



Original Article

Characteristics and Geological Conditions of Coastal Zone Quaternary Sediment Formations in The Binh -Tri -Thien Area under The Context of Global Sea Level Change

Dao Bui Din¹, Tran Nghi², Nguyen Quang Luat³, Dinh Xuan Thanh^{2,*},
Nguyen Phuong Thao⁴, Nguyen Thi Huyen Trang², Nguyen Dinh Thai²

¹Ministry of Natural Resources and Environment, 10 Ton That Thuyet, Hanoi, Vietnam

²VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

³University of Mining-Geology, 18 Vien Street, Duc Thang, Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam

⁴Institute for Geoenvironmental Research and Climate Change Adaptation,
334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

Received 20 December 2023

Revised 01 March 2024; Accepted 12 March 2024

Abstract: Quaternary sediments in the Binh Tri Thien coastal zone are diverse in both material composition and development history. From land to sea, there are 4 structural regions: i) marginal plain region; ii) Coastal lagoon region; iii) Coastal sand dunes region; and iv) Monocline coastal subsidence region. In the vertical direction, all four regions have five sedimentary cycles as follows: a) Early Pleistocene (Q_1^1); b) Early middle Pleistocene (Q_1^{2a}); c) Late middle Pleistocene (Q_1^{2b}); d) Early late Pleistocene (Q_1^{3a}); e) Late late Pleistocene (Q_1^{3b} - Q_2). Four structural zones are characterized by different lithofacies complexes: 1) In the lowstand systems tract (LST) at the beginning of each cycle in all 4 structural zones, the $S_{ma}LST$ facies complex is present; 2) In the transgressive systems tract (TST), there are the following lithofacies complexes: a) region I: $M_{sb}TST$; b) region II: $M_{lg}TST$; c) region III: $S_{m}TST$; d) region IV: $M_{sam,m}TST$; 3) In the highstand systems tract (HST) there are the following facies complexes: a) Region I: ($M_{sab}HST$); b) Region II: $M_{slg}HST$; c) Region III: $S_{mv}HST$; d) Region IV: $S_{m}mHST$. The difference in sedimentary facies in the transgressive and highstand systems tract depends on the differentiation of four geological structure regions.

Keywords: Sedimentary cycle, LST muddy-sand facies complex ($S_{m}LST$), TST lagoon mud facies complex ($M_{lg}TST$), Alluvial-sandy mud facies complex ($M_{sab}HST$).

* Corresponding author.

E-mail address: dxthanhgeo@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5054>

Đặc điểm và điều kiện thành tạo trầm tích Đệ Tứ đới bờ Bình -Trị-Thiên trong mối quan hệ với cấu trúc địa chất và sự thay đổi mực nước biển toàn cầu

Đào Bùi Din¹, Trần Nghi², Nguyễn Quang Luật³, Đinh Xuân Thành^{2,*},
Nguyễn Phương Thảo⁴, Nguyễn Thị Huyền Trang², Nguyễn Đình Thái²

¹Bộ Tài nguyên và Môi trường, 10 Tôn Thất Thuyết, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 phố Viên, Đức Thắng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

⁴Viện Nghiên cứu Địa môi trường và Thích ứng biến đổi khí hậu,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 20 tháng 12 năm 2023

Chỉnh sửa ngày 01 tháng 3 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 12 tháng 3 năm 2024

Tóm tắt: Trầm tích Đệ Tứ đới bờ Bình Trị Thiên đa dạng cả về thành phần vật chất và lịch sử phát triển. Từ đất liền ra biển có 4 vùng cấu trúc: i) Vùng đồng bằng ven rìa; ii) Vùng lagoon ven biển; iii) Vùng cồn cát ven biển; và iv) Vùng sụt lún đơn nghiêng ven biển. Theo phương thẳng đứng trong cả 4 vùng đều có 5 chu kỳ trầm tích như sau: 1) Pleistocen sớm (Q_1^1); 2) Pleistocen giữa phần sớm (Q_1^{2a}); 3) Pleistocen giữa phần muộn (Q_1^{2b}); 4) Pleistocen muộn phần sớm (Q_1^{3a}); 5) Pleistocen muộn, phần muộn-Holocen (Q_1^{3b} - Q_2). Từ đất liền ra biển 4 vùng cấu trúc được đặc trưng bởi các phức hệ tướng khác nhau: 1) Trong pha biển thoái (LST) đầu mỗi chu kỳ trong cả 4 vùng cấu trúc đều có mặt phức hệ tướng $S_{ma}LST$; 2) Trong pha biển tiến (TST) có các phức hệ tướng sau: a) Vùng I: $M_{sb}TST$; b) Vùng II: $M_{lg}TST$; c) Vùng III: $S_{m}TST$; d) Vùng IV: $M_{sam,m}TST$; 3) Trong pha biển cao (HST) có các phức hệ tướng sau: a) Vùng I: ($M_{sab}HST$); b) Vùng II: $M_{slg}HST$; c) Vùng III: $S_{mv}HST$; d) Vùng IV: $S_{mm}HST$. Sự khác nhau về tướng trầm tích trong miền hệ thống biển tiến và biển cao là phụ thuộc vào sự phân hoá của 4 vùng cấu trúc địa chất.

Từ khoá: Chu kỳ trầm tích, phức hệ tướng cát bùn biển thấp ($S_{m}LST$), phức hệ tướng bùn lagoon biển tiến ($M_{lg}TST$), phức hệ tướng bùn cát aluvi-vũng vịnh ($M_{sab}HST$).

1. Mở đầu

Địa chất Đệ Tứ nói chung và trầm tích Đệ Tứ đới bờ từ Đèo Ngang đến Đèo Hải Vân (Hình 1) đã được nhiều tác giả nghiên cứu với những mục tiêu khác nhau.

Năm 1962-1963, Đoàn khảo sát liên hiệp Việt- Trung đã thực hiện nhiều chuyên khảo sát đo đạc và lấy mẫu trên tổng 75 trạm ở Vịnh Bắc Bộ, trong đó có 06 trạm nằm trong đới biển nông Đèo Ngang- Mũi Hải Vân. Các tác giả đã thành lập được bản đồ phân bố các trường trầm tích và

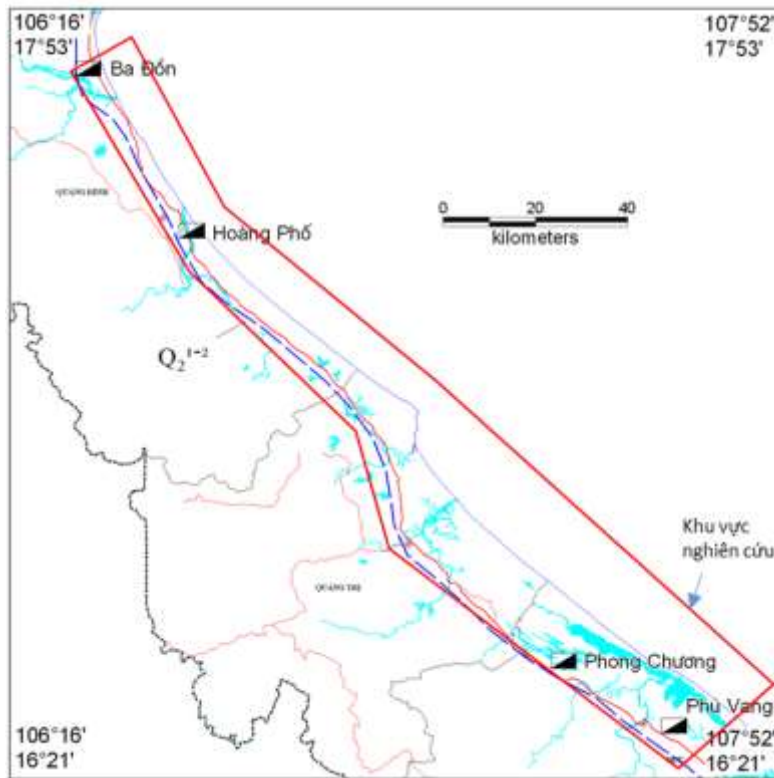
* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: dxthanheo@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5054>

các trường khoáng vật nặng. Tuy nhiên đây là những kết quả nghiên cứu bước đầu về đặc điểm một số khoáng vật nặng của trầm tích tầng mặt mà chưa làm rõ quy luật phân bố và cơ chế thành tạo liên quan đến các pha biển thoái và biển tiến trong Pleistocen muộn-Holocen và dòng chảy

đáy dọc bờ. Đặc biệt là nhiều trạm khảo sát trên vịnh Bắc Bộ gặp bột sét loang lổ nhưng các tác giả không xác định được tuổi của chúng là Pleistocen muộn phần sớm (Q_1^{3a}) nhưng bị phong hoá loang lổ vào pha băng hà cuối cùng biển thoái ra ở độ sâu 100 m nước [1-3].



Hình 1. Vị trí địa lý khu vực nghiên cứu.

Những đóng góp trong nghiên cứu địa chất Đệ Tứ phân đất liền ven biển đều liên quan đến công tác đo vẽ bản đồ ở các tỷ lệ khác nhau. Đo vẽ ở tỷ lệ 1/200.000 có Trần Tính, Nguyễn Quang Trung (1996) thành lập bản đồ địa chất Mahaxay-Đồng Hới; Nguyễn Xuân Dương, Đỗ Văn Chi (1996) thành lập bản đồ địa chất Lê Thủy-Quảng Trị. Tuy nhiên, ở tỷ lệ 1/200.000 và mục tiêu là đo vẽ bản đồ địa chất chung nên các tác giả không phân chia chi tiết địa tầng Đệ Tứ [4, 5].

Đến giai đoạn đo vẽ bản đồ địa chất Đệ Tứ tỷ lệ 1/500.00 các tác giả mới xây dựng thang địa

tầng tổng hợp về trầm tích Đệ Tứ: Phạm Huy Thông (1997) thành lập bản đồ địa chất Đệ Tứ nhóm tờ Huế; Đỗ Văn Long (2000) thành lập bản đồ địa chất Đệ Tứ tờ Quảng Trị. Các tác giả đã xây dựng cột địa tầng Đệ Tứ với 5 hệ tầng: Tân Mỹ (Q_1^{1tm}); Quảng Điền (Q_2^{2-3qd}); Phú Xuân (Q_1^{3px}); Phú Bài (Q_2^{1-2pb}); Phú vang (Q_2^{2-3pv}) (Bảng 1). Tuy nhiên, thang địa tầng này vẫn theo quan điểm của Hoàng Ngọc Kỳ (1973), Ngô Quang Toàn (1988, 1991), Vũ Nhật Thắng (1994) [6-11].

Bảng 1. Đối sánh thang địa tầng mới và thang địa tầng do Phạm Huy Thông thành lập (2012) khu vực Trĩ - Thiên

LK Hu7 (Phạm Huy Thông, 2012)	Tuổi	Địa tầng mới (Trần Nghi, Đào Bùi Đình, 2022)		
		Phức tập (chu kỳ trăm tích)	MNB	Bảng hà
Phù Vàng	Q_2	$Q_1^{20} - Q_2$	HST	5 Ka
Phù Bái	Q_1^{20}		TST	18 Ka
Phù Xuân	Q_1^2	Q_1^{14}	LST	30 Ka
			HST	40 Ka
Quảng Điền	Q_1^1	Q_1^{20-1}	TST	60 Ka
			LST	70 Ka
Tân Mỹ	N_2^2	Q_1^{20}	HST	83 Ka
			TST	130 Ka
Giao Việt	N_2^1	Q_1^1	LST	160 Ka
			HST	191 Ka
			TST	402 Ka
			LST	600 Ka
			HST	800 Ka
			TST	1.4 Ma
			LST	1.6 Ma
				1.9 Ma

Năm 1991-2001 Nguyễn Biểu và Trần Nghi đã nghiên cứu và thành lập loạt bản đồ trầm tích tầng mặt và loạt bản đồ tương đá thạch động lực trên toàn bộ đới biển nông ven bờ (0-30 nước) của Việt Nam trong đó có khu vực Đèo Ngang-Đèo Hải Vân. Đây là bản đồ lịch sử được sử dụng để đối chứng với bản đồ tương đá thạch động lực hiện tại đã chỉ ra sự biến động trầm tích tầng mặt theo thời gian xảy ra hết sức nhanh chóng. Đặc biệt có một trường trầm tích cát mới được thành tạo do tái trầm tích vật liệu cồn cát bị xói lở trong giai đoạn mực nước biển dâng và biến đổi khí hậu cực đoan [12-16]. Năm 2015, chuyên đề “Điều tra đặc điểm địa chất, địa động lực, địa

chất khoáng sản, địa chất môi trường và dự báo tai biến địa chất vùng biển Thừa Thiên Huế - Bình Định (0-60 m nước), tỷ lệ 1:100.000” do Lê Anh Thắng chủ nhiệm đã thực hiện một cách bài bản theo hướng điều tra cơ bản tại vùng biển 0-60 m nước tại khu vực Thừa Thiên Huế - Bình Định [17].

