VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences
Journal homepage: https://js.vnu.edu.vn/EES

Original Article

Mineral Compositions and Grain Sizes of Beach Sediments in Northern Vietnam

Hoang Thi Chien[1], Nguyen Dac Ve[1], Nguyen Ngoc Nam[2], Lai Thi Bich Thuy[2], Nguyen Thi Mai Luu[1], Bui Thi Thanh Loan[3], Dang Hoai Nhon[1,3,*]

[1]*Institute of Science and Technology for Energy and Environment, Vietnam Academy of Science and Technology, 246 Da Nang, Hai Phong, Vietnam*
[2]*Geological Analysis and Verification Center, Ministry of Natural Resources and Environment, Km9, Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*
[3]*Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 12th February 2025
Revised 15th March 2025; Accepted 9th May 2025

Abstract: Forty three surface samples from the beaches of northern Vietnam from Quang Ninh to Thua Thien Hue were sampled in July 2024 for grain size and mineralogy analysis. We aim to assess the dynamic conditions and mineral origins of beach sediments. Three types of sediments were distributed on the beach: coarse sand, medium sand, and fine sand. Coarse sand was well sorted and symmetrically skewed. Medium sand was very well to moderately sorted and fine to coarsely skewed. Fine sand was very well to moderately well sorted and fine to coarsely skewed. Mineral contents including quartz, illite, feldspar, kaolinite, goethite, chlorite, calcite, amphibole, and gibbsite were 80.3%, 5.2%, 3.1%, 2.3%, 2.0%, 1.8%, 1.1%, 0.9%, and 0.1%, respectively. The mineral origins were from the mainland, characterized by quartz, feldspar, and amphibole; minerals as illite, chlorite, kaolinite, and goethite were products from chemical weathering of feldspar and amphibole; calcite from biological shells. Beach sediments were divided into three groups, characterized by particle size and quartz (lowest in group 1 and highest in group 3).

Keywords: Beach sediments, minerals, Northern of Vietnam, grain sizes.

* Corresponding author.
E-mail address: nhonhio@yahoo.com

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5293

Thành phần khoáng vật và cấp hạt trầm tích trên bãi biển phía bắc Việt Nam

Hoàng Thị Chiến[1], Nguyễn Đắc Vệ[1], Nguyễn Ngọc Nam[2], Lại Thị Bích Thủy[2], Nguyễn Thị Mai Lựu[1], Bùi Thị Thanh Loan[3], Đặng Hoài Nhơn[1,3,*]

[1]*Viện Khoa học công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 246 phố Đà Nẵng, Hải Phòng, Việt Nam*

[2]*Trung tâm Phân tích và Kiểm định Địa chất, Bộ Tài nguyên và Môi trường, Km9, Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

[3]*Học Viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 12 tháng 2 năm 2025
Chỉnh sửa ngày 15 tháng 3 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 9 tháng 5 năm 2025

Tóm tắt: Bãi biển phía bắc Việt Nam kéo dài từ Quảng Ninh đến Thừa Thiên Huế được khảo sát và thu mẫu vào tháng 7 năm 2024. Mẫu thu được phân tích thành phần cấp hạt và khoáng vật với tổng số 43 mẫu tầng mặt để đánh giá điều kiện động lực và nguồn gốc khoáng vật trên bãi biển. Trên bãi biển phân bố 3 loại trầm tích là cát thô có chọn lọc tốt, độ lệch đối xứng; cát trung có chọn lọc từ rất tốt đến trung bình và độ lệch nghiêng về hạt mịn đến thô; cát mịn có chọn lọc từ rất tốt đến trung bình tốt và độ lệch nghiêng về hạt mịn đến thô. Hàm lượng khoáng vật có thạch anh, illit, fenspat, kaolinit, gơtit, clorit, canxit, amphibol, gibxit lần lượt tương ứng 80,3%, 5,2%, 3,1%, 2,3%, 2,0%, 1,8%, 1,1%, 0,9%, 0,1%. Nguồn gốc của khoáng vật từ lục địa chiếm đa số đặc trưng bởi thạch anh, fenspat, amphibol; illit, clorit, kaolinit và gơtit là sản phẩm từ quá trình phong hóa hóa học của fenspat và amphibol; và canxit từ vỏ sinh vật. Trầm tích bãi chia thành 3 nhóm, đặc trưng khác nhau bởi đường kính trầm tích và hàm lượng thạch anh tăng dần từ nhóm 1 đến nhóm 3.

Từ khóa: Trầm tích bãi, khoáng vật, phía Bắc Việt Nam, kích thước hạt.

1. Mở đầu

Bãi biển phân bố khá phổ biến ở Việt Nam, chúng đóng vai trò quan trọng trong đời sống xã hội, bãi biển là nơi thu hút hoạt động du lịch, vui chơi giải trí về mùa hè. Phần lớn bãi biển được cấu tạo bằng cát có nhiều nguồn gốc khác nhau chịu tác động mạnh mẽ từ biển đặc biệt là sóng biển. Thành phần cấp hạt và thành phần khoáng vật là những thành phần cơ bản của bãi biển, là thông tin căn bản để xác định đặc điểm động lực và nguồn gốc trầm tích bãi.

Bãi biển cũng chịu nhiều tác động nhân sinh và tự nhiên, đồng thời quay lại ảnh hưởng đến con người, quá trình xói lở bờ biển hiện đang diễn ra ở nhiều nơi trên thế giới. Phía bắc đảo Java (Indonesia), bờ biển được cấu tạo bằng cát, bùn và cuội sỏi, có quá trình bồi tụ và xói lở diễn ra đan xen nhưng nghiêng về phía xói lở nhiều hơn, các hoạt động phá rừng ngập mặn để xây

* Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: nhonhio@yahoo.com

https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5293

dựng mở rộng các công trình ven biển gây ảnh hưởng đến quá trình bồi tụ và xói lở ven biển cần tiếp cận để quản lý tốt bờ biển [1]. Tốc độ xói lở ở bờ biển 15 m/năm trong khoảng 2001-2005 là điểm nóng diễn ra tại phía nam bờ biển Baltic đã gây ra những thay đổi nghiêm trọng về độ cao của đất liền ven biển, biểu hiện bằng việc thu hẹp chiều rộng của bãi biển và giảm chiều cao của bãi biển và cồn cát [2]. Xói lở ở bờ biển phía tây Bangladesh đã ảnh hưởng đến cộng đồng, du lịch và môi trường cần được bảo vệ các khu vực dễ bị tổn thương ảnh hưởng trực tiếp bởi xói lở bờ biển, bằng chứng là thiệt hại đối với cơ sở hạ tầng, hộ gia đình, đất nông nghiệp và điểm du lịch [3]. Các nghiên cứu về thành phần khoáng vật nặng trên trầm tích bãi biển vùng Marmara (Turkey), tổ hợp khoáng vật nặng amphibol + pyroxen, epidot và opan đã xác định nguồn cung cấp, hướng di chuyển [4].

Ở Việt Nam có khoảng 99 điểm xói lở bờ biển kéo dài từ Móng Cái đến Kiên Giang, ở Quảng Ninh đến Ninh Bình có 17 điểm xói lở, từ Thanh Hóa đến Thừa Thiên Huế có 24 điểm, từ Đà Nẵng đến Bình Thuận có 33 điểm và từ Vũng Tàu đến Kiên Giang có 15 điểm [5]. Xói lở bờ biển ở Mũi Cà Mau diễn ra mạnh mẽ trong thời gian gần đây, từ 2016-2020 tốc độ xói lở 25–37 m/năm, tốc độ này cao hơn nhiều vùng trên thế giới [6], ở châu thổ sông Hồng (miền Bắc), tại những điểm xói lở tốc độ xói từ 2,5-18,0 m/năm [7].

Chất lượng môi trường ở bãi cát biển được đánh giá bằng phương pháp chỉ số (BQI) ở phía Bắc Việt Nam, bãi Quan Lạn, Minh Châu, Sơn Hào và Ngọc Vừng đạt chất lượng cao với chỉ số BQI > 0,65, ở bãi biển Trà Cổ, Cát Cò 1, Bãi Dài, Việt Mỹ 1 có chất lượng trung bình với chỉ số BQI từ 0,5 đến 0,65, ở bãi Đồ Sơn chất lượng kém với chỉ số BQI = 0,36. Điều này cũng phản ánh hiện trạng sử dụng tài nguyên bãi biển, để phát triển bền vững cần có những giải pháp phù hợp sử dụng dài lâu [8].

