

ĐẶC ĐIỂM PHÂN BỐ CÁC NGUYÊN TỐ VI LƯỢNG TRONG TRẦM TÍCH TẦNG MẶT VỊNH TIỀN YÊN

Trần Đăng Quy¹, Nguyễn Tài Tuệ², Mai Trọng Nhuận^{*}

¹ Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội

² Trung tâm Nghiên cứu Môi trường Biển (CMES) - Trường Đại học Ehime, Nhật Bản

Email: quytd@vnu.edu.vn.

Tóm tắt

Nghiên cứu được tiến hành ở vịnh Tiên Yên thuộc tỉnh Quảng Ninh với 13 nguyên tố vi lượng (NTVL), bao gồm Ni, Co, V, Cd, Cu, Mn, Mo, Cr, Pb, Zn, As, Hg, Sb nhằm làm sáng tỏ về cơ chế phân bố và đánh giá chất lượng trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên. Kết quả cho thấy, trầm tích tầng mặt vịnh chủ yếu là bùn cát, cát bùn và cát. Hàm lượng các NTVL tập trung cao trong trầm tích trước các cửa sông, giảm dần khi ra xa bờ và đạt giá trị thấp nhất ở phía đông nam. Các NTVL có mối tương quan đồng biến chặt chẽ với nhau, hàm lượng Tổng Cacbon hữu cơ (TOC) và tỉ lệ cấp hạt mịn có ảnh hưởng đến sự phân bố và hàm lượng các NTVL trong trầm tích tầng mặt vịnh. Theo Hướng dẫn tạm thời chất lượng trầm tích của Canada (ISQGs), hệ số địa tích lũy (Igeo) và hệ số tải ô nhiễm (PLI), trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên đã bị ô nhiễm bởi các NTVL (As, Hg, Sb, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Mo).

Abstract

SPATIAL DISTRIBUTION OF TRACE ELEMENTS IN SURFACE SEDIMENTS OF TIEN YEN BAY

The study was done in Tien Yen Bay of Quang Ninh province (northeast Vietnam) to examine the spatial distribution of 13 trace elements, including Ni, Co, V, Cd, Cu, Mn, Mo, Cr, Pb, Zn, As, Hg, Sb in surface sediments of the Bay, in order to understand the mechanisms of trace element concentrations and to assess sediment quality. The results show that the surface sediments were composed of sandy mud, muddy sand, and sand. The trace elements were highly concentrated in sediments close to river mouths and were decreased seaward and southeasternward of the bay. The trace elements positively correlated with each other. The trace element concentrations were controlled by the TOC content and the fine sediment grain size (<0,063 mm). According to the Canadian ISQGs, Geoaccumulation index, and Pollution load index, the surface sediments were contaminated by trace elements (As, Hg, Sb, Cu, Pb, Zn, Cd, Cr, Mo).

1. Mô đầu

Vịnh Tiên Yên nằm ở phía đông bắc của tỉnh Quảng Ninh, kéo dài từ cửa sông Tiên Yên lên đến Móng Cái, giới hạn về phía tây bởi dãy đảo chắn Cái Bàu - Vĩnh Thực. Phạm vi nghiên cứu bao gồm phần lớn diện tích vịnh Tiên Yên và vùng biển bên ngoài (Hình 1). Sự phân bố và ô nhiễm NTVL trong trầm tích vịnh Tiên Yên đã được nghiên cứu trong quá trình lập bản đồ địa chất môi trường, trong đề tài KC.09.05/06-10, trong quy hoạch nuôi trồng thủy sản [5] và các nghiên cứu khác [1; 2]. Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn còn chưa hệ thống và đầy đủ. Sự thiếu hụt thông tin này đã gây khó khăn cho công tác quy hoạch sử dụng bền vững tài nguyên thiên nhiên vịnh Tiên Yên. Mục tiêu của nghiên cứu này là làm sáng tỏ đặc điểm phân bố, mức độ ô nhiễm, ảnh hưởng của tỉ lệ cấp hạt mịn và tổng carbon hữu cơ (TOC) tới các NTVL trong trầm tích vịnh Tiên Yên. Kết quả nghiên cứu góp phần xây dựng cơ sở dữ liệu khoa học cho việc định hướng sử dụng bền vững tài nguyên, bảo vệ môi trường vịnh.