Nhìn từ góc độ trầm tích luận, địa tầng, điều kiện thành tạo và lịch sử phát triển địa chất theo nội dung bài báo thì có thể nhấn mạnh một số tồn tại từ kết quả đã nghiên cứu như sau:

i) Phân chia 5 hệ tầng và tuổi của chúng chủ yếu dựa vào thang địa tầng của Hoàng Ngọc Kỷ và nnk thành lập cho trầm tích Đệ Tứ đồng bằng

Sông Hồng. Thang địa tầng này bao gồm 5 hệ tầng: hệ tầng Lê chi (Q_1^1), hệ tầng Hà Nội (Q_1^{2-3}), hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^{3b}), hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2}) và hệ tầng Thái Bình (Q_2^{2-3}) tồn tại những vấn đề bất hợp lý như sau: 1) Bỏ sót một phức hệ tướng trầm tích cát bùn aluvi nằm trên hệ tầng Vĩnh Phúc (hoặc hệ tầng Phú Xuân) và dưới hệ tầng Hải Hưng; và 2) do bỏ sót phức hệ tướng này nên tuổi ranh giới giữa nóc hệ tầng Vĩnh Phúc (ĐBSH) hay Phú Xuân (ĐBTrị-Thiên) (30 ka BP) và đáy hệ tầng Hải Hưng (ĐBSH) hay Phú Bài (ĐB Trị Thiên) (10 Ka BP) là hết sức vô lý. Tồn tại này đến nay vẫn chưa được Cục địa chất Việt Nam thay đổi;

ii) Hệ tầng Hải Hưng và Phú Bài có tuổi 7 ka năm dày trung bình khoảng 15 m, hệ tầng Thái Bình và Phú Vang có tuổi 3 ka năm, dày trung bình 10m về mặt khối lượng hoàn toàn không tương xứng với hệ tầng Hà Nội và Quảng Điền có tuổi 530 ka năm và dày trung bình 70 m. Bởi lẽ đối với trầm tích Đệ Tứ không có hoá thạch định tầng và cũng không có tuổi tuyệt đối nên các tác giả phân chia hệ tầng là theo dấu hiệu cảm tính bằng mắt thường và không dựa trên cơ sở trầm tích luận như chu kỳ tướng đá và địa tầng phân tập;

iii) Các kí hiệu môi trường được sử dụng tùy tiện hoàn toàn không sử dụng các chỉ tiêu được phân tích từ mẫu trầm tích ở trong phụng thí nghiệm. Ví dụ: a (aluvi), m (biển nông), am (sông-biển),... là môi trường chứ không phải nguồn gốc. Tuy nhiên, khi đã xác định môi trường tất yếu phải dùng 3 nhóm tiêu chí: nhóm tiêu chí tham số cơ học (So, Ro, Sk, Q); các khoáng vật chỉ thị môi trường biển (calcit, monmorillonit, siderit, dolomit, glauconit); các chỉ tiêu địa hoá môi trường (pH, Eh, Kt) (Trần Nghi, 2002) [18-20];

iv) Cách gọi môi trường không chính xác. Không có môi trường nào là biển-đầm lầy (mb) mà chỉ có môi trường hồ-đầm lầy, bãi bồi thấp đầm lầy hoá, bãi triều lầy (đầm lầy ven biển) (amb).

Muốn trở thành đầm lầy thì môi trường đó phải có dạng một thủy vực cạn, giàu bùn, nước tù đọng yên tĩnh, chế độ khử-axit thống trị (pH<4 và Eh<0) và phát triển thảm thực vật.

Nội dung bài báo sẽ giới thiệu chi tiết về thành phần thạch học và quy luật phân bố của chúng trong mối quan hệ với phân tầng cấu trúc từ dưới lên trên và phân vùng cấu trúc địa chất từ đất liền ra biển. Từ đó luận giải nguồn gốc, quá trình vận chuyển phân dị và lắng đọng trầm tích theo động lực các môi trường khác nhau trong mối quan hệ với 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu và chuyển động kiến tạo.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp luận

Giữa tướng đá, sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo có mối quan hệ nhân-quả với nhau; trong đó quá trình trầm tích là kết quả, chuyển động kiến tạo là nguyên nhân sâu xa còn thay đổi mực nước biển là nguyên nhân trực tiếp. Khi mực nước biển thay đổi thì môi trường trầm tích thay đổi, môi trường trầm tích thay đổi thì thành phần trầm tích thay đổi theo. Trong Đệ Tứ sự thay đổi mực nước biển toàn cầu theo chu kỳ nên chúng sẽ điều tiết các phức hệ tướng cũng sắp xếp theo chu kỳ. Ranh giới giữa các chu kỳ là bề mặt bào mòn cắt xẻ do hoạt động của lòng sông trên môi trường lục địa hoặc ranh giới giữa 2 phức hệ tướng trầm tích bùn cát biển cao (dưới) và cát bùn biển thấp (trên) khi mực nước biển thay đổi từ biển thấp sang biển tiến (TST/LST). Mối quan hệ giữa chuyển động kiến tạo với sự thay đổi mực nước biển địa phương và thành phần trầm tích cũng là mối quan hệ nhân quả, trong đó chuyển động kiến tạo là nguyên nhân. Biển thoái và biển tiến tạo nên chu kỳ tướng trầm tích còn biển hạ và biển dâng thì tạo nên các nhịp trầm tích trong địa tầng theo phương thẳng đứng. Như vậy, nhịp trầm tích về hình học là không có tính chu kỳ và phân bố không có quy luật trong các chu kỳ phức hệ tướng trầm tích bị khống chế bởi các chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân tích độ hạt

Áp dụng cho phân loại các kiểu trầm tích và thành lập bản đồ tướng đá-thạch động lực. Luận

án sử dụng phân cấp độ hạt theo thang Φ (Folk, 1935: $\Phi = -\log_2 d$, trong đó: d là kích thước hạt (mm). Theo phân cấp của thang Φ ranh giới giữa cấp hạt bột với cát là 0,063 mm.

Tính các tham số độ hạt bằng biểu đồ đường cong tích lũy:

- Tính giá trị Md : Md bằng giá trị Q_{50}

- Hệ số chọn lọc: $So = \sqrt{Q_{25}/Q_{75}}$.

Trong đó: $So = 1-1,58$: chọn lọc tốt; $So = 1,58-2,12$: chọn lọc trung bình; $So > 2,12$: chọn lọc kém [18, 19].

- Hệ số bất đối xứng: $Sk = (Q_{25} \times Q_{75}) / Md^2$

Giá trị Sk có thể lớn hơn 1 và nhỏ hơn 1. Khi $Sk > 1$ hàm lượng cấp hạt mịn chiếm ưu thế; ngược lại khi $Sk < 1$ hàm lượng cấp hạt lớn chiếm ưu thế.

2.2.2. Tính hệ số cát/bùn

Cấp hạt $> 0,063$ mm là trầm tích hạt thô (cát, sạn) (kí hiệu là S), còn cấp hạt $\leq 0,063$ mm là cấp hạt bùn (kí hiệu là M). Môi trường quan này được biểu diễn bởi công thức:

$$S = 1 - M$$

Trong đó: S và M là 2 hệ số được sử dụng trong phân tích tương.

2.2.3. Phương pháp nghiên cứu khoáng vật toàn diện từ lát mỏng thạch học bề rời

Phương pháp nghiên cứu khoáng vật toàn diện là xác định đặc điểm của tất cả các khoáng vật vụn lục nguyên, các kết vón vôi, kết vón laterit, các mảnh vụn vỏ sò được lắng đọng trong cùng một môi trường. Để biết được chính xác tất cả thành phần khoáng vật của mẫu phải sử dụng 2 phương pháp: i) Soi kính 2 mắt; và ii) Mài lát mỏng thạch học của cát bề rời để soi dưới kính hiển vi phân cực. Phương pháp này cho phép phân biệt được chính xác nguồn gốc của vật liệu vụn tha sinh tạo đá: plagiocla axit hay trung tính,

microclin và orthoclas, phân biệt được thạch anh đơn tinh thể và đa tinh thể, phân biệt được kết vón vôi với kết vón laterit mà kính 2 mắt không làm được.

2.2.4. Phương pháp xác định độ mài tròn hạt vụn từ lát mỏng thạch học bề rời

Năm 2002, Trần Nghi đã đề xuất công thức tính hệ số mài tròn của hạt vụn như sau:

$$Ro = 1 - 0,1N$$

Trong đó:

Ro là hệ số mài tròn biến thiên từ 0 (min) đến 1 (max); N là số góc lồi của hạt vụn được xác định trên lát mỏng thạch học.

Các khoảng xác định hệ số Ro :

$Ro = 0-0,4$: hạt vụn mài tròn kém; chỉ thị cho tương cuội sạn cát deluvi và proluvi;

$Ro = 0,4-0,6$: mài tròn trung bình; chỉ thị cho tương cát lòng sông, nón quạt cửa sông;

$Ro = 0,6-0,8$: mài tròn tốt; chỉ thị cho tương cát cồn cát cửa sông;

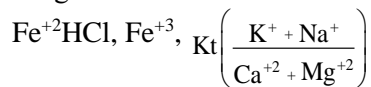
$Ro = 0,8-1,0$: mài tròn rất tốt; chỉ thị cho tương cát thạch anh đê cát ven bờ và bãi triều có sóng mạnh [18-20].

2.2.5. Phương pháp xác định hệ số trường thành

$Mt = (Ro+Q)/(So+M)$; Trong đó M là hàm lượng bùn [18-20].

2.2.6. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu địa hoá môi trường

Phân tích hoá môi trường có thể phân biệt các kiểu môi trường trầm tích được dựa trên các chỉ tiêu sau: độ pH, Eh (thế năng oxi hoá khử) $Fe^{+2}S/C_{org}$,



Bảng 2. Các chỉ tiêu địa hóa đặc trưng cho các môi trường trầm tích khác nhau

TT	Loại phân tích	Môi trường		
		Lục địa	Chuyển tiếp	Biển
1	$Fe^{+2}S/C_{org}$	$< 0,06$	0,06 - 0,2	$> 0,2$
2	Kt	$< 0,5$	0,5 - 1	> 1
3	pH	< 7	≈ 7	> 7

pH: chỉ số axit-kiềm; pH <6,5: môi trường lục địa; pH=6,5-7,5: môi trường chuyển tiếp; pH >7,5: môi trường biển.

Eh (mV): chỉ số thế năng oxi hoá-khử. Eh <0: môi trường khử; Eh >0: môi trường oxi hoá.

Kt <0,5: môi trường lục địa; Kt=0,5-1,0: môi trường chuyển tiếp; Kt >1: môi trường biển [17, 18, 20].

2.2.7. Phương pháp phân tích tương tổng hợp

Phương pháp phân tích tương tổng hợp là phương pháp xây dựng công thức tích hợp giữa tương đá và miền hệ thống theo các pha thay đổi mực nước biển.

