



Original Article

## Variation of Geosystems in Holocene Red River Coastal Zone

Tran Nghi<sup>1</sup>, Tran Thị Thanh Nhan<sup>1,\*</sup>, Dinh Xuan Thanh<sup>1</sup>, Tran Ngoc Dien<sup>1</sup>,  
Nguyen Thi Huyen Trang<sup>1</sup>, Tran Thi Dung<sup>1</sup>, Pham Van Hai<sup>2</sup>, Nguyen Thi Phuong Thao<sup>1</sup>

<sup>1</sup>VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Paleontology - Stratigraphy association of Vietnam, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

Received 04 March 2019

Revised 11 March 2019; Accepted 13 March 2019

**Abstract:** The geosystem is a natural conditional system that is integrated by the lithofacies and ecosystems in space and in time in relation to sea level change, climate change, and tectonic movement. Another way, the geosystem is a natural unit including the causal relationship between ecosystem and lithofacies, in which the lithofacies is cause and ecosystem - result. There are 3 phases of sea level changes in Holocene as follows: (1) Flandrian transgression lasted from 10ka BP to 5ka BP.; (2) Middle - late Holocene regressive phase existed from 5kaBP to 1ka BP.; (3) Modern sea level rise has occurred from 1 ka BP to present. The depositional process taking place in the coastal zone of the Red River delta according to lithofacies association law in space and in time created 3 geosystem groups and 8 geosystems. Each lithofacies type will correspond with one geosystem and one or more ecosystems. In early - middle Holocene transgressive lithofacies-ecosystem group there are typical Geosystems: (1) The Geosystem of coastal swamp clay facies-mangrove forest ecosystem; (2) The geosystem of lagoonal greenish grey clay facies- bioaquatic and bottom mollusca ecosystems. On the contrary, in middle - late Holocene regressive phase there are two lithofacies - ecosystem groups: (1) The geosystem of middle - late buried submarine deltaic-coastal marine ecosystem; (2) Modern deltaic geosystem group composed of 4 geosystem: (1) The geosystem of high deltaic plan sand ridge facies-rice field and village ecosystem; (2) The geosystem of high deltaic flood plain clayey silt facies- rice field and fruit tree ecosystem; (3) The geosystem of low deltaic plan sand ridge - rice field and village ecosystem; (4) The geosystem of low deltaic flood plain silty clay facies - rush field, shrimp pond, intertidal mangrove forest ecosystems; (5) The geosystem of modern submarine deltaic sandy mud and clay facies - sand tidal flat shell, river mouth lagoon - sand bar and coastal marine ecosystems.

**Keywords:** Geosystem, ecosystem, lithofacies, paleogeography, deltaic plain, intertidal, river mouth sandy bar.

\* Corresponding author.

E-mail address: [quynhanthu@gmail.com](mailto:quynhanthu@gmail.com)

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4370>



## Biến động các địa hệ trong Holocen ở khu vực đới bờ châu thổ sông Hồng

Trần Nghi<sup>1</sup>, Trần Thị Thanh Nhân<sup>1,\*</sup>, Đinh Xuân Thành<sup>1</sup>, Trần Ngọc Diễm<sup>1</sup>,  
Nguyễn Thị Huyền Trang<sup>1</sup>, Trần Thị Dung<sup>1</sup>, Phạm Văn Hải<sup>2</sup>, Nguyễn Thị Phương Thảo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Hội cổ sinh - địa tầng Việt Nam, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 04 tháng 3 năm 2019

Chỉnh sửa ngày 11 tháng 3 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 13 tháng 3 năm 2019