Trầm tích bãi biển tại ven bờ Phú Khánh (Khánh Hòa và Phú Yên) phân bố cát mịn, cát trung và cát lớn, các trầm tích này giàu thạch anh và ít khoáng vật nặng [9]. Trên bãi biển Bình Thuận, có 3 loại trầm tích phân bố là cát trung, cát thô, cát mịn, cùng với 6 loại khoáng vật gồm có illit, clorit, thạch anh, fenspat, argagonit và canxit [10]. Trên vùng biển và cửa sông Tam Quan (Bình Định) phân bố cát mịn, cát trung và cát thô với thành phần khoáng vật gồm thạch anh từ 70-80%, fenspat kali từ 10-15%, biotit từ 1-6%, muscovit từ 2-4%, plagiocla 3-5%, các khoáng vật nặng khoảng 2% [11]. Trầm tích trên cồn cát và bãi biển ở Thừa Thiên-Huế phân bố chủ yếu là cát mịn và cát trung. Những trầm tích này có hàm lượng thạch anh chiếm gần như tuyệt đối, ngoài ra còn có khoáng vật nặng như ilimenit, zircon, tuamalin. Nguồn trầm tích ở cồn cát và bãi biển từ các sông đưa ra được sóng biển và dòng chảy phân bố lại trong các thời kỳ biển tiến trong Pleitocene và Holocen [12].

Trầm tích trên các bãi biển phía tây vùng Borneo (Indonesia), kích thước hạt từ 1,52 - 2,59 mm tương ứng với cát rất thô và sỏi nhỏ phản ánh động lực bãi biển mạnh [13].

Trong trầm tích đới gian triều từ Kim Sơn (Ninh Bình) đến Móng Cái (Quảng Ninh) phân bố 8 loại trầm tích từ cát thô, cát trung, cát nhỏ, cát rất nhỏ, bột thô, bột rất thô, bột trung và bột mịn. Thành phần khoáng vật trong trầm tích này có thạch anh dao động từ 20 đến 83%, kaolinit từ 4 đến 23%, illit từ 7 đến 29%, clorit từ 3 đến 11%, gơtit từ 3 đến 9%, fenspat từ 3 đến 15% và montmorillonit từ 3 đến 6% [14].

Trầm tích đáy vịnh Cát Bà phân bố 8 loại theo mức độ phổ biến giảm dần gồm bột thô, bột rất thô, cát trung, cát rất mịn, cát rất thô, cát mịn, cát thô, sỏi rất mịn. Thành phần khoáng vật trong trầm tích có thạch anh 25%, illit 17%, aragonit 16%, kaolinit 13%, canxit 10%, clorit 5%, gơtit 4%, halit 3%, fenspat 2%, ngoài ra montmorillonit và dolomit hàm lượng nhỏ [15].

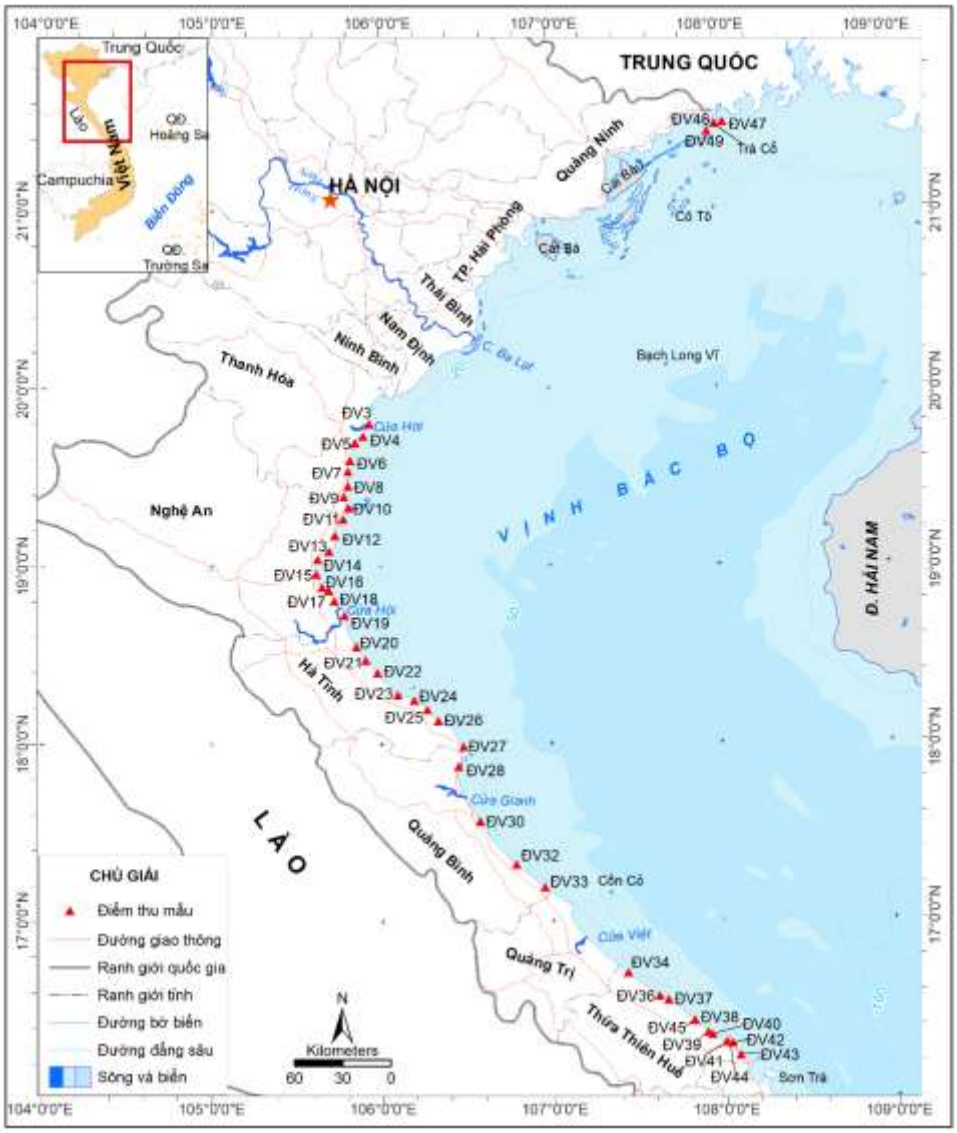
Thành phần trầm tích ở ven bờ Móng Cái có 6 loại trầm tích gồm cát thô, cát trung, cát mịn, cát rất mịn, bột thô và bột rất thô. Trong đó cát mịn phổ biến nhất ở tầng mặt, cát rất mịn phổ biến ở cột trầm tích cửa sông Ka Long, bột thô và bột rất thô phổ biến ở cột trầm tích ở Mũi Ngọc [16].

Nhìn chung ven bờ của Việt Nam đã có các nghiên cứu về cấp hạt và khoáng vật, song chủ yếu là phần ngập nước, trên các bãi biển còn khá

ít thông tin về thành phần khoáng vật và thành phần cấp hạt. Nghiên cứu này góp phần bổ sung các thông tin còn thiếu từ đó đánh giá điều kiện động lực và nguồn gốc các khoáng vật ở bãi biển phía bắc Việt Nam.

2. Tài liệu và phương pháp nghiên cứu

Tháng 7 năm 2024, trên các bãi biển kéo dài từ Móng Cái (Quảng Ninh) đến Phú Lộc (Thừa Thiên Huế), có 43 vị trí được thu và phân tích thành phần khoáng vật và cấp hạt, các mẫu nằm ở vị trí bãi cao (Hình 1). Mẫu trầm tích bãi được thu đựng trong túi nhựa và bảo quản ở nhiệt độ thường cho đến khi về phòng thí nghiệm. Tại phòng thí nghiệm mẫu được chia thành 2 phần cho phân tích thành phần cấp hạt và thành phần khoáng vật.



Hình 1. Sơ đồ thu mẫu trầm tích trên bãi biển phía Bắc Việt Nam.