2. Phương pháp nghiên cứu

Hoạt động khảo sát thực địa được tiến hành vào tháng 7 năm 2007, trong quá trình khảo sát thực địa thu thập 36 mẫu trầm tích tầng mặt (Hình 1). Mẫu trầm tích được lấy bằng gầu inox, đóng vào túi PE và bảo quản lạnh ở nhiệt độ dưới 4 °C cho đến khi phân tích. Mẫu trầm tích được sấy khô ở nhiệt độ 60 °C đến khối lượng không đổi. Mẫu trầm tích khô qua các bước xử lý khác nhau được phân tích độ hạt bằng phương pháp rây và pipet, phân tích TOC bằng máy phân tích tỉ số khối lượng đồng vị (IRMS) (ANCA-SL, PDZ Europa, Ltd.), phân tích NTVL bằng phương pháp Khối phổ plasma cảm ứng (ICP-MS) (Flan 9000, PerkinElmer).

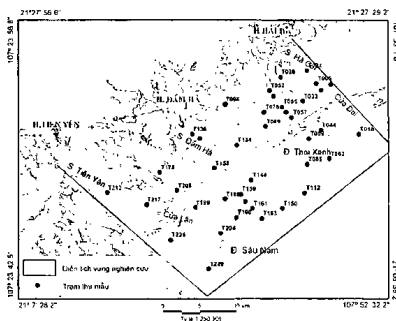
Phương pháp tính toán Hệ số tập trung: $Td = C_{tb}/C_n$, trong đó: C_{tb} và C_n lần lượt là hàm lượng trung bình của NTVL trong khu vực nghiên cứu và trong trầm tích biển nông thể giới (HLBTG) theo Vinogradov (1967).

Phương pháp tính toán Hệ số I_{geo} : được xác định bởi $I_{geo} = \log_2 (C_n/1,5B_n)$, với C_n là hàm lượng NTVL trong mẫu, B_n là hàm lượng NTVL nền lấy theo hàm lượng trung bình trong đá phiến sét của Turekian và Wedepohl (1961), 1,5 là hệ số hiệu chỉnh. Theo I_{geo} , mức độ ô nhiễm các NTVL được chia ra làm 7 nhóm: không ô nhiễm (≤ 0); từ không ô nhiễm đến ô nhiễm trung bình ($0 - 1$); ô nhiễm trung bình ($1 - 2$); từ ô nhiễm trung bình đến ô nhiễm nặng ($2 - 3$); ô nhiễm nặng ($3 - 4$); ô nhiễm nặng đến ô nhiễm rất nặng ($4 - 5$); và ô nhiễm rất nặng (> 5).

Phương pháp tính toán Hệ số nhiễm bẩn (CF): được sử dụng để đánh giá mức độ tích lũy NTVL trong trầm tích. Hệ số CF được xác định theo công thức $CF = C_m/C_n$, trong đó, C_m là hàm lượng NTVL trong mẫu, C_n là hàm lượng NTVL nền cũng lấy theo hàm lượng trung bình trong đá phiến sét của Turekian và Wedepohl (1961). Từ hệ số CF, Müller (1979) đã tính hệ số tái ô nhiễm (PLI): $PLI = \sqrt[n]{CF_1 * CF_2 * CF_3 * ... * CF_n}$, trong đó, $CF_1, CF_2, CF_3, ..., CF_n$ lần lượt là hệ số nhiễm bẩn của các kim loại vi lượng thứ 1, 2, 3, ..., n. Theo PLI, mức độ ô nhiễm tổng các NTVL trong trầm tích được phân thành 5 cấp: $1 > PLI$ - Không ô nhiễm; $1 < PLI < 3$ - Ô nhiễm nhẹ; $3 < PLI < 12$ - Ô nhiễm trung bình; $12 < PLI < 48$ - Ô nhiễm nặng; $PLI > 48$ - Ô nhiễm rất nặng [3].