**Tóm tắt:** Địa hệ là một hệ thống điều kiện tự nhiên được tích hợp giữa tương trầm tích và các hệ sinh thái theo thời gian và không gian trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển, biến đổi khí hậu và chuyển động kiến tạo. Nói một cách khác địa hệ là một đơn vị điều kiện tự nhiên chứa đựng mối quan hệ nhân-quả giữa hệ sinh thái và tương trầm tích, trong đó tương trầm tích là nguyên nhân còn hệ sinh thái là kết quả. Trong Holocen có 3 pha thay đổi mực nước biển: (1) Pha biển tiến Flandrian (10-5ka BP); (2) Pha biển thoái Holocen giữa - muộn (5-1ka BP) và (3) Pha biển dâng từ 1ka BP đến nay. Quá trình trầm tích của đới bờ châu thổ Sông Hồng diễn ra theo quy luật cộng sinh tương theo thời gian và theo không gian và tạo thành 3 nhóm địa hệ và 8 địa hệ. Mỗi một kiểu tương trầm tích sẽ tương ứng với một địa hệ. Mỗi một địa hệ sẽ có một hay nhiều hệ sinh thái. Trong nhóm địa hệ biển tiến Holocen sớm-giữa đã hình thành 2 địa hệ tiêu biểu: (1) Địa hệ đầm lầy ven biển, tương sét - hệ sinh thái rừng ngập mặn; (2) Địa hệ vũng vịnh, tương sét xám xanh - hệ sinh thái thủy sinh vũng vịnh và động vật thân mềm bám đáy. Ngược lại trong pha biển thoái Holocen giữa - muộn có 2 nhóm địa hệ: (1) Nhóm địa hệ châu thổ ngậm chôn vùi Holocen giữa - muộn ( $Q_2^{2-3}$ ) và (2) Nhóm địa hệ châu thổ hiện đại biển thoái Holocen muộn. Nhóm địa hệ châu thổ ngậm bị chôn vùi Holocen giữa - muộn ( $Q_2^{2-3}$ ), tương bột sét - HST biển ven bờ. Nhóm địa hệ châu thổ hiện đại gồm 4 địa hệ (1) Địa hệ đồng bằng châu thổ cao, tương cồn cát - HST đồng lúa và dân cư; (2) Địa hệ bãi bồi đồng bằng châu thổ cao, tương bột sét - HST đồng lúa và hoa màu; (3) Địa hệ đồng bằng châu thổ thấp, tương cồn cát - HST đồng lúa và dân cư; (4) Địa hệ bãi bồi đồng bằng châu thổ thấp, tương sét bột - HST đồng cỏ, HST đầm nuôi tôm và HST rừng ngập mặn bãi gian triều; (5) Địa hệ châu thổ ngậm hiện đại, tương cát bùn và sét - HST ngao sò bãi triều cát, HST cồn cát - lagoon cửa sông - HST biển nông ven bờ.

**Từ khóa:** Nhóm địa hệ, địa hệ, hệ sinh thái, tương trầm tích, đồng bằng châu thổ, bãi gian triều, bãi triều, cồn cát cửa sông.

### 1. Mở đầu

Lịch sử biến động các địa hệ trong Holocen liên quan chặt chẽ với sự thay đổi mực nước

biển và quá trình dịch chuyển đường bờ theo quy luật quan hệ nhân-quả. Trong Holocen có 3 pha thay đổi mực nước biển quan trọng: (1) Pha biển tiến Flandrian xảy ra từ 18 - 5ka BP; (2) Pha biển thoái Holocen muộn xảy ra từ 5-1ka BP; (3) Pha biển dâng hiện đại [1-3]. Trong phạm vi đới bờ châu thổ Sông Hồng mực nước biển của pha biển tiến Flandrian đã dừng lại

\*Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: [quynhanthu@gmail.com](mailto:quynhanthu@gmail.com)

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4370>

khoảng 2 ngàn năm (10-8ka BP) tại khu vực ven biển hiện đại và tạo nên một đới đường bờ cổ rộng khoảng 10 km tính từ đường bờ hiện đại vào phía đất liền.

Trong phạm vi đới bờ (coastal zone) thuộc đồng bằng châu thổ Sông Hồng các địa hệ của Holocen được tính theo không gian 3 chiều: (1) Theo chiều dài được giới hạn từ phía nam cửa sông Thái Bình đến cửa Đáy; (2) Theo chiều rộng (vuông góc với bờ) được tính từ độ sâu 30m nước đến đường bờ cổ 1000 năm BP trên phần đất liền, tức gồm các huyện ven biển như Kiến Xương, Tiền Hải, Giao Thủy, Hải Hậu, Kim Sơn và (3) Theo chiều thẳng đứng ranh giới Holocen thay đổi từ trên bề mặt của đồng bằng đến độ sâu 30m ở khu vực bờ biển Thái Bình, 56m ở khu vực bờ biển Nam Định và 21m khu vực cửa Đáy. Như vậy các địa hệ từ Holocen sớm (10 - 8ka BP) đến Holocen muộn (3ka đến nay) đã liên tục biến động theo thời gian và theo không gian trong mối quan hệ với tiến hoá trầm tích và sự thay đổi mực nước biển [1].