Phân tích thành phần cấp hạt: Các mẫu được loại bỏ vật chất hữu cơ và muối bằng nước cất và H_2O_2. Các mẫu sau khi làm sạch được sấy khô ở 105 ºC, để nguội trong bình hút ẩm, sau đó rây trên các rây có kích thước từ 2000-50µm [17]. Các cấp hạt sau khi rây rồi cân từng cấp hạt để tính hàm lượng phần trăm mỗi cấp hạt. Sau đó sử dụng phần mềm GRADISTAT [18], các thông số trầm tích tính theo Folk [19] xác định tên trầm tích dựa trên đường kính trầm tích (Md), chọn lọc trầm tích (S_0), độ lệch chuẩn (S_k) (Bảng 1). Phân tích này được thực hiện tại Viện Tài nguyên và Môi trường biển.

$$Md = exp\frac{\ln P16 + \ln P50 + \ln P84}{3} \quad (1)$$

$$S0 = \exp\left(\frac{ln\,P16 - ln\,P84}{4} + \frac{ln\,P5 - ln\,P95}{6.6}\right) \quad (2)$$

$$Sk = \frac{\ln P16 + \ln P84 - 2(\ln P50)}{2(\ln P84 - \ln P16)} + \frac{\ln P5 + \ln P95 - 2(\ln P50)}{2(\ln P25 - \ln P5)} \quad (3)$$

Trong đó P5, P16, P25, P50, P84 và P95 là đường kính hạt ở các giá trị phần trăm tích lũy lần lượt là 5%, 16%, 25%, 50%, 84% và 95%.

Bảng 1. Phân loại trầm tích theo Md, độ chọn lọc và độ lệch trầm tích theo GRADISTAT [18]

Loại trầm tích		Độ chọn lọc (S_0)		Độ lệch (S_k)	
Md (µm)	Tên	S_0	Mức	Nghiêng về	S_k
1000	Cát rất thô	Rất tốt	< 1,27	Hạt rất mịn	(-1,0) – (-0,3)
500	Cát thô	Tốt	1,27 - 1,41	Hạt mịn	(-0,3) – (-0,1)
250	Cát trung	Trung bình tốt	1,41 - 1,62	Đối xứng	(-0,1) – (0,1)
125	Cát mịn	Trung bình	1,62 - 2,00	Hạt thô	0,1 - 0,3
63	Cát rất mịn	Kém	2,00 - 4,00	Hạt rất thô	0,3 - 1,0
31	Bột rất thô	Rất kém	4,00 - 16,00		
16	Bột thô	Cực kỳ kém	>16,00		

Phân tích thành phần khoáng vật: Mẫu được nghiền nhỏ tới kích thước 0,074 mm, sau đó lấy khoảng 2 g cho vào giá đựng mẫu, rồi ấn nhẹ mẫu bằng một tấm kính cỡ 4,5 x 5cm để tạo bề mặt phẳng cho mẫu và cao bằng mặt giá đựng mẫu. Tiến hành đo mẫu trên máy D8 Advance sử dụng bức xạ Cu($K\alpha_{1,2}$). Các thông số cài đặt bao gồm hiệu điện thế 35kV, dòng điện 35mA bước nhảy 0.015 °2Θ, thời gian ngưng 3 giây và phạm vi quét 5 - 60 °2Θ. Dữ liệu nhiễu xạ được ghi lại bằng hệ thống XRD COMMANDER® BRUKER, sau đó được xử lý qua phần mềm Diffrac plus Evaluation® [20, 21]. Tỷ lệ phần trăm của các pha khoáng khác nhau được tính toán thông qua XRD theo hai công thức sau (4, 6).

Tỷ lệ của từng khoáng được tính theo công thức (4).

$$X_i' = \frac{J_{ij}}{K_{is}} \quad (4)$$

X'_i: tỷ lệ phần trăm hàm lượng pha i trong mẫu;

J_{ij}: cường độ đỉnh j của khoáng I;

K_{is} là hệ số cho từng khoáng trong mẫu (5);

$$K_{is} = \frac{X_i}{X_S}.\frac{J_S}{J_i} \quad (5)$$

$\frac{X_i}{X_S}$: tỷ lệ hàm lượng của một khoáng đơn lẻ so với một mẫu chuẩn trong mẫu hỗn hợp;

J_S: cường độ đỉnh của mẫu chuẩn;

J_i: cường độ đặc trưng của mẫu cần xác định;

Hàm lượng khoáng trong mẫu được tính theo công thức (6).

$$X_i = \frac{X'_i}{\sum_{i=1}^{n} X'_i} x100\% \quad (6)$$

n: số pha khoáng trong mẫu;

Phân tích này được thực hiện tại Trung tâm Phân tích và Kiểm định Địa chất, Bộ Tài nguyên và Môi trường.

Phân tích và xử lý thống kê: Phân tích tương quan, phân tích gom cụm (cluster) và phân tích nhân tố được sử dụng để xử lý số liệu của 43 mẫu và 12 thông số trầm tích. Trước khi xử lý thống kê, dữ liệu được kiểm tra phân phối chuẩn với phép thử phép kiểm định Shapiro-Wilk ở mức ý nghĩa p = 0,05. Nếu các mẫu với thông số tuân theo phân phối chuẩn thì tương quan Pearson được sử dụng, nếu không thì sử dụng tương quan Spearman. Phân tích tương quan xác định mối liên hệ về nguồn gốc giữa các khoáng vật và điều kiện động lực của môi trường, các khoáng vật có chung nguồn gốc hoặc chung điều kiện động lực thường có tương quan thuận, các khoáng vật khác nguồn gốc hoặc khác điều kiện động lực trái ngược thì có tương quan nghịch. Phân tích gom cụm giúp xác định các mẫu có chung đặc điểm được xếp cùng 1 nhóm, mỗi nhóm có đặc điểm khác nhau về thành phần khoáng vật và kích thước trầm tích từ đó hiểu điều kiện động lực của mỗi nhóm, hiểu đặc điểm thành phần khoáng vật của mỗi nhóm trầm tích. Phân tích nhân tố đánh giá sự chi phối lẫn nhau của thông số trầm tích ở bãi biển, qua đó có thể hiểu nguồn gốc trầm tích và điều kiện động lực của môi trường. Các phương pháp xử lý thống kê đa biến sử dụng đồng thời có thể bổ sung kết quả cho nhau, tương quan có thể xác định định tính mối quan hệ giữa các thông số trầm tích thì phân tích nhân tố có thể xác định định lượng sự chi phối cụ thể tỷ lệ chi phối. Phân tích gom cụm có thể xác định số lượng các nhóm, thì phân tích nhân tố có thể xác định tỷ lệ chi phối của các nhóm. Các kỹ thuật phân tích đa biến này được thực hiện trên phần mềm Origin Pro. 2024.

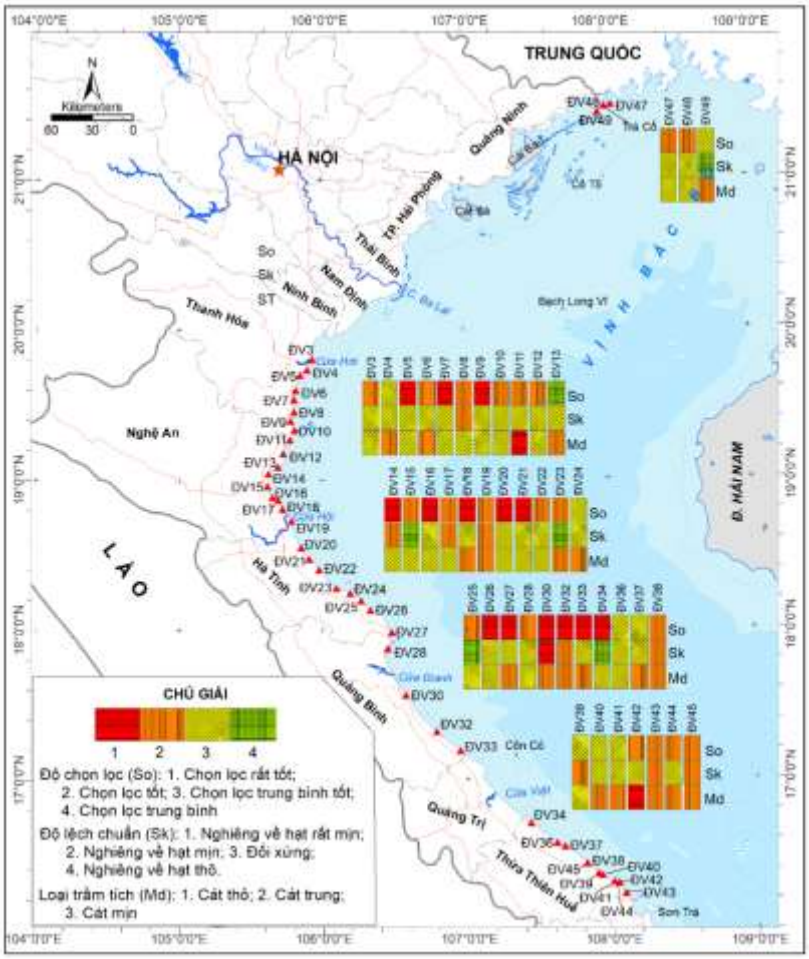
3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Phân bố các loại trầm tích

Trên bãi biển phân bố 3 loại trầm tích là cát thô, cát trung và cát mịn. Cát trung và cát mịn phổ biến nhất, trong khi cát thô ít phổ biến hơn (Bảng 2). Cả 3 loại đều có chọn lọc từ tốt đến trung bình.