Dựa vào giá trị của S (M), môi trường và miền hệ thống có thể xây dựng được các công thức về phức hệ tương tích hợp giữa thạch học (S, M) + môi trường (a, am, m, mv, b, lg) + Miền hệ thống (LST, TST, HST) [21-22]:

Pha biển thấp (LST):

$$LiLST = S_{m}aLST + M_{s}abLST + S_{mv}LST + M_{m}LST$$

Pha biển tiến (TST):

$$LiTST = S_{m}aTST + M_{s}amTST + S_{m}TST + M_{b}TST$$

Pha biển cao (HST)

$$LiHST = S_{m}aHST + M_{s}abHST + S_{mv}HST + M_{m}HST$$

Trong đó:

$S_{m}aLST$ - Phức hệ tương cát bùn aluvi biển thấp;

$M_{s}abLST$ - Phức hệ tương bùn cát sông-vũng vịnh biển thấp;

$S_{mv}LST$ - Phức hệ tương cát đụn biển thấp;

$M_{m}LST$ - Phức hệ tương bùn biển nông biển thấp;

$S_{m}aTST$ - Phức hệ tương cát bùn aluvi biển tiến;

$M_{s}amTST$ - Phức hệ tương bùn cát bãi triều ven biển biển tiến;

$S_{m}TST$ - Phức hệ tương cát đê cát ven bờ biển tiến;

$M_{b}TST$ - Phức hệ tương vũng vịnh biển tiến;

$S_{m}aHST$ - Phức hệ tương cát bùn aluvi biển cao;

$M_{s}abHST$ - Phức hệ tương sông-vũng vịnh biển cao;

$S_{mv}HST$ - Phức hệ tương cát đụn biển cao;

$M_{m}HST$ - Phức hệ tương biển nông biển cao.

2.2.8. Phương pháp minh giải mặt cắt địa chấn nông phân giải cao

Các trường sóng hiển thị trên mặt cắt địa chấn nông phân giải cao là hình ảnh ghi lại cấu trúc địa chất, ranh giới giữa các phức tập, các miền hệ thống và các lớp trầm tích có thành phần độ hạt khác nhau.

Theo nguyên lý đó có thể xây dựng một quy trình minh giải đối với một mặt cắt địa chấn nông phân giải cao như sau:

i) Vạch ranh giới phức tập (sequence): ranh giới phức tập là bề mặt gián đoạn trầm tích mang tính chất khu vực (SDB) (Sedimentary Discontinuity Boundary) Trên mặt cắt địa chấn ranh giới này là một đường đậm nét chạy xuyên suốt từ trái sang phải. Đó chính là ranh giới giữa phức hệ tương trầm tích biển thấp (LST), đáy của một phức tập trẻ hơn phủ trên bề mặt bào mòn cát xê của phức hệ tương trầm tích biển cao (HST), nóc của một phức tập cổ hơn (nằm dưới) LST/HST;

ii) Vạch ranh giới giữa các miền hệ thống trong mỗi phức tập:

Vạch ranh giới bề mặt bào mòn biển tiến TS (Transgressive Surface): ranh giới này là ranh giới giữa 2 phức hệ tương biển thoái (nằm dưới) và phức hệ tiến tiến (nằm trên) (TST/LST);

Vạch ranh giới giữa miền hệ thống trầm tích biển tiến (TST) và miền hệ thống trầm tích biển cao (HST) (HST/TST). Ranh giới này còn gọi là bề mặt ngập lụt biển cực đại: MMFS (Maximum Marine Flooding Surface);

iii) Phân tích tương đá trên các trường sóng của mặt cắt địa chấn nông phân giải cao:

- Trường sóng địa chấn đồng pha phản ánh tương trầm tích khá chính xác:

- Trường sóng thô đứt đoạn: tương cát bùn aluvi miền hệ thống trầm tích biển thấp ($S_{m}aLST$);

- Trường sóng mịn có cấu tạo nôm tăng trường (downlap): tương bùn cát châu thổ ngầm miền hệ thống trầm tích biển cao ($M_{s}amHST$);

- Trường sóng mịn ngang song song: Tương bùn cát biển nông miền hệ thống trầm tích biển tiến ($M_{s}mTST$).

- Trường sóng mịn có cấu tạo phù chồng tiến (onlap): tương bùn cát bãi triều biển tiến thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến (MamTST) [23].

2.2.9. Phương pháp đối sánh

Áp dụng phương pháp đối sánh trong việc xác định tuổi của các hệ tầng đã mang lại kết quả rất khả quan. Khi đã xác định được 5 chu kỳ phức

hệ tương trầm tích là cho phép xác định được 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu. Từ đó đối sánh với 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu do băng hà và gian băng nếu 2 đường cong này trùng hợp với nhau thì tuổi của các phức tập tương ứng với hệ tầng trong cột địa tầng trầm tích vùng nghiên cứu cũng sẽ được xác định một cách tin cậy [20-22, 24-25].

Bảng 3. Đối sánh giữa chu kỳ tương đá-chu kỳ phức tập và chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu

Địa tầng trầm tích		Chu kỳ trầm tích		
		Chu kỳ	Công thức tích hợp tương đá và miền hệ thống	
$Q_1^{3b} - Q_2$	HST		S_{mv} HST	Phức hệ tương cát đụn
	TST		$M_{amt,mt}$ TST	Phức hệ tương bùn cát ven biển-vùng vịnh
	LST		S_{ar} LST	Phức hệ tương cát bùn aluvi
S_{q_5}	HST		S_{alg} HST	Phức hệ tương cát bùn sông-lagoon
	TST		$M_{amt,mt}$ TST	Phức hệ tương bùn cát ven biển-vùng vịnh
	LST		S_{ar} LST	Phức hệ tương cát bùn aluvi
S_{q_4}	HST		S_{algh} HST	Phức hệ tương cát bùn sông-lagoon
	TST		$M_{amt,mt}$ TST	Phức hệ tương bùn cát ven biển
	LST		S_{ar} LST	Phức hệ tương cát bùn aluvi
S_{q_3}	HST		S_{algh} HST	Phức hệ tương cát bùn sông-lagoon
	TST		$M_{amt,mt}$ TST	Phức hệ tương bùn cát ven biển-vùng vịnh
	LST		S_{ar} LST	Phức hệ tương cát bùn aluvi
S_{q_2}	HST		M_{amh} HST	Phức hệ tương bùn cát sông - lagoon
	TST		$M_{amt,mt}$ TST	Phức hệ tương bùn cát ven biển-lagoon
	LST		S_{ar} LST	Phức hệ tương cát bùn aluvi

Bảng 4. Mối quan hệ giữa tương trầm tích, phức tập và các chu kỳ băng hà

Cột địa tầng phân tập (Trần Nghi, 2018)		Thay đổi MNB (Richard Little, 2005; Trần Nghi, 2016)		Thời địa tầng (Vũ Nhật Thắng và nnk, 1994)		Thời gian băng hà/gian băng (ka)	Thời gian ranh giới phức tập (ka)
Phức tập	Miền hệ thống trầm tích	Băng hà	Gian băng	Hệ tầng	Tuổi (ka)		
S_{q_5} $Q_1^{3b} - Q_2$	HST		Hiện đại	$Q_2^3 tb$	3 10	5	30
	TST			$Q_2^{1-2} hh$			
	LST			$Q_1^{3b} vp$			

Sq ₄ Q ₁ ^{3a}	HST			Q ₁ ²⁻³ hn	125	40	70
	TST		W1-W2			83	
	LST	Wurm 1					
Sq ₃ Q ₁ ^{2b}	HST			700	700	150	
	TST		R-W1				
	LST	Riss					
Sq ₂ Q ₁ ^{2a}	HST			Q ₁ ¹ lc	1600	700	
	TST		M-R				
	LST	Mindel					
Sq ₁ Q ₁ ¹	HST			Q ₁ ¹ lc	1600	1600	
	TST		G-M				
	LST	Gunz					
Q ₁ ¹	HST	Gunz				1900	

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Phân vùng cấu trúc và phân tầng cấu trúc

i) Khái quát

Phân vùng cấu trúc: dựa vào hình thái địa hình-địa mạo và cấu trúc địa chất trầm tích Đệ Tứ khu vực đới bờ Bình Trị Thiên có thể chia ra 4 đới cấu trúc từ đất liền ra biển (Hình 2a, 2b, 2c, 3a, 3b):

- Đới sụt lún tương đối yếu tạo đồng bằng sông-vũng vịnh nông hẹp hình bán nguyệt;
- Đới sụt lún mạnh dạng địa hào tạo hệ thống lagoon (đầm phá) cộng sinh với cồn cát ven bờ;
- Đới nâng dạng địa lũy tạo cồn cát trong đó có 2 phức hệ tương xen kẽ nhau: i) Đê cát ven bờ (SmTST); và ii) Cồn cát đụn biển-gió (SmvLST, SmvHST);
- Đới sụt lún mạnh ven bờ đơn nghiêng tạo sườn bờ ngầm.

ii) Phân tầng cấu trúc

Theo phương thẳng đứng (từ dưới lên) mỗi đới có 2 tầng cấu trúc (tầng cấu trúc móng trước Đệ Tứ và tầng cấu trúc lớp phủ Đệ Tứ). Trong tầng cấu trúc lớp phủ Đệ Tứ có 5 phụ tầng cấu trúc (Hình 2):

- Phụ tầng cấu trúc Pleistocen dưới (Q₁¹);
- Phụ tầng cấu trúc Pleistocen giữa, phần dưới(Q₁^{2a});

- Phụ tầng cấu trúc Pleistocen giữa, phần trên (Q₁^{2b});

- Phụ tầng cấu trúc Pleistocen trên, phần dưới (Q₁^{3a});

- Phụ tầng cấu trúc Pleistocen trên, phần trên-Holocen (Q₁^{3b}-Q₂).

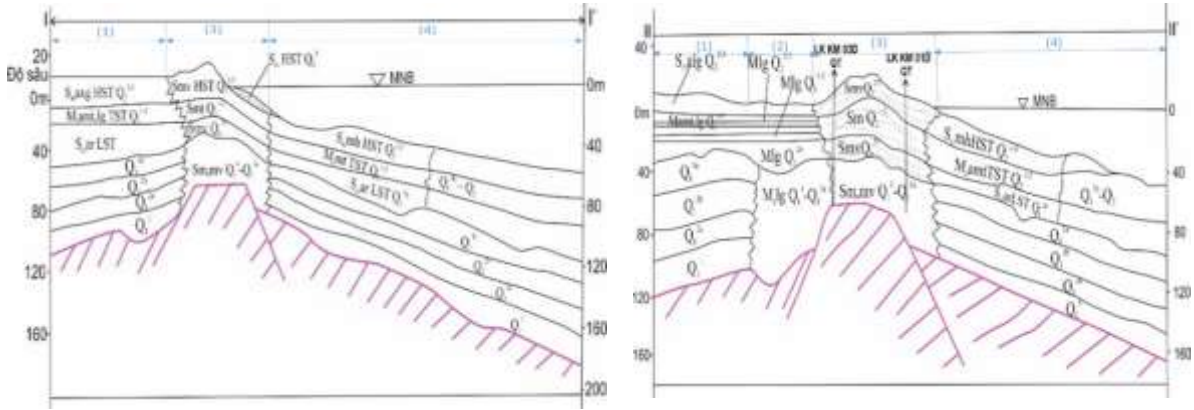
3.1.1. Đới sụt lún tương đối yếu tạo đồng bằng sông-vũng vịnh (ab-aluvi-bay) nông hẹp hình bán nguyệt

Trên 3 mặt cắt vuông góc với bờ (Hình 2a, 2b, 2c) hiển thị đới đồng bằng sông-vũng vịnh tuổi Holocen giữa-muộn (Q₂²⁻³) được ký hiệu màu vàng chanh. Từ Quảng Bình đến Thừa Thiên Huế có các đồng bằng sông-vũng vịnh nông có tuổi Q₂²⁻³ như sau: i) Đồng bằng sông Roòn; ii) Đồng bằng hữu ngạn và tả ngạn sông Gianh; iii) Đồng bằng sông Lý Hoà; iv) Đồng bằng sông Dinh; v) Đồng bằng 2 huyện Quảng Ninh và Lệ Thủy (Hình 3); vi) Đồng bằng sông Bến Hải; vii) Đồng bằng sông Thạch Hãn; viii) Đồng bằng sông Hương.