3. Kết quả và thảo luận

Trầm tích tầng mặt trong vùng chủ yếu là cát bùn và bùn cát ở phía trong vịnh và trầm tích cát ở vùng biển bên ngoài các đảo chắn. Trên sơ đồ phân bố tỉ lệ cấp hạt mịn ($<0,065$ mm) thấy rõ trầm tích có tỉ lệ cấp hạt mịn cao nằm ở trung tâm vịnh, từ Hòn Miêu ra đến bên ngoài cửa Bồ Vàng rồi sau đó giảm dần ra xung quanh cả về phía trong bờ lẫn phía ngoài biển (Hình 2). Hàm lượng TOC trong trầm tích tầng mặt tương đối thấp, thường gặp trong khoảng 0,2 - 1,23 %, trung bình là 0,72 % (Bảng 1). Hàm lượng TOC cao nhất lên đến 2,02 % trong trầm tích trước cửa sông Đầm Hà và phía bắc đảo Sậu Nam, thấp nhất là 0,20 % gặp trong trầm tích ở phía tây nam, giữa đảo Sậu Nam và đảo Cái Bầu. Hàm lượng TOC thể hiện rõ xu thế giảm dần từ giữa vịnh cả về phía đất liền lẫn về phía biển, khu vực trong vịnh cao hơn vùng biển bên ngoài (Hình 2). Như vậy, đặc điểm địa hình ảnh hưởng mạnh đến sự phân bố tỉ lệ cấp hạt mịn ($<0,063$ mm) và vật chất hữu cơ (VCHC) trong trầm tích. Do hệ thống đảo chắn bên ngoài nên môi trường trong vịnh khá yên tĩnh, thuận lợi cho sự tích tụ các trầm tích hạt mịn và VCHC ở gần bờ phía tây các đảo chắn. Hơn nữa, khả năng hấp phụ VCHC của trầm tích hạt mịn cao hơn so với trầm tích hạt thô nên sự phân bố của TOC có những nét tương đồng với sự phân bố của tỉ lệ cấp hạt mịn.



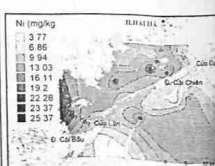
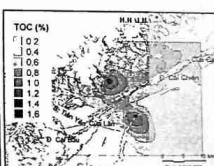
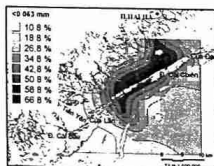
Hình 5. Sơ đồ khu vực nghiên cứu và vị trí thu mẫu