Nghiên cứu lịch sử biến động các địa hệ trong Holocen đến nay là giải quyết mối quan hệ nhân quả giữa tương trầm tích và các hệ sinh thái tương thích trong mối quan hệ với 3 pha thay đổi mực nước biển: (1) Pha biển tiến Holocen sớm giữa ( $Q_2^{1-2}$ ); (2) Pha biển thoái Holocen giữa-muộn ( $Q_2^{2-3}$ ) và pha biển dâng hiện đại ( $Q_2^3$ ) [4-7]. Trên cơ sở đó các địa hệ sẽ biến động liên tục theo không gian và theo mặt cắt địa chất trầm tích. Hệ sinh thái và tương trầm tích có mối quan hệ nhân quả hết sức biện chứng. Tương trầm tích là cái nôi sinh ra hệ sinh thái động vật và thực vật và là môi trường cư trú của chúng. Ví dụ tương đầm lầy gian triều ven biển sẽ sinh ra hệ sinh thái rừng ngập mặn, đồng thời đó sẽ là bãi cư trú của thế giới động vật nước lợ thích sống trong bùn và nước đầm lầy như cá bống nháy, cây còng đỏ. Tương cát hạt nhỏ bãi triều rộng có độ chọn lọc tốt là bãi cư trú của dã tràng và ngao... *Vì vậy nội dung bài báo sẽ trình bày một cách tường minh mối quan hệ giữa tính chất và xu thế biến động của các hệ sinh thái với đặc điểm và xu thế biến động của tương trầm tích trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển.*

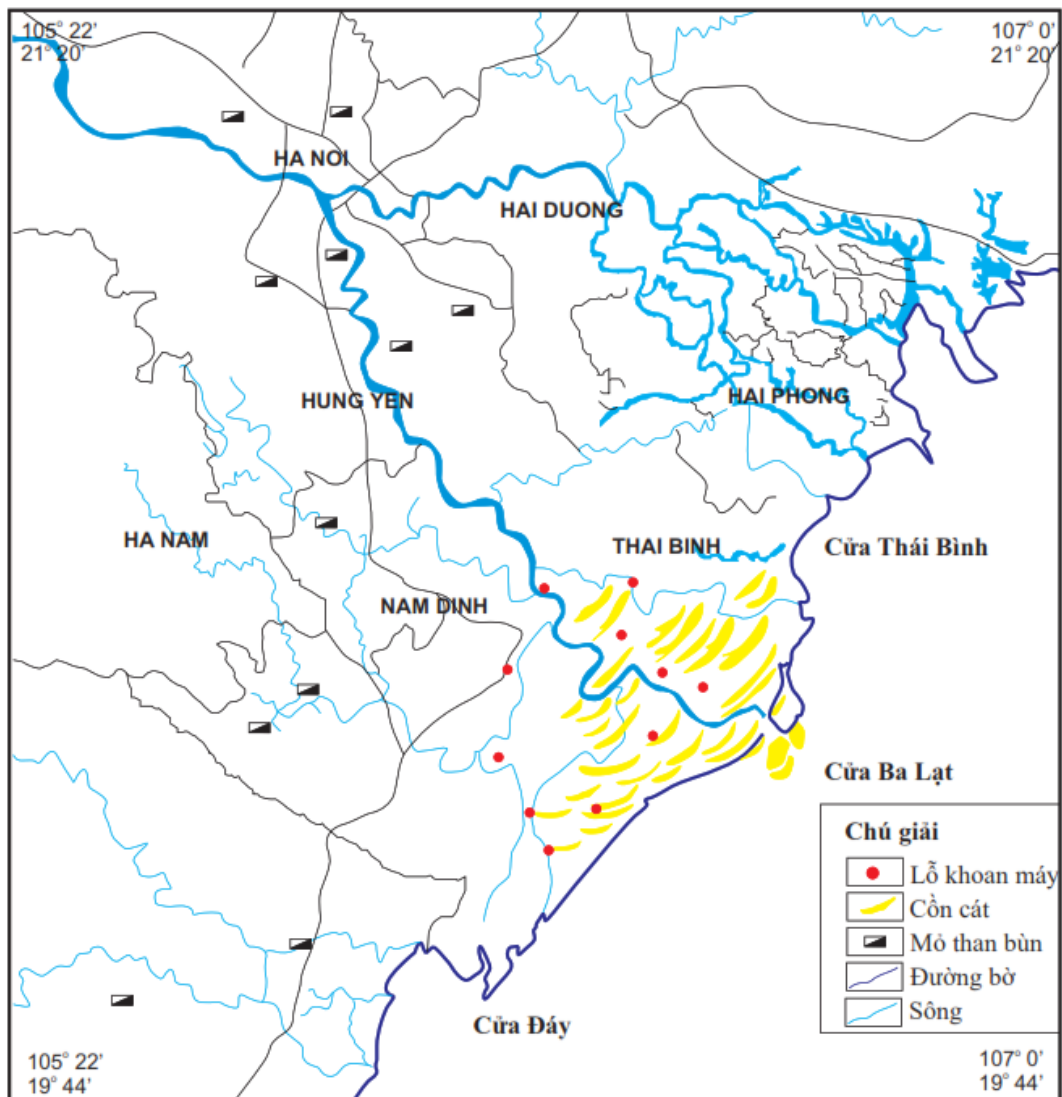
Theo hướng tiếp cận *biến động địa hệ* đến nay vẫn chưa có tác giả nào trong nước cũng như nước ngoài nghiên cứu. Đặc biệt là các địa hệ đã bị chôn vùi dưới sâu không thể nghiên cứu bằng phương pháp trực tiếp của các nhà sinh thái học kinh điển. Đối với các hệ sinh thái hiện đại ven biển thuộc đồng bằng châu thổ thấp và tiền châu thổ đã được nghiên cứu khá chi tiết nhằm mục tiêu xây dựng các khu dự trữ sinh quyển phục vụ du lịch sinh thái, nghỉ dưỡng và tắm biển. Các tác giả nghiên cứu các hệ sinh thái chủ yếu dựa trên đặc điểm đa dạng sinh học của các loài sinh vật quý hiếm, đặc biệt là loài chim nằm trong sách đỏ của thế giới đang có nguy cơ diệt chủng [8-11]. Vì vậy những nghiên cứu này ít chú ý đến quy luật biến động của các hệ sinh thái theo thời gian địa chất trong quá khứ, hiện tại và tương lai trong mối quan hệ với quy luật biến động của các địa hệ như: (1) Tương trầm tích; (2) Địa hóa trầm tích và (3) Ảnh hưởng của biến động môi trường trầm tích đến sự bảo tồn, phát triển và suy thoái của thế giới sinh vật.