Có thể coi 8 đồng bằng sông-vũng vịnh nông nói trên là “hậu duệ” của 4 đồng bằng sông-vũng vịnh nông tuổi Pleistocen bị chôn vùi. Cả 5 đồng bằng sông-vũng vịnh nông thuộc miền hệ thống trầm tích biển cao này (M_sabHST) nằm phủ trên cùng của 5 chu kỳ phức hệ tương đá. Cột địa tầng phân tập LK KMSQB-1 ở xã Quảng Thọ, huyện Quảng Trạch (Hình 4) và cột địa tầng phân tập

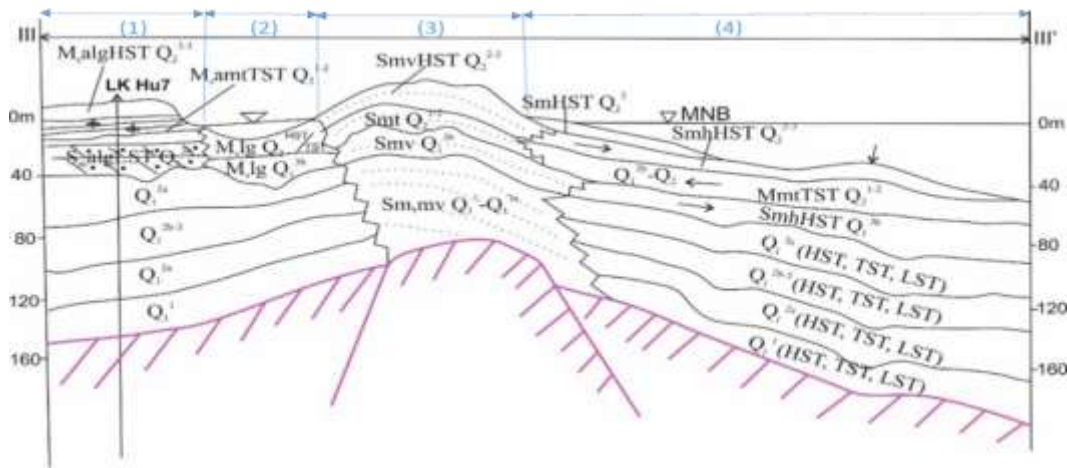
LKHUE7 và HUE6 thấy rõ 5 chu kỳ trầm tích. Như vậy, mỗi phụ tầng cấu trúc có thể coi như một hệ tầng (formation) và toàn bộ mặt cắt trầm tích Đệ Tứ đới đồng bằng thấp ven rìa sẽ có 5 hệ

tầng thứ tự từ dưới lên. Mỗi hệ tầng được cấu thành bởi 2 yếu tố: i) 3 phức hệ tương trầm tích ($S_{ma}LST$; $Mam,mtTST$; M_sabHST); ii) Tuổi của hệ tầng.



a) Quảng Bình

b) Quảng Trị



c) Thừa Thiên Huế

Hình 2. Mặt cắt địa chất trầm tích phân tầng cấu trúc và phân vùng cấu trúc đới bờ Bình-Trị Thiên từ đất liền ra biển có 4 đới (từ trái sang phải): i) Đới sụt lún tạo đồng bằng sông-vũng vịnh hình bán nguyệt giáp chân núi Trường Sơn; ii) Đới sụt lún mạnh dạng địa hào tạo lagoon (đâm phá ven biển) cộng sinh với cồn cát; iii) Đới nâng dạng địa lũy tạo cồn cát ven biển; và iv) Đới sụt lún mạnh đơn nghiêng tạo sườn bờ ngầm biển ven bờ. (Người lập: Đào Bùi Din, Trần Nghi, 2023).

Trên cơ sở đó thang địa tầng của đới đồng bằng thấp sông-vũng vịnh có thể được thiết lập như sau:

i) Hệ tầng Pleistocen dưới: $S_{ma}LST$; (Mam,m) TST ; $M_sabHST Q_1^{1a}$;

ii) Hệ tầng Pleistocen giữa, phần dưới ($S_{ma}LST$; $Mam,mtTST$; $M_sabHST Q_1^{2a}$);

iii) Hệ tầng Pleistocen giữa, phần trên ($S_{ma}LST$; $Mam,mtTST$; $M_sabHST Q_1^{2b}$);

iv) Hệ tầng Pleistocen trên, phần dưới (S_{ma}LST; Mam,mTST; M_{sab}HSTQ₁^{3a});

v) Hệ tầng Pleistocen trên, phần trên - Holocen (S_{ma}LST; Mam,mTST; M_{sab}HST Q₁^{3b}-Q₂) (Hình 4.1; 4.2; 4.3; 4.4; 4.5).

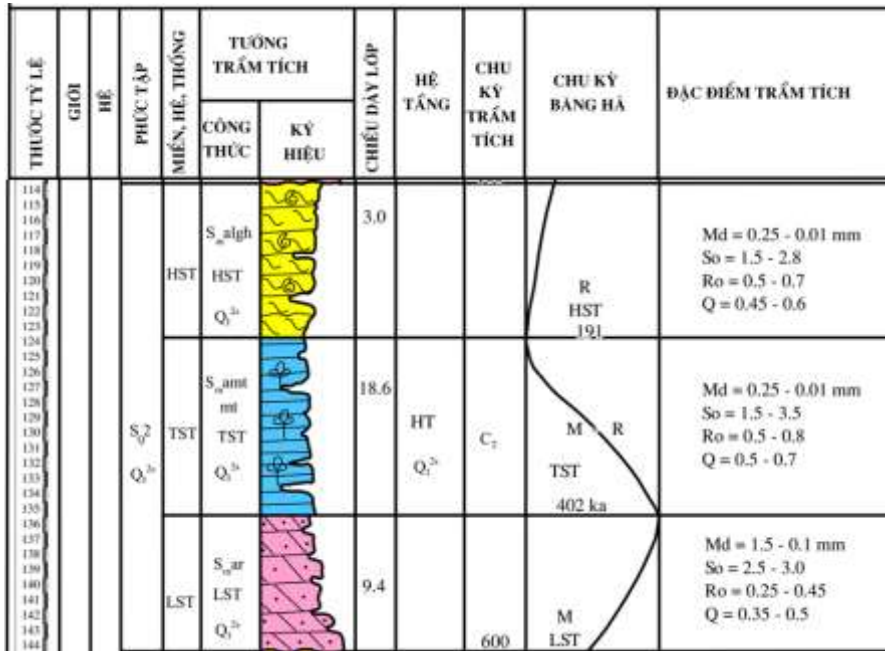


Hình 3. a) Đồng bằng Quảng Ninh-Lệ Thủy Quảng Bình; b) Bàu Tró-lagoon tàn dư phía bắc cửa sông Nhật Lệ (Ảnh Trần Nghi, 2017).

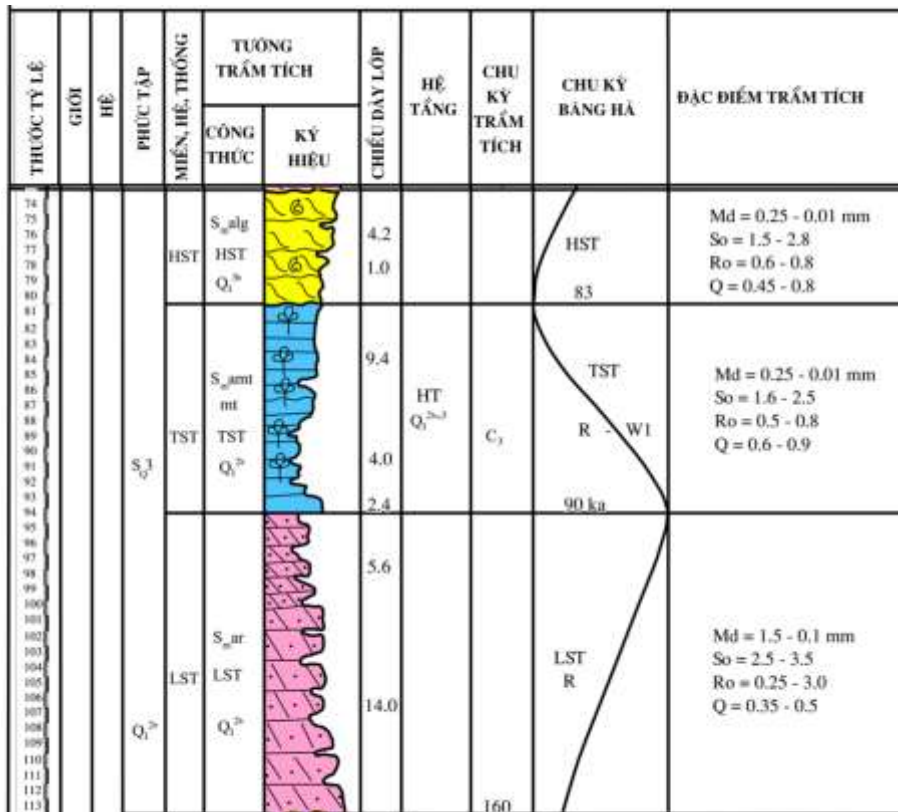
THUỐC TỶ LỆ	GIỚI	HỆ	PHỨC TẬP	TƯỜNG TRẮM TÍCH		CHIỀU DÀY LỚP	HỆ TẦNG	CHU KỲ TRẮM TÍCH	CHU KỲ BĂNG HÀ	ĐẶC ĐIỂM TRẮM TÍCH
				CÔNG THỨC	KỶ HIỆU					
145			S _Q ¹	HST	S _{nlg}	18.0	HT	Q ₁ ¹	0.8	Md = 0.5 - 0.02 mm So = 1.7 - 2.5 Ro = 0.5 - 0.8 Q = 0.5 - 0.8
146		HST								
147		Q ₁ ¹								
148			TST	TST	18.0	HT	Q ₁ ¹	C ₁	1.4 Ma	Md = 0.75 - 0.05 mm So = 1.3 - 2.8 Ro = 0.6 - 0.9 Q = 0.7 - 0.9
149		S _{amt}								
150		TST								
151			LST	LST	7.0					Md = 1.0 - 0.1 mm So = 2.5 - 3.0 Ro = 0.3 - 0.5 Q = 0.35 - 0.45
152		S _{ar}								
153		Q ₁ ¹								
154										
155										
156										
157										
158										
159										
160										
161										
162										
163										
164										
165										
166										
167										
168										
169										
170										
171										
172										
173										
174										
175										

Hình 4.1. (LK Hu7) Phức tập 1 (Q₁¹) gồm 3 miền hệ thống:

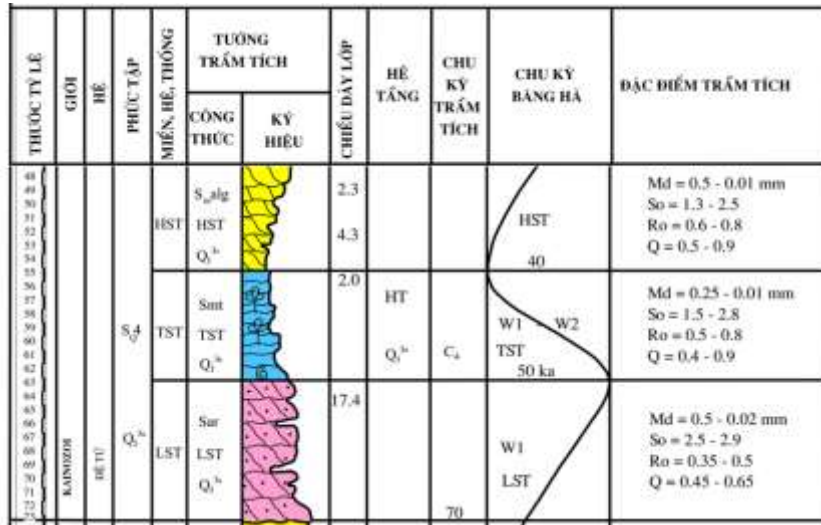
- i) LST được đặc trưng bởi phức hệ tương cát bùn aluvi biển thấp (S_{ma}LST);
- ii) TST được đặc trưng bởi phức hệ tương bùn cát ven biển và bùn lagoon biển tiến (Mam,mTST);
- iii) HST được đặc trưng bởi phức hệ tương bùn cát sông-vùng vịnh biển cao (M_{sma}HST).