Bảng 2. Các thông số cấp hạt và thành phần khoáng vật trong trầm tích bãi biển

TT	Trầm tích	Giá trị	Md (μm)	S_0	S_k	Illit	Kaolinit	Clorit	Thạch anh	Fenspat	Gơtit	Gibxit	Amphibol	Canxit
1	Cát thô (n=2)	Nhỏ nhất	607	1,31	-0,03	5	3	2	87	0	2	0	0	0
		Lớn nhất	640	1,32	0,05	4	2	1	84	3	3	0	0	0
		Trung bình	623	1,32	0,01	5	3	2	86	2	3	0	0	0
2	Cát trung (n=19)	Nhỏ nhất	253	1,20	-0,30	0	1	1	62	2	0	0	0	0
		Lớn nhất	467	1,76	0,18	12	4	3	90	5	4	1	2	14
		Trung bình	328	1,39	-0,04	4	2	2	82	3	2	0	1	1
3	Cát mịn (n=22)	Nhỏ nhất	130	1,18	-0,19	2	0	0	58	0	0	0	0	0
		Lớn nhất	238	1,45	0,15	17	6	5	90	7	4	1	5	20
		Trung bình	185	1,30	-0,02	6	3	2	78	3	2	0	1	1
Nhỏ nhất			130	1,18	-0,30	0	0	0	58	0	0	0	0	0
Lớn nhất			640	1,76	0,18	17	6	5	90	7	4	1	5	20
Trung bình			271	1,34	-0,03	5,2	2,3	1,8	80,3	3,1	2,0	0,1	0,9	1,1
n = số mẫu														



Hình 2. Sơ đồ phân bố loại trầm tích và các thông số cấp hạt trên bãi biển.

Cát thô ít phổ biến so với cát trung và cát mịn, tỷ lệ chiếm 2/43 mẫu, đường kính trầm tích (Md) dao động 607-640 µm và trung bình 623 µm, có chọn lọc (S_0) tốt (S_0 = 1,31-1,32) và độ lệch (S_k) đối xứng (S_k = -0,03 - 0,05) (Bảng 2, Hình 2).

Cát trung phân bố khá phổ biến, chiếm tỷ lệ 19/43 mẫu, có Md từ 253 đến 467 µm và trung bình 328 µm, S_0 từ chọn lọc rất tốt đến trung bình (S_0 = 1,20-1,76), S_k nghiêng về hạt mịn đến hạt thô (S_k = -0,30-0,18) (Bảng 2, Hình 2).

Cát mịn phân bố phổ biến nhất, chiếm tỷ lệ 22/43 mẫu, với Md từ 130 đến 238 µm, trung bình 185 µm, S_0 từ chọn lọc rất tốt đến trung bình tốt (S_0= 1,18 -1,45), S_k nghiêng về hạt nhỏ đến thô (S_k = -0,19 – 0,15) (Bảng 2, Hình 2).

3.2. Phân bố thành phần khoáng vật

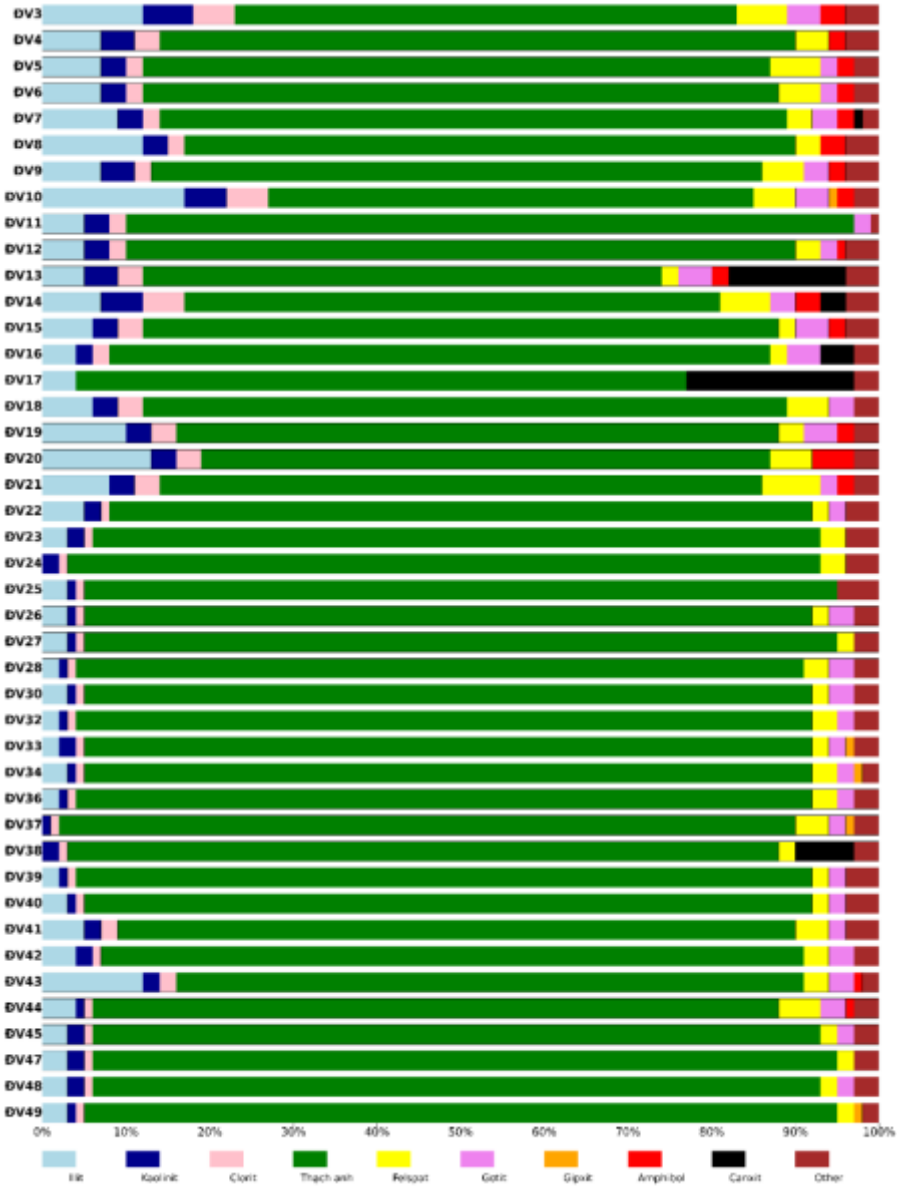
Trầm tích bãi có 9 khoáng vật phổ biến, gồm có illit, kaolinit, clorit, thạch anh, fenspat, gơtit, gibxit, amphibol, canxit mỗi loại được mô tả dưới đây (Bảng 2, Hình 3).

Illit hàm lượng dao động 0-17%, trung bình 5,2%. Hàm lượng trung bình của lllit cao trong cát mịn, cát thô và thấp nhất trong cát trung (Bảng 2). Hàm lượng ≥ 10% chiếm tỷ lệ 6/43 mẫu, hàm lượng 5-10% chiếm tỷ lệ 14/43 mẫu, hàm lượng < 5 % chiếm tỷ lệ 23/43 mẫu (Hình 3).