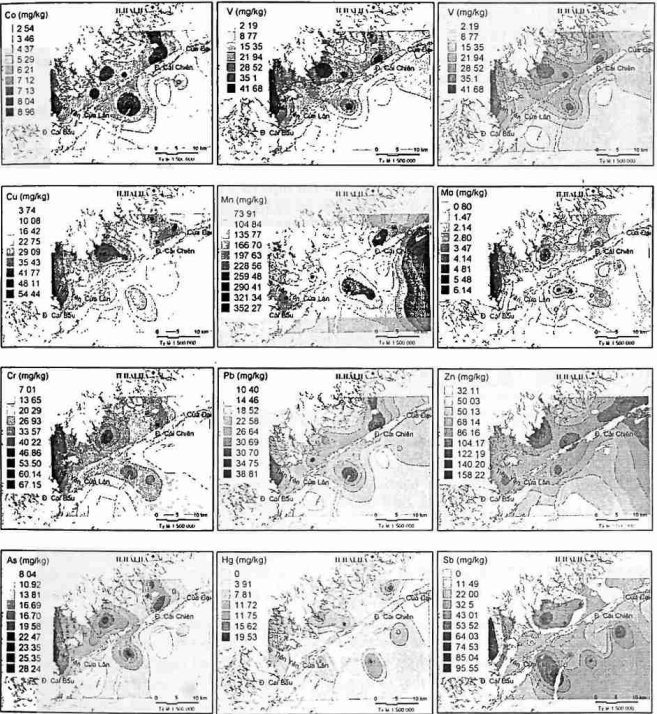
Khảo sát Hệ số tập trung Td cho thấy: trong 13 NTVL thì Ni, Co, V, Cu, Cd, Mn, Mo, Cr, Pb, Zn có Td <1, tức hàm lượng thấp hơn so với HLTBTG; As, Hg, Sb có Td >1, tức hàm lượng cao hơn HLTBTG, thậm chí là cao hơn nhiều lần như Sb. Tuy nhiên, hàm lượng các NTVL không ổn định trong trầm tích nên nhiều NTVL có hệ số Td dưới 1,0 nhưng lại có sự tập trung cao tại các khu vực riêng lẻ gây ô nhiễm trầm tích. Xu thế chung của các NTVL là tập trung cao trước các cửa sông; phía trong vịnh cao hơn vùng biển phía ngoài; thấp nhất ở phía nam đảo Sâu Nam và phía đông đảo Cái Chiên (Hình 2). Sự phân bố này khá tương đồng với sự phân bố của tỉ lệ cacbon hữu cơ và hàm lượng TOC trong trầm tích.

Bảng 1. Hàm lượng NTVL (mg/kg) và TOC (%) trong trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên

	Ni	Co	V	Cu	Cd	Mn	Mo
Giá trị trung bình	15,7	6,3	25,5	24,7	0,08	215,4	3,0
Giá trị nhỏ nhất	3,8	2,5	2,2	3,7	0,00	73,9	0,8
Giá trị lớn nhất	34,6	11,7	68,0	67,1	0,24	383,2	7,5
Hệ số Td	0,11	0,16	0,18	0,19	0,20	0,25	0,33
	Cr	Pb	Zn	As	Hg	Sb	TOC
Giá trị trung bình	28,6	25,0	99,2	17,1	6,6	46,0	0,72
Giá trị nhỏ nhất	7,0	10,4	32,1	5,2	0,0	11,5	0,20
Giá trị lớn nhất	73,4	51,0	212,3	34,0	39,1	116,6	2,02
Hệ số Td	0,33	0,56	0,76	1,7	6,6	46,0	

Dựa trên phân tích mối tương quan, 13 NTVL có thể chia làm hai nhóm (Bảng 2). Nhóm thứ nhất gồm 10 NTVL Ni, Co, V, Cd, Cu, Mn, Mo, Cr, Pb, As có mối tương quan cấp đồng biến từ trung bình đến rất chặt chẽ với nhau. Nhóm thứ hai gồm ba NTVL còn lại thường không thể hiện mối tương quan hoặc tương quan yếu với nhóm thứ nhất vì hàm lượng ba NTVL này không ổn định, có nhiều mẫu có hàm lượng dưới giới hạn phát hiện của phép phân tích. Hàm lượng TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn thường có tương quan yếu tới trung bình, một số ít là tương quan chặt với các NTVL nhóm thứ nhất, không tương quan với nhóm NTVL thứ hai.





Hình 6. Sơ đồ phân bố tỉ lệ cấp hạt mịn, hàm lượng TOC và các kim loại vi lượng trong trầm tích tầng mặt khu vực vịnh Tiên Yên

Dưới tác động của TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn, phần lớn mối tương quan giữa các NTVL nhóm thứ nhất bị giảm tính chặt chẽ nhưng làm tăng tính chặt chẽ đối với nhóm NTVL thứ hai. Như vậy, có thể nhận thấy giữa các NTVL và hàm lượng TOC, tỉ lệ cấp hạt mịn có mối liên hệ khá chặt chẽ với nhau.