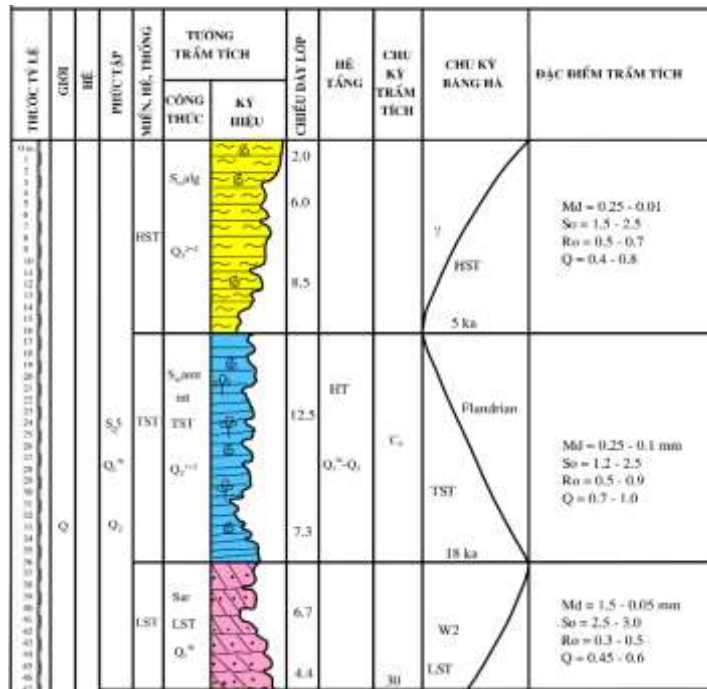
Hình 4.2. (LK Hu7) Phức tập 2 (Q_1^{2a}) gồm 3 miền hệ thống: LST, TST, HST.



Hình 4.3. (LK Hu7) Phức tập 3: (Q_1^{2b}) gồm 3 miền hệ thống: LST, TST, HST.



Hình 4.4. (LK Hu7) Phức tập 4: Q₁^{3a} gồm 3 miền hệ thống: LST, TST, HST.



Hình 4.5. (LK Hu7) Phức tập 5: Q₁^{3a}-Q₂ gồm 3 miền hệ thống: LST, TST, HST.

3.1.2. Đôi sụt lún mạnh dạng địa hào tạo hệ thống lagoon (đầm phá)

Các địa hào này được hình thành từ đầu Đệ Tứ và phát triển kế thừa nhau theo 5 chu kỳ phức hệ tương ứng với 5 phụ tầng cấu trúc như đối với khu vực các đồng bằng ven rìa. Mỗi chu

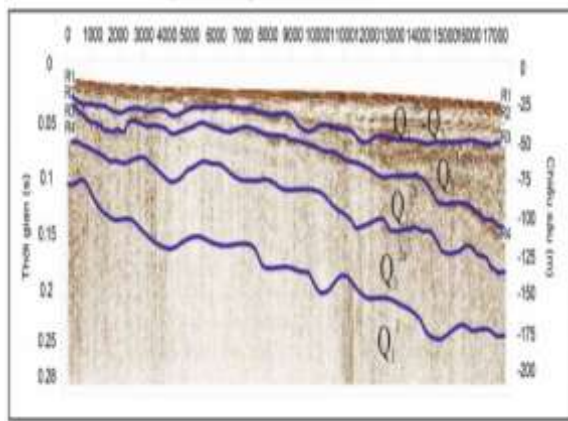
kỳ có 3 phức hệ tương từ dưới lên trên: i) Phức hệ tương cát bùn aluvi biển thấp (S_{ma}LST); ii) Phức hệ tương bùn đầm lầy lagoon biển tiến (MlgTST); iii) Phức hệ tương bùn cát lagoon biển cao (M_slg HST). Tương tự như 5 hệ tầng của đồng bằng rìa 5 hệ tầng của đôi lagoon có

thể sử dụng chính thức cho thang thời địa tầng và rất dễ dàng liên kết 5 hệ tầng của 2 đới với nhau (Hình 2a, 2b, 2c).

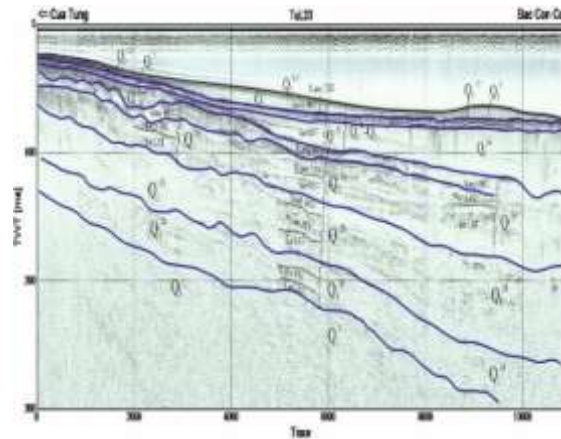
3.1.3. Đới nâng dạng địa lũy tạo đê cát ven bờ và cồn cát đụn do gió

Đới nâng địa lũy ven bờ là cấu trúc địa chất có ranh giới đến chân các cồn cát. Mặt cắt địa chất trầm tích trên một vị trí bất kỳ của cồn cát không thể bắt gặp đầy đủ 5 chu kỳ phủ liên tục lên nhau. Nguyên nhân là do mối quan hệ giữa quá trình trầm tích với sự thay đổi mực nước biển và chuyển động nâng kiến tạo hoàn toàn khác với 2 đới nêu trên. Sau khi thành tạo phức hệ tương cát thạch anh đê cát ven bờ móng của Đệ Tứ lại tiếp tục nâng lên và đê cát ven bờ bị gió tái tạo

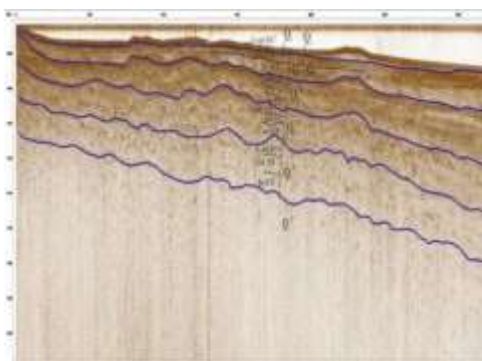
di chuyển và lắng đọng tạo nên cát đụn. Vì vậy, phức hệ tương cát đê cát ven bờ của chu kỳ sau không còn phủ lên đê cát ven bờ của chu kỳ trước nên phân tầng cấu trúc về hình học không liên tục theo phương thẳng đứng mà theo mô hình phủ chồng lùi theo thời gian. Có thể biểu diễn sơ đồ cột địa tầng với 5 hệ tầng các cồn ven biển khu vực Bình Trị Thiên từ dưới lên tương ứng với 5 chu kỳ phức hệ tương đá lấp đi lấp lại: phức hệ tương cát đê cát ven bờ (Sm) và phức hệ tương cát đụn (Smv): i) Hệ tầng Pleistocen dưới (Sm,SmvQ₁¹); ii) Hệ tầng Pleistocen giữa phần dưới (Sm,SmvQ₁^{2a}); iii) Hệ tầng Pleistocen giữa phần trên (Sm,SmvQ₁^{2a}); và iv) Hệ tầng Pleistocen trên phần dưới (Sm,SmvQ₁^{3a}); hệ tầng Pleistocen trên, phần trên (Sm,SmvQ₁^{3b}-Q₂).



a - T- QB-PX01 (Quảng Bình)



b- T-CP-09-Tu 33 (Quảng Trị)



c- T-CP-09-Tu 33 (Thừa Thiên-Huế)

Hình 5. Ba mặt cắt địa chấn nông phân giải cao vùng biển ven bờ Bình-Trị-Thiên có các đặc điểm sau đây: i) Có 5 tập địa chấn tương ứng với 5 phức tập: Q₁¹, Q₁^{2a}, Q₁^{2b}, Q₁^{3a}, Q₁^{3b}-Q₂; và ii) Bề dày trầm tích mỗi phức tập tăng dần từ bờ ra khơi.

3.1.4. Đới sụt lún mạnh đơn nghiêng ven bờ tạo sườn bờ ngầm

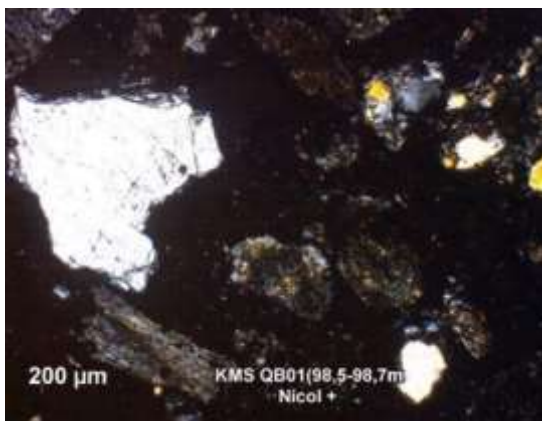
Đới sườn bờ ngầm được tính từ 0m hải đồ đến độ sâu 30 m nước. 3 mặt cắt địa chất trầm tích được minh giải từ 3 mặt cắt địa chấn nông phân giải cao ở vùng biển ven bờ Quảng Bình, Quảng Trị và Thừa Thiên-Huế (Hình 5a, 5b, 5c) đã chỉ ra phần ngập nước của đới bờ có 5 chu kỳ phức hệ tướng đá tương ứng với 5 phức tập (sequence) có bề dày trầm tích tăng dần về phía biển. Mỗi phức tập có 3 miền hệ thống (LST, TST, HST). Ranh giới giữa các phức tập là ranh giới bào mòn cắt xẻ nằm giữa miền hệ thống biển cao của phức tập trước và miền hệ thống biển thấp của phức tập sau (LST/HST). Phân tích tướng trầm tích trên các trường sóng địa chấn đồng pha của mỗi phức tập cho phép xây dựng được thang thời địa tầng trên cơ sở địa tầng phân tập.

3.2. Đặc điểm trầm tích và điều kiện thành tạo của các phức hệ tướng đá theo phân đới cấu trúc

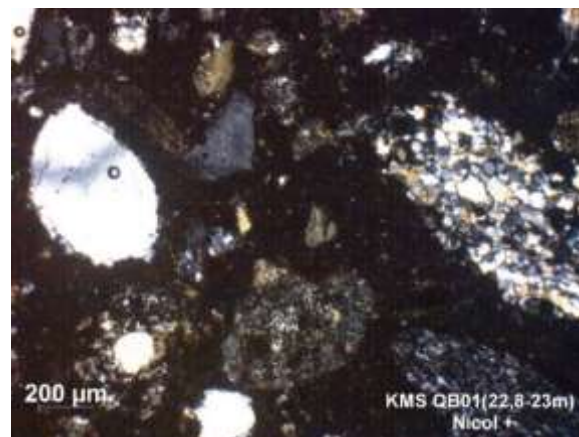
3.2.1. Đới sụt lún tạo đồng bằng sông-vũng vịnh nông

Năm phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp (S_{maLST}) của 5 chu kỳ và 3 khu vực (hạ lưu sông

Gianh, hạ lưu Sông Thạch Hãn và hạ lưu Sông Hương luôn luôn chiếm vị trí thấp nhất của 5 phức tập ($Q_1^1, Q_1^{2a}, Q_1^{2b}, Q_1^{3a}, Q_1^{3b}-Q_2$). 5 phức hệ tướng này được cấu thành bởi 2 nhóm tướng: nhóm tướng cát lòng sông đồng bằng ($SaLST$) (nằm dưới) và nhóm tướng bùn cát bãi bồi nằm phủ trên M_{saLST} . Tướng cát lòng sông bao gồm chủ yếu là đa khoáng hạt trung có độ mài tròn và chọn lọc kém ($Ro_{tb}=0,3-0,5$; $So_{tb}=2,3-2,9$) (Hình 6.1a). Thành phần khoáng vật tạo đá gồm 3 loại có mặt thường xuyên: thạch anh (Q), feldpat (F) và mảnh đá (R). Hàm lượng thạch anh thạch anh chiếm chủ yếu từ 45-55%. Đa phần là thạch anh đơn tinh thể có nguồn gốc từ granit và tái trầm tích đá cát kết; thạch anh đa tinh thể chiếm tỷ lệ rất thấp từ 5-10% có nguồn gốc từ nhiệt dịch và quazit. Feldpat chiếm 15-25% gồm plagiocla axit, orthocla. Mảnh đá bao gồm chủ yếu là silic, rhyolit và quazit chiếm 10-20% (Hình 6.1a, b). 5 phức hệ tướng này chính là 5 tầng chứa nước ngầm. Tuy nhiên, chất lượng nước ngầm từ các đồng bằng này rất kém thường bị nhiễm mặn do thẩm thấu nước mặn tiềm tàng từ các tầng bùn sét vũng vịnh biển tiến. Nguồn gốc vật liệu trầm tích lục nguyên này chủ yếu do 3 lưu vực sông cung cấp: Sông Gianh, sông Long Đại, Sông Thạch Hãn và Sông Hương bắt nguồn từ dãy núi Trường Sơn.



a



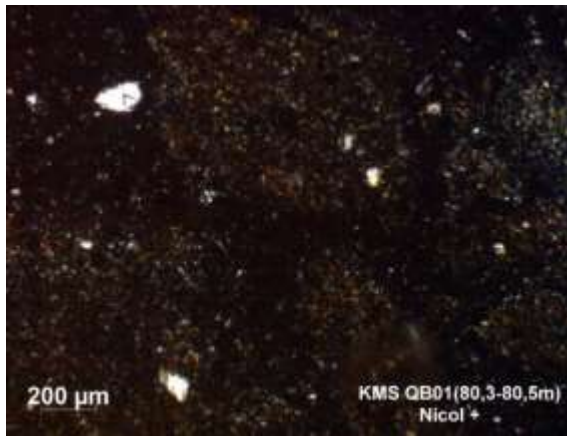
b

Hình 6.1. Ảnh lát mỏng thạch học tại LK KMS QB01-xã Quảng Thọ, Quảng Trạch, Quảng Bình.
a) Phức hệ tướng cát hạt trung đa khoáng lòng sông biển thấp ($SaLSTQ_1^1$) thành phần gồm: Qm, Qp, R (mảnh đá rhyolit, mảnh đá phiến sericit, quazit). $So=2,8$; $Ro_{tb}=0,5$. N+, x40; sâu 98,6 m;
b) Phức hệ tướng cát hạt trung đa khoáng biển thấp ($SaLSTQ_1^{3b}$). N+, x40; sâu 22,8 m.