Kaolinit hàm lượng thấp hơn illit, dao động từ 0-6 %, trung bình 2,3%. Hàm lượng 3% tập trung trong cát thô và cát mịn, trong khi ở cát trung khoảng 2% (Bảng 2). Hàm lượng từ 4 đến

6% chiếm tỷ lệ 6/43 mẫu, hàm lượng từ 2 đến 4 % chiếm tỷ lệ 23/43 mẫu và hàm lượng từ 0 đến 2% chiếm tỷ lệ 14/43 mẫu (Hình 3).

Clorit có hàm lượng dao động 0-5%, trung bình 1,8%. Giữa các loại trầm tích, hàm lượng trung bình ít có sự khác biệt giữa 3 loại trầm tích (Bảng 2). Hàm lượng từ 3 đến 5% chiếm tỷ lệ 10/43 mẫu, hàm lượng 0 đến 2% chiếm tỷ lệ 33/43 mẫu (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ phân bố thành phần khoáng vật của trầm tích trên bãi biển.

Thạch anh hàm lượng cao nhất trong số khoáng vật, hàm lượng dao động 58-90%, trung bình 80,3%. Hàm lượng cao tập trung trong cát thô và cát trung, thấp nhất trong cát mịn (Bảng 2). Hàm lượng từ 85 đến 90% chiếm tỷ lệ 19/43 mẫu, hàm lượng từ 75 đến 85% chiếm tỷ lệ 11/43 mẫu và hàm lượng từ 58 đến 75% chiếm tỷ lệ 10/43 mẫu (Hình 3).

Fenspat hàm lượng dao động 0-7%, trung bình 3,1%. Hàm lượng 3% tập trung trong cát mịn và cát trung (Bảng 2). Hàm lượng từ 5 đến 7% chiếm tỷ lệ 10/43 mẫu, hàm lượng từ 3 đến 5% chiếm tỷ lệ 15/43 mẫu, hàm lượng từ 0 đến 3% chiếm tỷ lệ 18/43 mẫu (Hình 3).

Gơtit hàm lượng dao động 0-4%, trung bình 2,0%. Hàm lượng gơtit cao nhất ở cát thô trong khi cát trung và cát mịn bằng nhau (Bảng 2). Hàm lượng từ 2 đến 4% chiếm tỷ lệ 32/43 mẫu, hàm lượng từ 0 đến 2% chiếm tỷ lệ 11/43 mẫu (Hình 3).

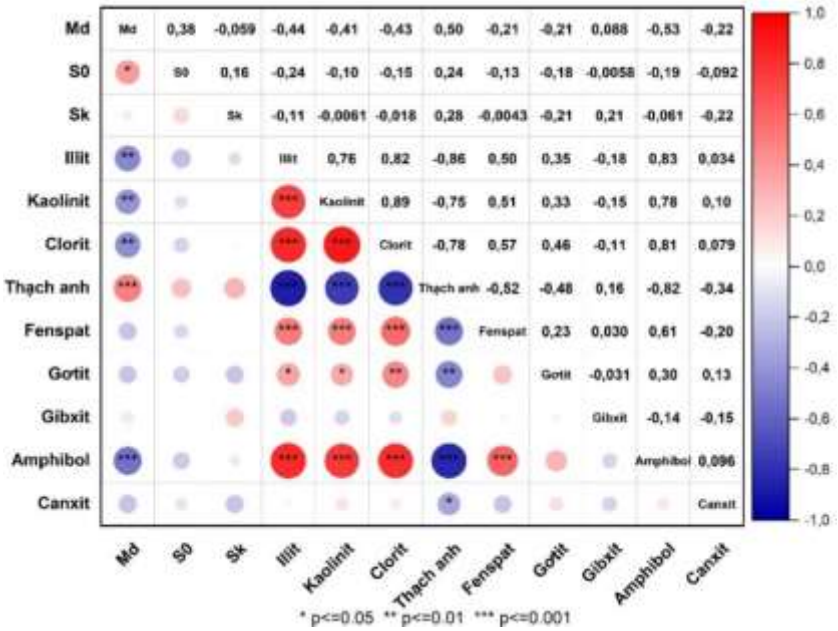
Gibxit nhìn chung hàm lượng khá thấp, cao nhất chỉ đạt 1%, trung bình 0,1% trong cát mịn và cát trung, không có mặt trong cát thô (Bảng 2, Hình 3).

Amphibol hàm lượng dao động 0-5%, trung bình 0,9%, chủ yếu phân bố trong cát mịn và cát trung, trong khi vắng mặt trong cát thô (Bảng 2).

Canxit có mặt trong cát trung và cát mịn (Bảng 2). Hàm lượng từ 0 đến 20%, trung bình 1,1% (Hình 3), chúng chỉ chiếm tỷ lệ 6/43 trạm, các trạm còn lại không có mặt.

3.3. Tương quan giữa các thành phần khoáng vật và thông số cấp hạt

Các thông số cấp hạt và thành phần khoáng vật được kiểm tra phân phối chuẩn với phép kiểm định Shapiro-Wilk ở mức ý nghĩa p = 0,05. Kết quả cho thấy hầu hết khoáng vật, Md và S_0 không tuân theo phân bố chuẩn, ngoại trừ hệ số S_k nên tương quan Spearman được sử dụng. Các thông số cấp hạt (Md, S_0, S_k) và thành phần khoáng vật có cả tương quan thuận và tương quan nghịch ($R \geq 0,25$ hoặc $R \leq -0,25$), tương quan ít có ý nghĩa ($R < 0,25$ hoặc $R > -0,25$) (Hình 4).



Hình 4. Ma trận tương quan Spearman giữa thông số cấp hạt và thành phần khoáng vật.

Tương quan thuận ở mức mạnh ($R > 0,75$) giữa illit, kaolinit và clorit với nhau; giữa amphibol với illit, kaolinit, clorit. Ở mức trung bình ($R = 0,5 - 0,75$) giữa fenspat và amphibol; giữa fenspat với illit, kaolinit, clorit; giữa Md với thạch anh. Mức yếu ($R = 0,25 – 0,5$) giữa gơtit với kaolinit, clorit, illit (Hình 4).

Tương quan nghịch ở mức mạnh ($R < -0,75$) giữa thạch anh với illit, kaolinit, clorit; giữa thạch anh và amphibol. Ở mức trung bình (R từ -0,5 đến -0,75) giữa thạch anh với fenspat, giữa Md với amphibol. Ở mức yếu (R từ -0,25 đến -0,5) giữa thạch anh với gơtit, canxit; giữa Md với illit, clorit, amphibol (Hình 4).

Tương quan ít có ý nghĩa thể hiện giữa Md với S_k, fenspat, gơtit, gibxit, canxit; giữa S_0, S_k và gibxit với các thông số khác; giữa canxit với các thông số khác ngoại trừ thạch anh.

4. Thảo luận

4.1. So sánh thành phần cấp hạt và khoáng vật với các vùng biển khác của Việt Nam

Nghiên cứu này so với trầm tích bãi triều cửa sông Hồng gồm có 3 vùng từ cửa Ba Lạt đến cửa Thái Bình, từ cửa Văn Úc đến Lạch Tray, và ở cửa Đáy [14]. Đường kính trầm tích (Md) trong nghiên cứu này lớn hơn so với ở bãi triều châu thổ sông Hồng, độ chọn lọc (S_0) cũng tốt hơn, và độ lệch (S_k) nghiêng về đối xứng trong khi ở bãi triều cửa sông Hồng có chọn lọc kém và nghiêng về hạt mịn. Duy nhất thạch anh trong nghiên cứu này có hàm lượng cao hơn so với ở cửa sông Hồng còn lại hầu hết các khoáng vật khác đều có hàm lượng thấp hơn so với ở bãi triều cửa sông Hồng (Bảng 3).

So với vịnh Hạ Long [22], trầm tích bãi biển của nghiên cứu này có Md lớn hơn ở vịnh Hạ Long, S_0 chọn lọc tốt hơn, hàm lượng thạch anh cao hơn trong khi các khoáng vật khác đều thấp hơn so với ở vịnh Hạ Long (Bảng 3).

So với vịnh Cát Bà [15], Md của trầm tích bãi biển nhỏ hơn và có độ chọn lọc tốt hơn so với ở Cát Bà, thành phần khoáng vật khác ở vịnh Cát Bà đều cao hơn so với trầm tích bãi biển ngoại trừ thạch anh và fenspat (Bảng 3).