Bảng 3 trình bày kết quả phân tích phương sai đa nhân tố đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn tới hàm lượng NTVL trong trầm tích tầng mặt. Với mức ý nghĩa $p \leq 0,05$ của tiêu chuẩn Fisher, sự phân bố và hàm lượng 11 NTVL Ni, Co, V, Cd, Cu, Mn, Mo, Cr, Pb, Zn, As chịu ảnh hưởng của hàm lượng TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn nhưng Hg và Sb lại không chịu ảnh hưởng.

Tất cả các kết quả trên đều cho thấy hàm lượng TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn có ảnh hưởng đến hàm lượng các NTVL trong trầm tích và mối quan hệ giữa chúng là tương quan đồng biến. Hàm lượng NTVL thường tập trung cao trong trầm tích có tỉ lệ cấp hạt mịn cao và hàm lượng TOC cao là do các NTVL ít khi tồn tại độc lập trong môi trường biển mà thường tồn tại dưới dạng hấp phụ trên bề mặt hạt mịn và VCHC. Như vậy, có thể thấy vai trò quan trọng của yếu tố địa hình đến sự phân bố và hàm lượng các NTVL trong trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên. Yếu tố địa hình mà cụ thể là các đảo chắn đã tác động đến sự phân bố của tỉ lệ cấp hạt mịn, đồng thời cùng với tỉ lệ cấp hạt mịn của trầm tích tác động đến sự phân bố VCHC, cuối cùng là thông qua các yếu tố này tác động đến sự phân bố của NTVL trong trầm tích.

Bảng 2. Ma trận tương quan cặp của các NTVL, TOC, tỉ lệ cấp hạt mịn trong trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên ($n = 36$)

	Ni	Co	V	Cd	Cu	Mn	Mo	Cr	Pb	Zn	As	Hg	Sb	TOC	FGZ
Ni	1,00														
Co	0,82	1,00													
V	0,73	0,88	1,00												
Cd	0,66	0,72	0,70	1,00											
Cu	0,61	0,70	0,72	0,67	1,00										
Mn	0,61	0,77	0,60	0,56	0,49	1,00									
Mo	0,72	0,77	0,75	0,65	0,56	0,47	1,00								
Cr	0,82	0,88	0,87	0,75	0,74	0,59	0,83	1,00							
Pb	0,75	0,93	0,90	0,71	0,67	0,68	0,72	0,84	1,00						
Zn	0,26	0,29	0,49	0,34	0,44	0,22	0,40	0,28	0,31	1,00					
As	0,71	0,90	0,89	0,71	0,71	0,68	0,76	0,87	0,88	0,29	1,00				
Hg	0,09	0,09	0,10	0,29	0,31	0,03	0,25	0,18	0,01	0,18	0,13	1,00			
Sb	0,53	0,48	0,35	0,46	0,61	0,42	0,56	0,49	0,32	0,23	0,44	0,39	1,00		
TOC	0,57	0,67	0,72	0,64	0,59	0,34	0,51	0,67	0,78	0,36	0,67	-0,06	0,03	1,00	
FGZ	0,40	0,51	0,48	0,40	0,28	0,31	0,29	0,44	0,63	0,21	0,46	-0,22	-0,12	0,78	1,00

Ghi chú: in đậm là tương quan với $p \leq 0,01$, in đậm nghiêng là tương quan với $p \leq 0,05$, FGZ là tỉ lệ cấp hạt mịn.