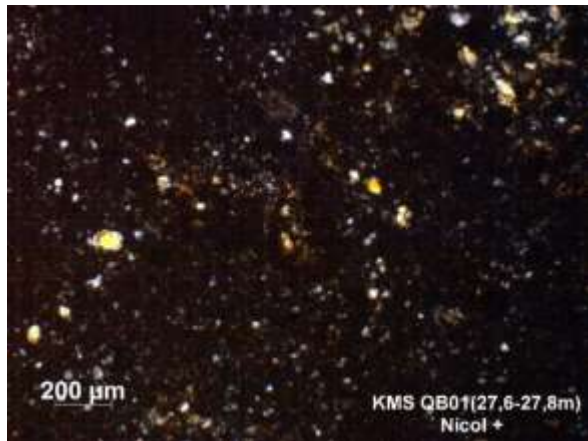
Năm phức hệ tướng bùn cát vũng vịnh nông (shallow bay) của miền hệ thống trầm tích biển tiến (MbTST) bao gồm 2 nhóm tướng cộng sinh với nhau theo phương thẳng đứng: i) Nhóm tướng bùn đầm lầy ven biển biển tiến (MamTST); và ii) Nhóm tướng bùn xám xanh vũng vịnh nông biển tiến cực đại (MbTST). Các phức hệ tướng này thường đóng vai trò là các tầng cách nước. Tuy nhiên vì chúng có bề dày

mỏng dạng thấu kính, hàm lượng sét thấp, xuất hiện nhiều cửa sổ thủy văn nên nước mặn tiềm tàng bị hoà tan cùng nước khí tượng thấm xuống nhiễm mặn tầng chứa nước.

Năm phức hệ tướng bùn cát sông-vũng vịnh nông biển cao (MsabHST) đều là trầm tích lục nguyên có độ chọn lọc kém ($So_{tb}=2,7$) (Bảng 5, 6, 7).



a



b

Hình 6.2. a) Phức hệ tướng bùn đầm lầy ven biển biển tiến chu kỳ thứ 2 (MbTSTQ₁^{2a}); b) Phức hệ tướng bùn cát đồng bằng sông-vũng vịnh biển cao chu kỳ thứ 4 (M_sabHSTQ₁^{3a}).

Bảng 5. Bảng tổng hợp các tham số trầm tích Độ Tứ đới bờ hạ lưu Sông Gianh, Quảng Bình

Chu kỳ trầm tích	Phức hệ tướng đá	Q _{tb}			So _{tb}			Ro _{tb}			pH _{tb}		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Q ₁ ^{3b} -Q ₂	L _i 3	0,56	-	0,97	2,8	2,6	1,3	0,6	-	0,7	7,7	7,8	-
	L _i 2	-	-	0,95	2,4	2,7	1,2	-	-	0,8	7,4	7,5	-
	L _i 1	0,55	0,60	0,98	2,3	2,3	1,1	0,4	0,5	0,8	6,5	6,6	-
Q ₁ ^{3a}	L _i 3	0,54	-	0,95	2,6	2,5	1,3	0,6	-	0,7	7,5	7,6	-
	L _i 2	-	-	0,94	2,5	2,6	1,1	-	-	0,8	7,2	7,5	-
	L _i 1	0,45	0,55	0,95	2,3	2,4	1,2	0,4	0,5	0,8	6,5	6,7	-
Q ₁ ^{2b}	L _i 3	0,45	-	0,96	2,7	2,7	1,4	0,6	-	0,7	7,6	7,8	-
	L _i 2	-	-	0,97	2,6	2,9	1,2	-	-	0,7	7,3	7,5	-
	L _i 1	0,42	0,50	0,95	2,4	2,5	1,3	0,3	0,4	0,7	6,6	6,6	-
Q ₁ ^{2a}	L _i 3	0,45	-	0,98	3,0	3,2	1,3	0,5	-	0,8	7,5	7,7	-
	L _i 2	-	-	0,96	2,7	2,8	1,3	-	-	0,8	7,4	7,5	-
	L _i 1	0,40	0,48	0,90	2,6	2,5	1,3	0,3	0,3	0,7	6,6	6,7	-
Q ₁ ¹	L _i 3	0,50	-	0,97	2,8	2,7	1,2	0,6	-	0,7	7,5	7,6	-
	L _i 2	-	-	0,99	2,9	2,5	1,3	-	-	0,8	7,1	7,3	-
	L _i 1	0,35	0,45	0,91	2,7	2,6	1,4	0,3	0,3	0,7	6,5	6,6	-

* Chú thích:

I - Đới sụt lún yếu tạo đồng bằng sông – lagoon;

II - Đới sụt lún mạnh tạo lagoon ven biển;

III - Đới nâng dạng địa lũy tạo đê cát ven bờ và cát đụn;

L_{i1}- Đới I và II: **SaLST** - Phức hệ tương cát (S) aluvi biển thấp (aLST);

Đới III: **SmvLST** - Phức hệ tương cát đụn do gió, **L_{i2}**- Đới I: **M_sbTST** - Phức hệ tương bùn cát (M_s) vịnh nông biển tiến (bTST);

Đới II: **MlgTST** - Phức hệ tương bùn (M) lagoon biển tiến (lgTST);

Đới III: **SmTST** - Phức hệ tương cát đê cát ven bờ biển tiến (sandy barrier bar); **SmvTST**- Phức hệ tương cát đụn do gió biển tiến;

L_{i3}- Đới I: **M_sabHST** - Phức hệ tương bùn cát sông-vũng vịnh biển cao;

Đới II: **MlgHST** - Phức hệ tương bùn lagoon biển cao;

Đới III: **SmvHST** - phức hệ tương cát đụn biển cao.

Bảng 6. Bảng tổng hợp các tham số trầm tích Đệ Tứ đới bờ hạ lưu Sông Thạch Hãn, Quảng Trị

Chu kỳ trầm tích	Phức hệ tương đá	Q _{tb}			S _{o_{tb}}			R _{o_{tb}}			pH _{tb}		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Q ₁ ^{3b} -Q ₂	L _{i3}	0,56	-	0,97	2,3	2,9	1,2	0,4	-	0,7	7,4	7,3	-
	L _{i2}	-	-	0,99	2,4	3,2	1,1	0,5	-	0,9	7,5	7,5	-
	L _{i1}	0,54	0,60	0,98	2,7	3,0	1,3	0,3	-	0,8	6,4	6,8	-
Q ₁ ^{3a}	L _{i3}	0,65	-	0,97	2,8	2,9	1,4	0,5	-	0,8	7,3	7,2	-
	L _{i2}	-	-	0,96	2,4	2,7	1,2	0,6	-	0,6	7,5	7,8	-
	L _{i1}	0,50	0,55	0,95	2,6	2,8	1,3	0,3	-	0,7	6,5	6,9	-
Q ₁ ^{2b}	L _{i3}	0,64	-	0,97	2,5	2,9	1,2	0,4	-	0,8	7,2	7,3	-
	L _{i2}	-	-	0,94	2,7	2,7	1,1	0,5	-	0,7	7,5	7,6	-
	L _{i1}	0,45	0,46	0,90	2,6	2,6	1,3	0,3	-	0,7	6,4	6,7	-
Q ₁ ^{2a}	L _{i3}	0,65	-	0,95	2,9	2,8	1,2	0,4	-	0,8	7,4	7,4	-
	L _{i2}	-	-	0,96	2,8	2,7	1,1	0,5	-	0,8	7,6	7,8	-
	L _{i1}	0,47	0,45	0,86	2,6	2,8	1,3	0,3	-	0,7	6,6	6,9	-
Q ₁ ¹	L _{i3}	0,6	-	0,85	2,5	3,0	1,4	0,4	-	0,8	7,2	7,3	-
	L _{i2}	-	-	0,84	2,8	2,9	1,2	0,3	-	0,7	7,6	7,7	-
	L _{i1}	0,40	0,40	0,85	2,7	2,8	1,3	0,3	-	0,8	6,5	6,8	-

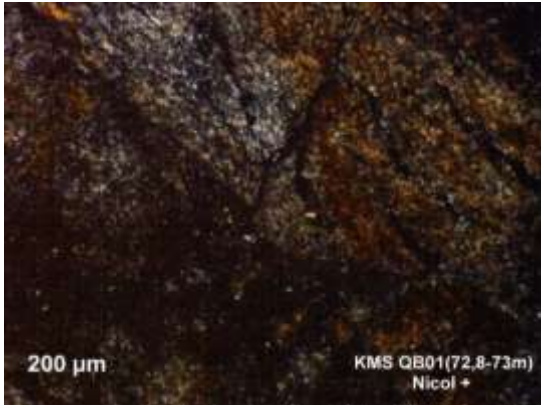
Bảng 7. Bảng tổng hợp các tham số trầm tích Đệ Tứ đới bờ hạ lưu Sông Hương, Thừa Thiên Huế

Chu kỳ trầm tích	Phức hệ tương đá	Q _{tb}			S _{o_{tb}}			R _{o_{tb}}			pH _{tb}		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Q ₁ ^{3b} -Q ₂	L _{i3}	0,65	-	0,96	2,5	2,9	1,3	0,65	0,53	0,8	7,3	7,4	-
	L _{i2}	-	-	0,97	2,8	2,6	1,2	-	-	0,9	7,5	7,8	-
	L _{i1}	0,65	0,68	0,98	2,3	2,8	1,1	0,50	0,49	0,9	6,4	6,6	-
Q ₁ ^{3a}	L _{i3}	0,55	-	0,94	2,6	2,5	1,5	0,55	0,48	0,8	7,2	7,3	-
	L _{i2}	-	-	0,92	2,7	2,6	1,4	-	-	0,7	7,6	7,7	-
	L _{i1}	0,57	0,60	0,97	2,6	2,7	1,2	0,45	0,40	0,8	6,5	6,4	-
Q ₁ ^{2b}	L _{i3}	0,60	-	0,91	2,6	2,7	1,5	0,65	0,50	0,8	7,1	7,3	-
	L _{i2}	-	-	0,95	2,8	2,8	1,2	-	-	0,7	7,6	7,7	-
	L _{i1}	0,55	0,56	0,97	2,5	2,6	1,3	0,40	0,45	0,7	6,6	6,7	-
Q ₁ ^{2a}	L _{i3}	0,66	-	0,96	2,8	2,6	1,3	0,60	0,50	0,8	7,2	7,0	-
	L _{i2}	-	-	0,97	2,7	2,7	1,4	-	-	0,7	7,5	7,4	-
	L _{i1}	0,52	0,55	0,95	2,4	2,7	1,2	0,30	0,46	0,8	6,5	6,6	-
Q ₁ ¹	L _{i3}	0,57	-	0,94	2,6	2,9	1,3	0,50	0,55	0,7	7,0	7,4	-
	L _{i2}	-	-	0,92	2,7	2,4	1,2	-	-	0,8	7,4	7,5	-
	L _{i1}	0,48	0,50	0,90	2,6	2,5	1,3	0,25	0,45	0,7	6,4	6,6	-