So với vịnh Bắc Bộ [23], trầm tích bãi biển của nghiên cứu này có Md lớn hơn, chọn lọc tốt hơn, chỉ có thạch anh hàm lượng cao hơn còn lại các khoáng vật khác đều có hàm lượng thấp hơn so với ở vịnh Bắc Bộ (Bảng 3).

So với trầm tích ven biển Bình Thuận [10], trầm tích bãi biển của nghiên cứu này có Md nhỏ hơn so với ở Bình Thuận, S_0 của trầm tích bãi biển tốt hơn so với ven biển Bình Thuận, các khoáng vật trầm tích bãi biển đều cao hơn so với ven biển Bình Thuận, duy chỉ có fenspat thấp hơn, nếu như trầm tích bãi biển của nghiên cứu này phổ biến canxit thì ở ven biển Bình Thuận phổ biến aragonit (Bảng 3).

Bảng 3. So sánh thông số cấp hạt và thành phần khoáng vật với một số vùng ở Việt Nam

TT	Vùng bờ	Thông số cấp hạt			Hàm lượng các khoáng vật (%)									Tài liệu tham khảo
		Md (µm)	S_0	S_k	Illit	Kaolinit	Clorit	Thạch anh	Fenspat	Gơtit	Gibxit	Canxit	Amphibol	
1	Móng Cái-Huế	269	1,3	-0,03	5,2	2,3	1,8	80,3	3,1	2,0	0,1	1,1	0,9	Nghiên cứu này
2	Cửa Ba Lạt-Cửa Thái Bình (Cột trầm tích)	44,0	2,8	-	23,1	11,3	7,4	39,3	6,7	5,7	-	-	-	[14]
	Cửa Văn Úc – Lạch Tray (Cột trầm tích)	18,0	2,5	-	24,0	19,5	8,7	28,5	5,6	6,6	-	-	-	
	Cửa Đáy (Cột trầm tích)	57,0	2,2	-	19,7	9,1	7,0	46,3	7,2	5,1	-	-	-	
3	Vịnh Hạ Long	59,2	6,1	-0,2	15,0	15,0	6,0	49,0	4,0	5,0	-	6,0	-	[22]
4	Vịnh Cát Bà	299,0	2,8	-0,2	18,0	14,0	5,0	26,0	2,0	4,0	-	10,0	-	[15]
5	Vịnh Bắc Bộ	75,0	3,7	-0,2	14,3	10,0	5,0	50,5	6,9	4,7	-	2,7	-	[23]
6	Ven biển Bình Thuận	422,5	1,39	0,97	ít	-	ít	78,0	4,0	-	-	7*	-	[10]
*-Aragonit														

4.2. Các nhóm trầm tích và động lực môi trường trầm tích

Kết quả phân tích gom cụm của 43 mẫu và 12 thông số chia thành 3 nhóm mẫu và 2 nhóm thông số như hình 5 với các đặc điểm khác nhau.

Nhóm 1 gồm 37/43 mẫu, với Md = 233 µm tương ứng là cát mịn, thạch anh có hàm lượng thấp nhất, trong khi hàm lượng illit, canxit, amphibol và fespat cao nhất, nhóm này chịu tác động của biển mạnh thể hiện qua độ chọn lọc tốt (S_0 = 1,34) (Bảng 4).

Nhóm 2 gồm 4/43 mẫu, với Md = 425 µm tương ứng là cát trung, hàm lượng thạch anh cao hơn nhóm 1, trong khi hàm lượng illit, kaolinit, clorit, amphibol, canxit, fenspat thấp hơn so với nhóm 1, nhóm này cũng chịu tác động của biển mạnh thể hiện qua độ chọn lọc tốt (S_0=1,40) (Bảng 4).

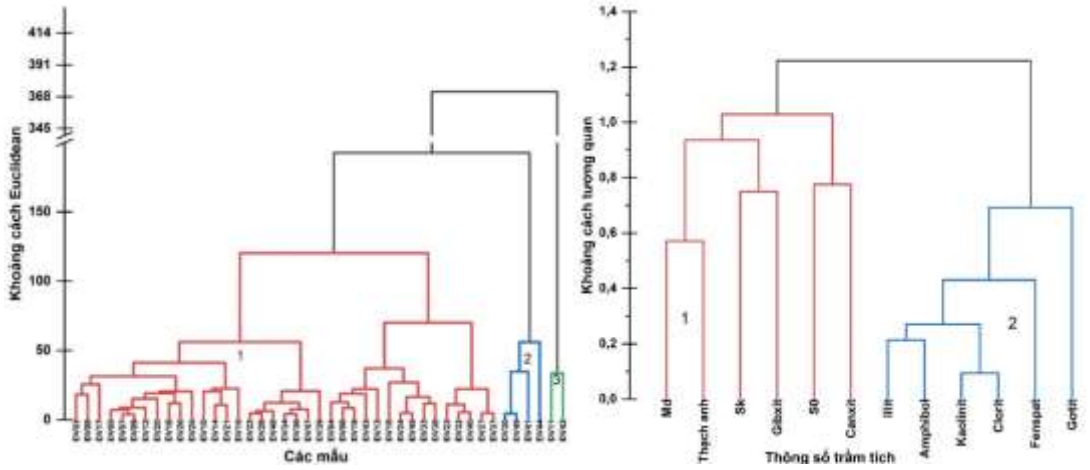
Nhóm 3 gồm 2/43 mẫu, có giá trị Md tương ứng là cát thô, hàm lượng thạch anh, illit, kaolinit, clorit, gơtit cao hơn nhóm 1 và 2 (Bảng 4), nhóm này cũng chịu tác động của biển mạnh biểu hiện bằng chọn lọc tốt (S_0 = 1,32) (Bảng 4, Hình 5).

Các nhóm trầm tích đặc trưng cho điều kiện động lực của môi trường tác động lên trầm tích bãi biển, chế độ động lực mạnh thể hiện ở Md có kích thước lớn và hàm lượng thạch anh cao, chế độ động lực giảm dần theo thứ tự nhóm 3 > nhóm 2 > nhóm 1 (Bảng 4).

Tổng số 12 thông số trầm tích chia thành 2 nhóm tương ứng các điều kiện động lực và nguồn gốc của các quá trình phong hóa. Nhóm thông số 1 gồm Md, S_k, S_0, canxit, gibxit và thạch anh thể hiện điều kiện động lực môi trường mạnh đại diện cho phong hóa cơ học là chủ đạo, gibxit là sản phẩm phong hóa thứ sinh của các khoáng vật sét (từ kaolin và illit). Tuy vậy hàm lượng gibxit chỉ xuất hiện cùng với một vài mẫu cát trung và cát mịn với hàm lượng fenspat, amphibol cao (Bảng 2), vì hàm lượng gibxit không đáng kể và tương quan giữa gibxit với các thông số khác không có ý nghĩa (R< 0,25).

Bảng 4. Giá trị trung bình các thông số cấp hạt và hàm lượng khoáng vật trong các nhóm

Nhóm	Số trạm	Md (µm)	S_0	S_k	Illit	Kaolinit	Clorit	Thạch anh	Fenspat	Gơtit	Gibxit	Amphibol	Canxit
1	37	233	1,34	-0,02	5	2	2	79	3	2	0	1	1
2	4	425	1,40	-0,08	4	1	1	85	3	2	0	0	0
3	2	623	1,32	0,01	5	3	2	86	2	3	0	0	0



Hình 5. Phân bố các nhóm mẫu và thông số trầm tích bãi biển phía Bắc Việt Nam.

Nhóm thông số 2 gồm illit, amphibol, kaolinit, clorit, fenspat và gơtit đại diện cho quá trình phong hóa hóa học diễn ra chủ yếu trong nhóm này, dưới điều kiện khí quyển, nhiệt độ, CO_2, O_2, hơi nước trong môi trường nên fenspat, amphibol bị phong hóa tạo ra các khoáng vật sét như illit, kaolinit, clorit, gơtit thể hiện qua tương quan thuận giữa chúng (Hình 4). Gơtit là sản phẩm cùng sinh với clorit và kaolinit từ sự phong hóa các khoáng vật giàu Fe và Mg trong các đá granit tạo ra khoáng vật sét + hematit + gơtit (ví dụ như biotit), hay trong các đá bazan khi phong hóa mangetit tạo ra hematit, gơtit [24, 25]. Nhìn chung các loại đá gốc ở ven bờ Việt Nam từ Móng Cái đến mũi Hải Vân có mặt các đá granit, đá bazan, và cả các trầm tích núi lửa của các hệ tầng hoặc phức hệ phân bố ở ven bờ [26] là các nguồn cung cấp các khoáng vật giàu Fe cho quá trình phong hóa tạo ra gơtit.

