữa các khối nước sông và biển. Qua khu vực giao thoa này, nồng độ thủy ngân hòa tan và dạng liên kết với chất rắn lơ lửng đều giảm mạnh.

Kết quả nghiên cứu thể hiện rõ mối liên hệ tuyến tính giữa nồng độ thủy ngân trong nước và các thông số môi trường như nhiệt độ nước, DO, COD, TOC, độ muối và nồng độ sắt trong nước.

Nghiên cứu đã áp dụng mô hình Black box và mô hình hồi quy tuyến tính để xây dựng mô hình phân bố và lan truyền thủy ngân trong nước biển cửa sông Hồng. Mô hình được xây dựng có ý nghĩa thống kê với hệ số xác định cao, giải thích được bộ số liệu thực tế với độ chính xác cao, vì vậy có khả năng ứng dụng trong thực tế để dự đoán nồng độ và sự lan truyền thủy ngân trong nước vùng cửa sông Hồng.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT24-25.154.**

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Võ Văn Thiệp, Lê Thị Thu Phương, Nguyễn Thị Hương Bình. (2024). *Sự tích lũy thủy ngân trong cơ cá Diêu nâu (Siganus guttatus Bloch, 1787) theo tuổi và mùa ở vùng ven biển tỉnh Quảng Bình*. Tạp chí Khoa học Và Công nghệ Việt Nam, Số 66(1). [https://doi.org/10.31276/VJST.66\(1\).36-41](https://doi.org/10.31276/VJST.66(1).36-41)
- [2] Ahsan, Wazir Aitizaz và các cộng sự. (2023), *Solvent-based soil washing of mercury-contaminated soil with eco-friendly washing agents*, Water, Air, and Soil Pollution. Vol.234(2), tr.69-75.
- [3] Phạm Kim Phuong, Nguyễn Thị Dung (2007). *To study accumulation of heavy metals As, Cd, Pb and Hg in Bivalves from natural environment*, Science and technology (in Vietnam). Vol.45, No.5, pp.57-62.
- [4] Luu T N M, Garnier J, Billen G, Orange D, Nemery J, Le T P Q, Tran H T, Le L A (2017). *Hydrological regime and water budget of the Red River Delta (Northern Vietnam)*, Journal of Asian Earth Sciences, № 37. pp.219-228.
- [5] Pacyna E.G., J.M. Pacyna, F. Steenhuisen, S.J. Wilson (2006). *Global anthropogenic mercury emission inventory for 2000*, Atmospheric Environment. Vol.40, №22. pp.4048-4063.
- [6] EPA (2002). *Method 1631e: Mercury in water; sediment, tissue by Oxidation, Purge and Trap, and Cold vapor Atomic Fluorescence Spectrometry*, Environmental Protection Agency, USA.
- [7] Nguyễn Thị Thúy Nhung (2024). *Nghiên cứu đặc tính lan truyền và tích tụ của thủy ngân trong hệ sinh thái thủy vùng cửa sông Hồng (Việt Nam)*, Luận án Tiến sĩ khoa học sinh học, Trường Đại học THPTQG Astrakhan, Liên Bang Nga.

- [8] Le Xuan Sinh, Mai Huong (2020). *Bioaccumulation of mercury in clams Meretrix Lyrata (Sowerby, 1825) cultured at the Bach Dang estuary: A recommendation for safe daily dosage consumption of clams in Vietnam*, Vietnam Journal of Science and Technology. № Vol.58(4). pp.493-504.
- [9] Lê Xuân Sinh (2015). *Nghiên cứu một số dạng tồn tại của thủy ngân ở vùng cửa sông Bạch Đằng*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Số 53 (3), tr.372-380.
- [10] Hai Luu Duc, et al (2010). *Accumulation of mercury in sediment and bivalves from Cua Dai estuary, Hoi An city*, VNU Journal of Science: Earth Sciences. № 26. pp.48-54.
- [11] Гордеев В.В., Лисицын А.П. (2014), *Геохимическое взаимодействие пресноводной и морской гидросфер*, Геология и геофизика, т. 55, № 5 - 6, pp.721-744.
- [12] Nguyễn Văn Tuấn (2022). *Mô hình hồi quy và khám phá khoa học*, NXB Tổng hợp TP. Hồ Chí Minh, TP. Hồ Chí Minh.

Ngày nhận bài:	03/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 1:	12/04/2025
Ngày nhận bản sửa lần 2:	20/04/2025
Ngày duyệt đăng:	20/04/2025