Bảng 3. Kết quả phân tích phương sai đa nhân tố đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn tới sự phân bố và hàm lượng các NTVL trong trầm tích tầng mặt

Mặt	Ni		Co		V		Cd		Cu		Mn		Mo	
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.
TOC	16,48	0,00	28,26	0,00	36,95	0,00	24,03	0,00	18,59	0,00	4,41	0,04	11,76	0,00
< 0,063 mm	6,55	0,02	11,80	0,00	10,06	0,00	6,51	0,02	2,99	0,09	3,64	0,07	3,06	0,09
TOC * (< 0,063)	18,71	0,00	34,68	0,00	50,54	0,00	28,61	0,00	24,68	0,00	4,63	0,04	16,95	0,00
	Cr		Pb		Zn		As		Hg		Sb			
	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.	F	Sig.		
TOC	28,31	0,00	53,20	0,00	4,94	0,03	27,31	0,00	0,12	0,73	0,03	0,86		
< 0,063 mm	8,12	0,01	22,31	0,00	1,64	0,21	9,17	0,01	1,73	0,20	0,51	0,48		
TOC * (< 0,063)	40,26	0,00	66,35	0,00	4,81	0,04	39,02	0,00	0,01	0,93	0,35	0,56		

Ghi chú: F - Tiêu chuẩn Fisher, Sig. - mức ý nghĩa, in đậm là có chịu ảnh hưởng với $p \leq 0,05$.

Sử dụng Hệ số địa tích lũy (I_{geo}) để đánh giá mức độ ô nhiễm NTVL trong trầm tích cho thấy, Ni, V, Cd, Mn, Cr không gây ô nhiễm; Co, Cu từ không gây ô nhiễm đến ô nhiễm nặng; Mo, Pb, Zn, As từ không gây ô nhiễm đến ô nhiễm trung bình; Hg từ không gây ô nhiễm đến ô nhiễm rất nặng; Sb gây ô nhiễm từ trung bình đến rất nặng.

Kết quả tính toán Hệ số nhiễm bẩn (CF) cho thấy, Co, Cu, Mo, Pb, Zn, As, Hg, Sb đã gây nhiễm bẩn trầm tích tầng mặt với hệ số $CF > 1$. Trong 36 mẫu thì hệ số PLI nhỏ nhất là 0,3 và lớn nhất là 2,0, trong đó 20 mẫu có hệ số $PLI \leq 1$ và 16 mẫu có hệ số $PLI > 1$. Như vậy, có 16/36 mẫu trầm tích tầng mặt quan sát trên toàn vịnh đã bị ô nhiễm các NTVL ở mức độ nhẹ.

Đánh giá chất lượng trầm tích theo Igeo và CF cho biết mức độ tích lũy NTVL so với hàm lượng nền. Theo PLI cho phép đánh giá chất lượng tổng thể về NTVL của trầm tích. Tuy nhiên, để khẳng định hàm lượng các NTVL trong trầm tích đã tác động xấu đến sinh vật thủy sinh hay chưa, cần đánh giá chất lượng trầm tích theo ISQGs [4]. Đối sánh với ISQGs, trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên đã bị ô nhiễm bởi 6/13 NTVL bao gồm Cu, Cr, Pb, Zn, As và Hg (Bảng 4). Theo đó, ô nhiễm As và Hg xảy ra trên diện rộng với tần suất bắt gặp lần lượt là 34/36 và 28/36 mẫu; ô nhiễm Cr chỉ có ở các cửa sông Đầm Hà, Đường Hoa và phía bắc đảo Sâu Nam. Ô nhiễm Cu, Pb, Zn trong trầm tích quan sát thấy ở phía đông bắc vịnh và các cửa sông Đường Hoa, Đầm Hà, bắc đảo Sâu Nam và cửa Bò Vàng. Kim loại ô nhiễm mạnh nhất là Hg với hệ số ô nhiễm (Tic) đối với mức hiệu ứng có ngưỡng (TEL) là 1,9 - 300, thậm chí vượt cả mức hiệu ứng có thể (PEL), sau đó là Cu với hệ số ô nhiễm là 1,0 - 14,3, As gây ô nhiễm với hệ số 1,1 - 4,7, ba kim loại Cr, Pb, Zn gây ô nhiễm với hệ số từ 1,0 - 1,7.