4.3. Các yếu tố chi phối trầm tích, nguồn gốc trầm tích

Các yếu tố chi phối trầm tích bãi biển được đánh giá trên cơ sở phân tích nhân tố (FA) của 12 thông số của khoáng vật và thông số cấp hạt. Có 4 nhân tố chi phối chủ yếu đến thành phần và nguồn gốc của các khoáng vật là FA1, FA2, FA3 và FA4 lần lượt tương ứng là 41,74%, 12,76%, 10,92%, 9,20% (Bảng 4).

Bảng 4. Kết quả phân tích nhân tố các thông số cấp hạt và khoáng vật trong trầm tích bãi biển

TT	Thông số	FA1	FA2	FA3	FA4
1	Md	-0,47	0,09	-0,10	0,60
2	S_0	-0,19	-0,08	0,76	0,40
3	S_k	-0,11	0,66	0,54	-0,20
4	Illit	0,86	0,02	-0,03	-0,05
5	Kaolinit	0,89	0,07	0,14	0,13
6	Clorit	0,93	0,08	0,08	0,16
7	Thạch anh	-0,93	0,26	-0,18	-0,05
8	Fenspat	0,71	0,33	-0,16	0,03
9	Gơtit	0,45	-0,11	-0,29	0,61
10	Gibxit	-0,08	0,51	0,23	0,23
11	Amphibol	0,88	0,02	0,11	-0,24
12	Canxit	-0,04	-0,79	0,45	-0,06
	Biến	5,01	1,53	1,31	1,10
	Phần trăm của biến (%)	41,74	12,76	10,92	9,20

FA1 chi phối 41,74% bao gồm, illit, kaolinit, clorit, thạch anh, fenspat, amphibol (Bảng 4). FA2 chi phối 12,76% bao gồm S_k, gibxit, canxit. FA3 chi phối 10,92 gồm S_0, S_k. FA4 chi phối 9,2% gồm các thông số Md, gơtit. Cả 4 nhân tố chính phản ánh chi phối sự hình thành của các khoáng vật và nguồn gốc của chúng ảnh hưởng lẫn nhau: FA1 phản ánh illit, kaolinit, clorit là sản phẩm phá hủy phong hóa hóa học từ amphibol và fenspat được đặc trưng bởi tương quan thuận giữa chúng, thạch anh vừa là sản phẩm phá hủy hóa học đồng thời là khoáng vật chính của đất đá, thạch anh chịu tác động mạnh mẽ của môi trường nên có tương quan nghịch với fenspat và amphibol trong khi tương quan thuận với Md. FA2 phản ánh điều kiện thuận lợi của S_k với sự hình thành gibbsit và sự bất lợi hình thành canxit. FA3 phản ánh chọn lọc trầm tích tốt ảnh hưởng đến độ lệch về đối xứng. FA4 phản ánh sự chi phối của Md với sự hình thành gơtit.

Các khoáng vật có cùng nguồn gốc thể hiện qua tương quan thuận. Khoáng vật illit, kaolinit, clorit tương quan thuận với fenspat, amphibol, cho thấy các khoáng vật sét này là sản phẩm

phong hóa từ amphibol và fenspat. Tương quan thuận giữa amphibol và fenspat thể hiện cùng nguồn cung cấp từ lục địa, amphibol và fenspat phân bố khá nhiều trong các loại đá trầm tích, đá biến chất, đá magma, và trầm tích bở rời trên đồng bằng ven biển [26]. Tương quan thuận giữa gơtit với kaolinit, clorit, illit cho thấy các khoáng vật là sản phẩm phong hóa hóa học từ các khoáng vật giàu Fe và Mg của nhóm amphibol, nhóm fenspat tạo ra đồng thời illit, kaolinit, clorit, gơtit. Tương quan thuận giữa Md với thạch anh thể hiện cùng môi trường có động lực mạnh, phản ánh trầm tích bãi chịu sự chi phối mạnh mẽ từ biển. Tương quan nghịch giữa thạch anh với fenspat, gơtit, amphibol, canxit phản ánh điều kiện động lực mạnh không thuận lợi để tích tụ các khoáng vật đó. Nếu thạch anh đặc trưng cho nguồn lục địa thì canxit từ nguồn gốc sinh vật biển (vỏ sinh vật), canxit chỉ có mặt ở cát nhỏ và cát trung, vắng mặt ở cát thô (Bảng 1).

4.4. Quá trình động lực ở bãi biển

Trầm tích bãi là đối tượng phản ánh điều kiện động lực từ biển, tại một số địa điểm xói lở chúng chịu tác động mạnh mẽ nên trầm tích tại đó thường phân bố cát mịn, cát trung hoặc cát thô và chọn lọc trầm tích từ tốt đến rất tốt [27]. Ở phía Bắc Việt Nam có 41 điểm xói lở từ Móng Cái đến Hải Vân, những điểm này diện tích xói lở từ 1,69 ha đến 369,9 ha [5], nhiều điểm xói lở phân bố trong vùng nghiên cứu này, mẫu trầm tích bãi biển bị xói lở phân bố cát mịn, cát trung, cát thô và đều có chọn lọc tốt đến trung bình, đã phản ánh bãi biển ít khi được bồi tụ mà quá trình xói lở bờ biển chiếm ưu thế.

Quá trình xói lở thường chiếm tỷ lệ cao trên các bãi cát, làm ảnh hưởng đến các công trình dân sinh như đường, nhà cửa, khu công nghiệp ven biển do vậy trong quá trình phát triển kinh tế xã hội cần lưu ý. Cần thiết lập một số giải pháp như xây dựng hành lang an toàn bảo vệ bờ biển để hạn chế các thiệt hại từ biển, tại những đoạn bờ xói lở cần hạn chế hoạt động khai thác khoáng sản, hạn chế gây mất cân bằng trầm tích; xây dựng các công trình nuôi bãi tại các đoạn bờ xói lở nhằm hạn chế thiệt hại do tác động từ biển.

5. Kết luận

Trầm tích bãi biển phía bắc Việt Nam phân bố 3 loại là cát thô, cát trung và cát mịn, trong đó cát trung và cát mịn phân bố phổ biến hơn cát thô. Cả ba loại này đều chịu tác động mạnh từ biển đều có chọn lọc từ trung bình đến tốt, độ lệch nghiêng về hạt mịn, đối xứng và nghiêng về hạt thô. Hàm lượng của thạch anh, illit, fenspat, kaolinit, gơtit, clorit, canxit, amphibol, gibxit trong trầm tích bãi lần lượt tương ứng là 80,3%, 5,2%, 3,1%, 2,3%, 2,0%, 1,8%, 1,1%, 0,9%, 0,1%.

Khoáng vật trong trầm tích bãi có nguồn gốc trầm tích từ lục địa bởi sự có mặt phong phú của thạch anh, fenspat, amphibol chiếm chủ yếu; các khoáng vật illit, kaolinit, clorit, gơtit đến từ phong hóa hóa học của fenspat và amphibol; canxit từ vỏ sinh vật. Trầm tích bãi chia thành 3 nhóm khác nhau về điều kiện động lực, thành phần khoáng vât, điều điện động lực ở các nhóm tăng dần từ nhóm 1 đến nhóm 3, đặc trưng bởi tăng dần của Md và hàm lượng thạch anh, cả ba nhóm đều chịu tác động mạnh từ biển thể hiện bởi chọn lọc tốt đến trung bình.

Lời cảm ơn

Bài báo này là kết quả của đề tài cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST) mã số VAST05.03/24-25. Các tác giả xin cảm hơn VAST đã hỗ trợ kinh phí thực hiện nhiệm vụ này.