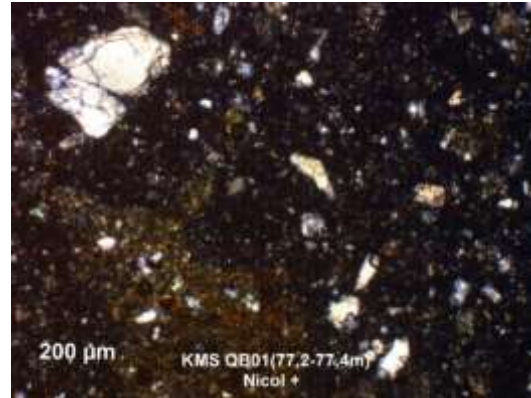
3.2.2. Đới sụt lún mạnh dạng địa hào

Đới sụt lún mạnh dạng địa hào tạo thành một lagoon ven biển chạy song song với cồn cát phát triển đầy đủ 5 chu kỳ phức hệ tướng đá. Mỗi chu

kỳ có 3 phức hệ tướng từ dưới lên như sau: i) Phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp ($S_{ma}LST$); ii) Phức hệ tướng bùn lagoon biển tiến ($MlgTST$); iii) Phức hệ tướng bùn cát lagoon biển cao ($M_{slg}HST$).



a



b

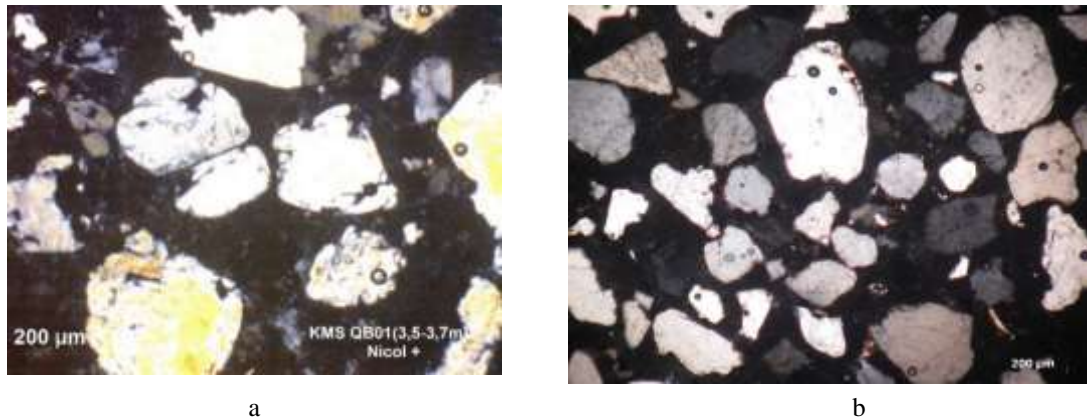
Hình 6.3. a) Tướng bùn biển tiến cực đại đới sụt lún mạnh chu kỳ thứ 2 ($MmTSTQ_1^{2a}$), sâu 72,8 m; N+, x90. (LKKMSQB01).

b) Tướng bùn cát bãi triều đầm lầy ven biển biển tiến chu kỳ thứ 2 ($M_{sab}TSTQ_1^{2a}$), N+, x90.

3.2.3. Đới nâng dạng địa lũy ven bờ

Đới nâng tạo địa lũy ven bờ là “barrier” chắn cát trong các pha biển tiến tạo đê cát ven bờ và cát đụn do gió hình thành trong các pha biển thoái tạo nên cồn cát ven biển kỳ vĩ chạy song song với bờ biển hiện đại có tuổi từ Pleistocen sớm. 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển trong Đệ Tứ đã tạo ra 5 chu kỳ phức hệ tướng cát. Tuy nhiên, phức hệ tướng cát trẻ hơn thường lại không phủ trên đỉnh phức hệ tướng cát già hơn mà thường bám ở sườn bờ lầy sau mỗi chu kỳ trầm tích thì cồn cát bị nâng lên và quá trình hoạt động của gió đã biến cải liên tục bề mặt của cồn cát thành cát đụn có địa hình gò đồi lượn sóng. Chúng bị nâng cao lên thành thềm biển và cồn cát (Hình 6.4a). Mỗi chu kỳ thay đổi mực nước biển đã tạo ra 3 phức hệ tướng cát: i) Phức hệ tướng cát đụn biển thấp ($S_{mv}LST$) có màu xám trắng; ii) Phức hệ tướng cát đê cát ven bờ biển tiến ($SmTST$); và iii) Phức hệ tướng cát đụn ($S_{mv}HST$). Cả 3 phức hệ tướng cát này đều có độ chọn lọc và mài tròn tốt ($So_{tb}=1,1-1,3$; $Ro_{tb}=0,7-1,0$), hàm lượng thạch anh đạt trên

95%. Đặc biệt là các mỏ cát thủy tinh có tuổi Holocen giữa ở Ba Đồn (Quảng Bình) và Hải Lăng (Quảng Trị) có hệ số chọn lọc trung bình (So_{tb}), hệ số mài tròn trung bình (Ro_{tb}) và hệ số thạch anh đều gần bằng 1 tức đạt được hệ số tối đa. Vì vậy, hệ số trưởng thành đạt được giá trị gần tối đa ($Mt \sim 2$). Nhiều tác giả đã từng nghiên cứu cồn cát ở ven biển Miền Trung nói chung và Bình-Trị Thiên nói riêng đều cho rằng cồn cát chỉ thành tạo do gió thổi và nguồn cát là do sông mang tới. Sự nhận thức nhầm lẫn đó là tất yếu bởi lẽ đây là vấn đề hết sức lý thú và phức tạp. Khi chưa nghiên cứu tướng đá cổ địa lý trầm tích Đệ Tứ trên toàn bộ thềm lục địa Việt Nam và 8 hệ thống đường bờ cổ thì chưa thể nhận thức được vật liệu cát là có nguồn gốc từ sông mang ra biển trong các pha biển thoái sau đó các dòng chảy ven bờ vận chuyển chúng từ bắc xuống nam rồi được dồn đẩy vào bờ trong các pha biển tiến do ảnh hưởng của các chu kỳ gian băng: Gunz-Mindel (Q_1^1); Mindel-Riss (Q_1^{2a}); Riss-Wurm1 (Q_1^{2b}); Wurm1-Wurm2 (Q_1^{3a}) và biển tiến Flandrian (18-5 ka BP).



Hình 6.4. a) Phức hệ tương cát thạch anh đê cát ven bờ chu kỳ thứ 5 (SmTSTQ₂²); N+, x90 ; Q=0,99; So=1,2; R_{0tb}=0,85 (xã Quảng Thọ, Quảng Trạch, Quảng Bình).

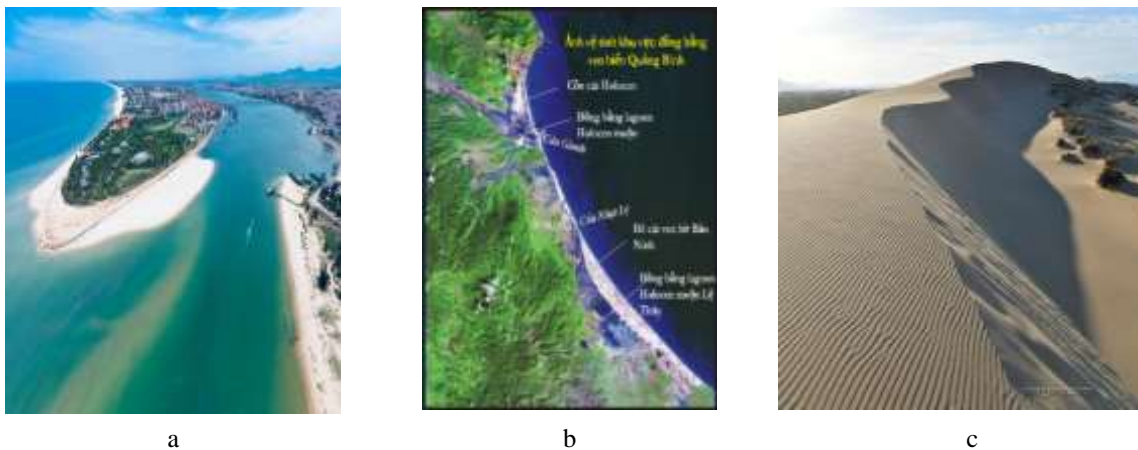
b) Phức hệ tương cát đụn do gió màu vàng nghệ thuộc miền hệ thống trầm tích biển cao chu kỳ 4 (SmvHSTQ₁^{3a}); Q=0,98 ; So=1,2, R_{0tb}=0,8; N+, x90. Vết lộ trên bề mặt Nam Đòng Hới.

3.2.4. Đới sụt lún đơn nghiêng ven bờ tạo sườn bờ ngầm có độ sâu từ 0 m nước đến đường bờ cổ 30 m nước

Trên bề mặt của đáy biển từ bờ ra khơi thấy rõ có 3 phụ đới: i) Phụ đới cát Holocen muộn-hiện đại (Q₂³) (0-15 m) được tạo ra do xói lở bờ cát và tái trầm tích khi mực nước biển dâng từ 1000 năm BP đến nay; ii) Phụ đới cát bùn Holocen giữa -muộn (Q₂²⁻³)(15-25 m) thuộc

miền hệ thống trầm tích biển cao (SmHST Q₂²⁻³); và iii) Phụ đới cát sạn laterit đường bờ cổ Pleistocen muộn-Holocen sớm (Q₁^{3b}-Q₂¹).

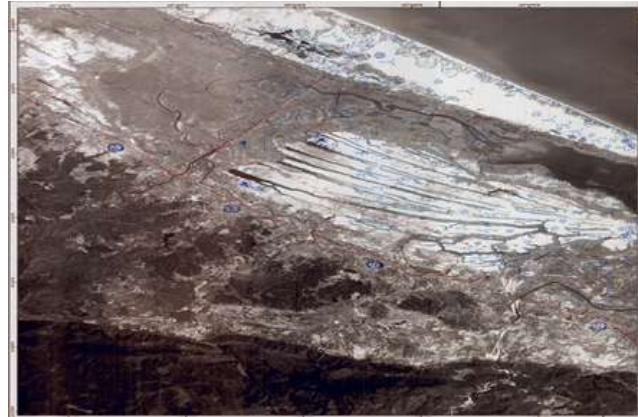
Theo phương thẳng đứng đới này có 5 phụ tầng cấu trúc từ dưới lên như sau (Hình 2): i) Phụ tầng 1: Pleistocen dưới (Q₁¹); ii) Phụ tầng 2: Pleistocen giữa phần dưới (Q₁^{2a}); iii) Phụ tầng 3: Pleistocen giữa phần trên (Q₁^{2b}); iv) Phụ tầng 4: Pleistocen trên phần dưới (Q₁^{3a}); v) Phụ tầng 5: Pleistocen trên phần dưới đến Holocen (Q₁^{3b}-Q₂).



Hình 7. a) Một cặp cộng sinh đê cát ven bờ (cồn cát Bảo Ninh) và lagoon (sông Nhật Lệ) Đòng Hới Quảng Bình (Q₂¹⁻²).

b) Toàn cảnh đới bờ tỉnh Quảng Bình có 5 đơn vị trầm tích (từ đất liền ra biển): i) Đồng bằng sông-lagoon Holocen giữa muộn (Q₂²⁻³); ii) Đồng bằng cát trắng thủy tinh Ba Đồn bao gồm một hệ thống đê cát ven bờ tuổi Q₂² phủ trên mỏ than bùn Ba Đồn tuổi Q₂¹ trước biển tiến cực đại; iii) Lagoon (sông Nhật Lệ) đang hoạt động và lagoon tàn dư; iv) Cồn cát ven biển Quảng Hưng-Bảo Ninh); v) Sườn bờ ngầm ven bờ.