Bảng 4. Ô nhiễm các NTVL trong trầm tích tầng mặt so với ISQG

Kim loại	Hàm lượng (mg/kg)	Hệ số (Ttc)	Số mẫu ô nhiễm	Khu vực ô nhiễm
Cr	52,5 - 73,4	1,0 - 1,4	4/36	Các cửa sông Đầm Hà và Đường Hoa, bắc đảo Sầu Nam
Pb	30,3 - 51,0	1,0 - 1,7	10/36	Các cửa sông Đầm Hà và Đường Hoa, bắc đảo Sầu Nam
Zn	124,2 - 212,3	1,0 - 1,7	10/36	Đông bắc vịnh, cửa sông Đường Hoa, bắc đảo Sầu Nam
As	7,9 - 34,0	1,1 - 4,7	34/36	Toàn vịnh
Cu	19,1 - 267,1	1,0 - 14,3	17/36	Đông bắc vịnh, cửa sông Đường Hoa, cửa Bồ Vàng
Hg	0,2 - 39,1	1,9 - 300	28/36	Ven biển từ cửa sông Hà Cối đến cửa sông Đường Hoa, bắc đảo Sầu Nam, bắc cửa Đại

4. Kết luận

Địa hình đóng vai trò quan trọng trong sự phân bố của TOC, tỉ lệ cấp hạt mịn và hàm lượng các NTVL trong trầm tích tầng mặt vịnh Tiên Yên và hệ quả là ô nhiễm NTVL trong trầm tích vịnh. Do sự chi phối của địa hình mà hàm lượng TOC và tỉ lệ cấp hạt mịn tập trung cao ở trung tâm vịnh, hàm lượng các NTVL có xu thế giảm dần từ bờ ra khơi, từ phía đông bắc xuống phía tây nam. Hàm lượng TOC, tỉ lệ cấp hạt mịn có ảnh hưởng đến mối quan hệ, sự phân bố và hàm lượng các NTVL.

Lời cảm ơn: Tập thể tác giả chân thành cảm ơn ThS. Phạm Tiến Đức và PGS.TS. Lưu Văn Bôi đã giúp đỡ trong quá trình phân tích các NTVL, TS. Omori trong quá trình phân tích hàm lượng TOC, các Đề tài TN-11-31, QGTD 09-04 đã hỗ trợ kinh phí cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Thực Anh: 2006a, Đặc điểm địa hóa môi trường trầm tích bãi triều cửa sông ven biển khu vực Quảng Ninh và Hải Phòng, Trường Đại học Mỏ Địa chất 130 p.
- [2] Nguyễn Thị Thực Anh, and Nguyễn Khắc Giảng: 2006b, Hiện trạng ô nhiễm kim loại nặng của trầm tích bãi triều cửa sông vùng vịnh Tiên Yên - Hà Cối, Quảng Ninh: Tạp chí Địa chất, v. 293.

- [3] *Marisa Jesús Belzunce, et al.*: 2001, Accumulation of organic matter, heavy metals and organic compounds in surface sediments along the Nevión estuary (Northern Spain): Marine Pollution Bulletin, v. 42, p. 1407-1411.
- [4] *CCME*: 2002, Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life: Summary tables Update., In: Canadian sediment quality guidelines, 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment.
- [5] *Mai Trọng Nhuận, et al.*: 2002a, Đánh giá tác động môi trường phục vụ quy hoạch nuôi trồng thủy sản huyện Tiên Yên giai đoạn 2002 - 2010, Hà Nội, Bộ Thủy sản.

Người đọc nhận xét: TS Trần Đình Lân