Tài liệu tham khảo

[1] T. Solihuddin, S. Husrin, H. L. Salim, T. L. Kepel, E. Mustikasari, A. Heriati, R. N. A. Ati, D. Purbani, L.O. N. Mbay, V. Y. Indriasari, B. Berliana, Coastal Erosion on the North Coast of Java: Adaptation Strategies and Coastal Management, IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., Vol. 777, 2021, pp. 012035, https://doi.org/10.1088/1755-1315/777/1/012035.

[2] G. Uścinowicz, S. Uścinowicz, T. Szarafin, E. Maszloch, K. Wirkus, Rapid Coastal Erosion, Its Dynamics and Cause – an Erosional Hot Spot on The Southern Baltic Sea Coast, Oceanologia,

Vol. 66, No. 2, 2024, pp. 250-266, https://doi.org/10.1016/j.oceano.2023.12.002.

[3] N. Ahmed, N. Howlader, M. A. A. Hoque, B. Pradhan, Coastal Erosion Vulnerability Assessment Along the Eastern Coast of Bangladesh Using Geospatial Techniques, Ocean Coastal Manage, Vol. 199, 2021, pp. 105408, https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2020.105408.

[4] N. Okay, B. Ergün, Source of the Basinal Sediments in the Marmara Sea Investigated Using Heavy Minerals in the Modern Beach Sands, Mar. Geol., Vol. 216, No. 1-2, 2005, pp. 1-15, https://doi.org/10.1016/j.margeo.2005.01.006.

[5] L. V. Cong, N. V. Cu, T. Shibayama, Assessment of Vietnam Coastal Erosion and Relevant Laws and Policies, in: N. D. Thao, H. Takagi, M> Esteban, (Eds.), Coastal Disasters and Climate Change in Vietnam, Elsevier, Oxford, 2014, pp. 81-106, https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800007-6.00004-6.

[6] L. T. Bui, H. T. H. Pham, Coastal Erosion Trend Analysis Using A Combination of Remote Sensing and Hydrodynamic Models: Case Study of Ca Mau Cape, Mekong Delta, Remote Sens. Appl.: Soc. Environ., Vol. 26, 2022, pp. 100734, https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100734.

[7] D. M. Duc, M. T. Nhuan, C. V. Ngoi, An Analysis of Coastal Erosion in The Tropical Rapid Accretion Delta of the Red River, Vietnam, J. Asian Earth Sci., Vol. 43, No. 1, 2012, pp. 98-109, https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.08.014.

[8] D. T. T. Huong, N. D. Hoe, T. D. Lan, N. T. T. Ha, N. D. Ve, Assessement of Beach Quality in the Northeastern Coast of Vietnam by Using Index Method, Vietnam Journal of Marine Science and Technology, Vol. 17, No. 3, 2017, pp. 292-300, https://doi.org/10.15625/1859-3097/17/3/10201.

[9] T. T. Hieu, Characteristics of Sediment of Modern Sand Beach Along the Coast of Phu Khanh, Collection of Marine Research, Vol. 2, 1981, pp. 165-178 (in Vietnamese).

[10] D. H. Nhon, D. V. Huy, N. N. Anh, D. T. T. Huong, Grain Size and Mineral Composition in the Coastal Area of Binh Thuan, Journal of Water Resources-Environmental Engineering, Vol. 59, No. 12, 2017, pp. 89-94 (in Vietnamese).

[11] D. M. Duc, D. X. Thanh, D. T. Quynh, P. McLaren, Analysis of Sediment Distribution and Transport for Mitigation of Sand Deposition Hazard in Tam Quan Estuary, Vietnam, Environ. Earth Sci., Vol. 75, 2016, pp. 741, https://doi.org/10.1007/s12665-016-5560-2.

[12] D. Q. Tien, D. Q. Thien, V. Q. Lan, Formations of Quaternary Sedimentary Marine Sand in Thua Thien Hue Province and Relevant Geological Legacies, Journal of Geology-Series A, Vol. 371-372, 2020, pp. 1-14, (in Vietnamese).

[13] M. Muhardi, Y. Nurrahman, R. Risko, M. Muliadi, K. Rahayu, H. Susiati, Statistical Parameters Analysis of Sediment Grain Size from Raya River Bengkayang Regency, West Borneo, Bulletin of the Marine Geology, Vol. 36, 2021, pp. 100-107, https://doi.org/10.32693/bomg.36.2.2021.726.

[14] D. H. Nhon, N. T. M. Luu, L. T. B. Thuy, N. N. Nam, N. H. Hoang, B. M. Quan, Mineral Compositions and Grain Sizes of Sediments in Intertidal Zone in Northern Vietnam, Vietnam Journal of Marine Science and Technology, Vol. 19, No. 3A, 2019, pp. 63-75, https://doi.org/10.15625/1859-3097/19/3A/14292, (in Vietnamese).

[15] N. H. Hoang, B. V. Vuong, E. Egidarev, V. Zharikov, L. A. Xuan, N. T. M. Luu, L. T. B. Thuy, N. D. Ve, D. T. Nghi, D. H. Nhon, Characteristics of Surface Sediments in Shallow Sea Areas Near Cat Ba Archipelago, Northern Vietnam, Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 36, $N_{0.}$ 4, 2020, pp. 67-79, https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4631, (in Vietnamese).

[16] B. T. T. Loan, N. T. M. Luu, N. H. Hoang, L. V. Nam, P. T. Dung, N. D. Ve, L. N. Sieu, D. H. Nhon, T. D. Thanh, Some Sedimentary Environment Characteristics in the Mong Cai Coastal Area, Quang Ninh Province, Vietnam, VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 38, No. 1, 2022, pp. 57-70, https://doi.org/10.25073/2588-1132/vnumps.4748, (in Vietnamese).

[17] R. L. Ingram, Sieve Analysis, in: Carver, R. E. (Ed.), Procedures in Sedimentary Petrology, Wiley-Interscience, New York, London, Sydney, Toronto, 1971, pp. 49-68.

[18] S. J. Blott, K. Pye, GRADISTAT: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. Earth Surf. Process. Landforms, Vol. 26, No. 11, 2001, pp. 1237-1248, https://doi.org/10.1002/esp.261.

[19] R. L. Folk, W. C. Ward, Brazos River Bar: A Study in The Significance of Grain Size Parameters, J. Sediment. Petrol., Vol. 27, 1957, pp. 3-26, https://doi.org/10.1306/74D70646-2B21-11D7-8648000102C1865D.

[20] ICDD International Center for Diffraction Data, PDF Database Release. Data Sets 1 -50 plus 70-88, USA, 2004.

[21] MOST (Ministry of Science and Technology), Determination of Compositions Clay Mineral of Kaolin - Inductively X-Ray Diffraction (XRD) Method (TCVN 13597-1:2022), 2022.

[22] D. H. Nhon, T. D. Thanh, L. T. B. Thuy, B. V. Vuong, N. D. Ve, Distribution of Mineral Components in Surface Sediments of Ha Long Bay, Vietnam, Proceedings of the 3rd National Conference on Marine Geology, Publishing House for Natural Science and Technology, Hanoi, 2019, pp. 80-89 (in Vietnamese).

[23] D. H. Nhon, N. V. Thao, T. D. Thanh, N. D. Ve, B. V. Vuong, L. T. B. Thuy, B. T. T. Loan, H. T. Chien, D. T. Nghi, Characteristic and Distribution of Grain Sizes and Minerals in Sediments in A Part of the Vietnamese Gulf of Tonkin, Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering, Vol. 65, N_0. 2, 2023, pp. 88-96, https://doi.org/10.31276/VJSTE.65(2).88-96.

[24] C. C. Plummer, D. McGeary, D. H. Carlson, Physical Geology, WCB/McGraw-Hill, Boston, 2016.

[25] L. R. Gardner, Conditions for Direct Formation of Gibbsite From K-Feldspar-Further Discussion, Am. Mineral., Vol. 57, No. 1-2, 1972, pp. 294-300.

[26] T. V. Tri, Geology and Earth Resources of Vietmam, Department of Geology and Minerals of Vietnam, 2011.

[27] D. H. Nhon, N. Q. Tuan, T. D. Thanh, N. D. Cu, N. H. Cu, N. D. Toan, Distribution Sediments and Heavy Minerals in Hai Hau Coastal Area, Nam Dinh Province, Journal of Science and Technology, Vol. 50, No. 3E, 2012, pp. 1096-1105.