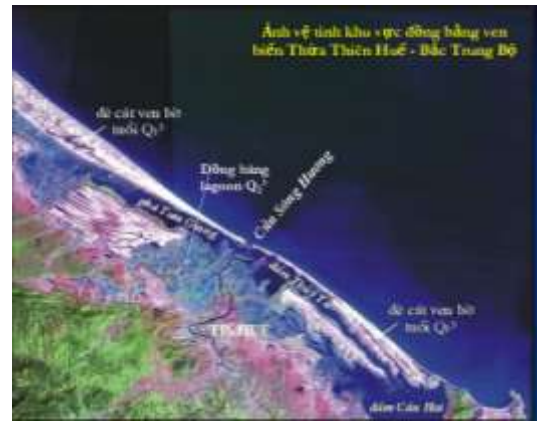
c) Cồn cát hiện đại (Q₂³): cồn cát hình lưỡi liềm, sườn thoải quay lưng ra biển, sườn dốc hướng về đất liền.



Hình 8. Ảnh Spot cho thấy 1 đồng bằng cát dạng rẽ quạt bao gồm 1 hệ thống các đê cát thạch anh ven bờ thành tạo trong Holocen sớm giữa (Q_2^2) nằm phía trong lagoon huyện Hải Lăng, Quảng Trị và nằm ở vị trí tây bắc cuối cùng phá Tam Giang, Cầu Hai. Giữa các gờ cát dạng nan quạt là các rãnh nước tàn dư của lạch thoát triều cổ chảy hội tụ về phía đông nam còn cát rời đổ vào phá Tam Giang-Cầu Hai.



a



b

Hình 9. a) Cồn cát Thuận An, sườn dốc hướng về đất liền (bên trái).

b) Toàn cảnh đới bờ Thừa Thiên-Huế gồm 5 đơn vị trầm tích (từ đất liền ra biển): i) Đồng bằng sông-lagoon Holocen giữa- muộn (Q_2^{2-3}); ii) Cồn cát trắng thấp ven đồng bằng; iii) Lagoon (phá Tam Giang-Cầu Hai) đang hoạt động; iv) cồn cát Thuận An ven biển; và v) Sườn bờ ngầm ven bờ.

4. Kết luận

i) Khu vực đới bờ Bình Trị Thiên có 4 đới cấu trúc từ đất liền ra biển:

- Đới sụt lún tương đối yếu tạo 5 đồng bằng có hình bán nguyệt ven rìa tương ứng với 5 phức hệ tướng cát bùn aluvi-vũng vịnh (SmabHST) phân bố giữa chân dãy núi Trường Sơn và đường bờ các lagoon ven biển;

- Đới sụt lún mạnh dạng địa hào liên tục là điều kiện cần cho sự phát triển lagoon từ đầu Đệ

Tứ đến nay. Trong đó phá Tam Giang – Cầu Hai (Thuận An -Thừa Thiên Huế) là lagoon có quy mô lớn và điển hình nhất ở Việt Nam dài gần 100 km, rộng gần 5 km, sâu trung bình 5 m chứng minh cho quá trình sụt lún mạnh vẫn đang tiếp diễn. Bàu Tró và phá Hạc Hải (Quảng Bình) là tàn dư của hệ thống lagoon cổ bị thoái hoá;

- Đới nâng dạng địa lũy phát triển đê cát ven bờ và cồn cát đụn do gió chạy song song với đường bờ hiện đại cùng với hệ thống lagoon phía trong tạo thành một cặp đôi cộng sinh như sự cân

bằng âm dương bị chi phối bởi quá trình địa chất nội-ngoại sinh hoàn hảo;

- Đới sụt lún mạnh đơn nghiêng ven biển tạo sườn bờ ngầm hiện đại (0-30 m nước gồm 3 phụ đới: phụ đới cát Holocen muộn (0-15 m nước) (Q_2^3) đã và đang mở rộng về phía đất liền do xói lở cồn cát; phụ đới cá Holocen giữa-muộn (Q_2^{2-3}) (0-25 m nước);

ii) Mỗi đới cấu trúc ngang đều có 5 phân tầng cấu trúc theo phương thẳng đứng. 5 phân tầng cấu trúc tương ứng với 5 chu kỳ phức hệ tương từ dưới lên trên: 1) Phức hệ tương cát aluvi biển thấp (SaLST); 2) Phức hệ tương cát đê cát ven bờ và phức hệ tương bùn cát biển tiến (S, M_s TST); và 3) Phức hệ tương bùn cát biển cao (M_s HST);

iii) 5 phức hệ tương được hình thành trong mối quan hệ nhân quả với 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu do ảnh hưởng của 5 chu kỳ băng hà/gian băng: Gunz/G-M; Mindel/M-R; Riss/R-W1; Wurm1/W1-W2; Wurm2/biển tiến Fladrian;

iv) Nguồn gốc vật liệu trầm tích lắng đọng ở đới đồng bằng sông-vũng vịnh ven rìa chủ yếu là thành phần lục nguyên trong 2 miền hệ thống biển thấp (LST) và biển cao (HST) còn trong miền hệ thống biển tiến (TST) do môi trường trầm tích là vũng vịnh nông nước có độ pH > 7,8 nên lắng đọng calcit và siderit tạo nên thành phần trầm tích hỗn hợp giữa lục nguyên xen lẫn carbonat;

v) Đới cấu trúc cồn cát ven biển là một thành tạo địa chất phức tạp nhưng có quy luật rõ ràng. 5 chu kỳ phức hệ tương không chồng phủ lên nhau theo phương thẳng đứng mà phức hệ tương cát biển tiến sẽ phủ chồng gối lên sườn dốc của các thành tạo cát cổ hơn. Các phức hệ tương cát đụn được thành tạo chủ yếu trong pha biển thoái (LST) và biển cao (HST) nhưng cũng có cả trong pha biển tiến (TST) khi đó địa hình cồn cát đã nâng cao ngang với độ cao của thềm biển. Tuy nhiên cột địa tầng của cồn cát cũng được lập nên theo trật tự của 5 hệ tầng theo 5 chu kỳ trầm tích từ cổ đến trẻ: Q_1^1 ; Q_1^{2a} ; Q_1^{2b} ; Q_1^{3a} ; Q_1^{3b} - Q_2 ;

vi) 4 đới cấu trúc từ đất liền ra biển đều có 5 phụ tầng cấu trúc, tuy nhiên các phụ tầng cấu trúc khác nhau về tương và bề dày trầm tích, trong đó

đới cấu trúc nâng tạo đê cát ven bờ và cát đụn biển gió có bề dày mỏng nhất.

Lời cảm ơn

Để hoàn thành bài báo này tập thể tác giả đã nhận được sự quan tâm giúp đỡ của Trường Đại học Mở Địa chất, Trung tâm Điều tra Quy hoạch Tài nguyên biển phía Bắc, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội và Liên đoàn Địa chất và Khoáng sản biển thuộc Cục Địa chất Việt Nam về sự khuyến khích động viên, cung cấp tài liệu, số liệu khu vực Đới bờ Bình-Trị- Thiên. Nhân dịp này tập thể tác giả xin được gửi tới các cá nhân và các cơ quan nói trên lời cảm ơn sâu sắc về sự giúp đỡ quý báu đó.

Tài liệu tham khảo

- [1] N. Bieu, D. M. Tien et al., Final Report of the Project Geological Investigation and Mineral Search for Shallow Coastal Sea (Depth of 30 Meters) in Vietnam, Scale 1: 500,000, 2001 (in Vietnamese).
- [2] T. Nghi et al., Quaternary Sediment Map of the Vietnam Continental Shelf, Scale 1: 1,000,000, National Project KT-02-07, 1991-1995 (in Vietnamese).
- [3] T. Nghi et al., Map of Paleogeographic-lithofacies of the Pliocene - Quaternary of the Vietnam Continental Shelf, Scale 1:1,000,000, National Project KT-06-11, 2001 (in Vietnamese).
- [4] T. Tinh, N. Q. Trung, MaHaXay - Dong Hoi Mineral Geological Map at Scale 1:200,000, The Vietnam Geological Department, 1996 (in Vietnamese).
- [5] N. X. Duong, D. V. Chi, Le Thuy - Quang Tri Mineral Geological Map at Scale 1:200,000, The Vietnam Geological Department, 1996 (in Vietnamese).
- [6] T. Nghi, N. Bieu, B. C. Que, Rules for Distribution of Marine Placers in Quaternary Sediments in Vietnam, Vietnam Journal of Geology, Vol. 237, 1996, pp. 19-24 (in Vietnamese).
- [7] P. H. Thong, Hue Geological and Mineral Map at Scale 1: 50,000, North Vietnam Geology Mapping Division, 1997 (in Vietnamese).
- [8] B. C. Que et al., Supplementing and Completing to Publish Geological and Geophysical Maps of Bien

- Dong Sea and Adjacent Areas, National Project KHCN-06.12, 2000 (in Vietnamese).
- [9] D. V. Long, Quang Tri Geological and Mineral Map at Scale 1:50,000, North Vietnam Geology Mapping Division, 2000 (in Vietnamese).
- [10] L. T. Phuc, Characteristics and History of Development of Quaternary Sedimentary Formations in the Shallow Marine Zone of North Central Vietnam, Doctoral Thesis, 2002 (in Vietnamese).
- [11] V. Q. Lan, Evolution of Quaternary Sedimentary Formations in the Quang Tri-Thua Thien-Hue delta, Doctoral thesis, VNU-University of Science, 2003 (in Vietnamese).
- [12] T. Nghi et al., Map of Quaternary Formations in The Bien Dong Sea and Adjacent Areas at Scale 1:1,000,000, 2004 (in Vietnamese).
- [13] T. Nghi, D. M. Tien et al., Geological Map of the Bien Dong Sea and Adjacent Areas at Scale 1:1,000,000, National Project KC09-23, 2007 (in Vietnamese).
- [14] T. Nghi, D. X. Thanh, N. T. Lan, T. T. T. Nhan, P. N. H. Vu, Quaternary Geological Map of the Continental Shelf of Vietnam at the Scale of 1/1000000, *Journal of Science: Earth Sciences*, 23/1, 2007, pp 1-9 (in Vietnamese).
- [15] T. Nghi et al., Map of Surface Sediments and Lithodynamics in the Seas of Thuan An to Ninh Chu and Ham Tan to Vung Tau (Depth of 0-30 Meters) at Scale 1:500,000, 2009 (in Vietnamese).
- [16] T. Nghi (Editor), D. X. Thanh, N. D. Nguyen, D. M. Tien, Pliocene-Quaternary Geology of Bien Dong Sea and Adjacent Areas, Vietnam National University Press, Hanoi, 2015, pp. 1-506 (in Vietnamese).
- [17] L. A. Thang, Investigation of Geological Characteristics, Geodynamics, Mineral Geology, Environmental Geology and Prediction of Geological Hazards in the Sea Area of Thua Thien - Hue - Binh Dinh (Depth of 0-60 Meters), Scale 1:100,000, 2015 (in Vietnamese).
- [18] T. Nghi, Sedimentology in Marine Geology and Petroleum, Vietnam National University Press, Hanoi, 2010, pp. 1-329 (in Vietnamese).
- [19] T. Nghi, Sedimentology, Vietnam National University Press, 2012, pp. 1-472 (in Vietnamese).
- [20] T. Nghi, Sedimentary geology of Vietnam, Vietnam National University Press, 2018, pp. 1-510 (in Vietnamese).
- [21] T. Nghi et al., The Relationship between Sequence Stratigraphy and Groundwater of Quaternary Sediments in Relation to Global Sea-level Change in the Downstream Red River Delta Area, *Lithology and Mineral Resources*, Vol. 57, No. 5, 2022, pp. 449-472.
- [22] T. Nghi et al., Significance of Sequence Stratigraphy Research in the Assessment of Groundwater Potential of Quaternary Sediments in Vietnam's Ninh Thuan-Binh Thuan area, *Lithology and Mineral Resources*, Vol. 58, No. 5, 2023, pp. 478-500.
- [23] T. Nghi et al., Method for Interpreting High-Resolution Shallow Seismic Sections: Principles and Application to Coastal Waters of the Red River Delta, *VNU Earth and Environmental Sciences*, Vol. 35, No. 2, 2019, pp. 58-73 (in Vietnamese).
- [24] T. Nghi et al., Quaternary Sedimentary Cyclic in Relation to the Global Sea Level Changes in the Red River Delta of Vietnam, *Journal of Geology, Series B*, No. 51-52, 2020, pp. 12-31.
- [25] T. Nghi et al., Late Pleistocene-Holocene Sedimentary Evolution in the Coastal Zone of the Red River Delta, *Heliyon Journal*, 2021, pp. e05872.