Những khu sinh thái và khu bảo tồn sinh quyển khu vực ven biển châu thổ Sông Hồng có giá trị thực tiễn cao cũng đều được nghiên cứu và xây dựng theo hướng tiếp cận hệ sinh thái. Ngày 13/10/2004 Tổ chức Giáo dục, Khoa học và Văn hóa Liên Hợp Quốc (UNESCO) công nhận khu Dự trữ sinh quyển thế giới Đất ngập nước ven biển liên tỉnh châu thổ Sông Hồng cho 3 tỉnh Nam Định, Thái Bình và Ninh Bình gồm: 1) Khu Ramsar Xuân Thủy và khu sinh thái Nghĩa Hưng (Nam Định); 2) Khu dự trữ sinh quyển Cồn Nổi, Kim Sơn, Cửa Đáy (Ninh Bình) nằm trong khu vực bồi tụ mạnh nhất của châu thổ Sông Hồng, gồm thị trấn Bình Minh, xã Kim Đông, Kim Hải, Kim Trung, đảo Cồn Nổi có chiều dài 18 km bờ biển nằm giữa 2 cửa sông lớn là Sông Đáy và Sông Càn; (3) Khu dự trữ sinh quyển Cồn Vành, Cồn Thù và Cồn Đen tạo nên một tam giác phòng thủ về quốc phòng và che chắn bảo vệ biển vào đất liền, với diện tích khoảng 3000 ha thuộc huyện Tiền Hải và Thái Thụy (Thái Bình). Những giá trị về địa cảnh quan sinh thái tự nhiên đã và đang được bảo vệ khai thác và phát triển thành tài nguyên

du lịch quan trọng, đó là: (1) Biển Đông Châu thuộc huyện Tiên Hải là một khu du lịch gồm bờ biển xã Đông Minh, Cửa Lân, Cồn Thủ và Cồn Vành; (2) Khu du lịch sinh thái biển Cồn Vành (3) Khu du lịch sinh thái biển Cồn Đen; (4) Khu du lịch Bãi Ngang - Cồn Nổi.

Bài báo trình bày một hướng tiếp cận mới tích hợp mối quan hệ phụ thuộc giữa sự biến động các hệ sinh thái với thành phần vật chất và môi trường trầm tích trong mối quan hệ với sự

thay đổi mực nước biển từ 10.000 năm đến nay tại vùng biển từ cửa Thái Bình xuống vùng biển Cửa Đáy (hình 1). Từ đó dự báo xu thế biến động của các địa hệ sinh thái này trong tương lai trong bối cảnh biến đổi khí hậu toàn cầu đặc biệt là mực nước biển dâng và xu thế bồi tụ và xói lở đường bờ của châu thổ Sông Hồng. Đây là cơ sở khoa học để đề xuất giải pháp quản lý đới bờ theo hướng phát triển bền vững.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu.

**2. Kết quả nghiên cứu**

**2.1. Định nghĩa và phân loại địa hệ**

**2.1.1. Định nghĩa**

Địa hệ là một hệ thống điều kiện tự nhiên được tích hợp giữa tương trầm tích và các hệ sinh thái theo thời gian và không gian trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển, biến đổi khí hậu và chuyển động kiến tạo.

Như vậy nội hàm của địa hệ gồm 2 nội dung cơ bản có quan hệ nhân - quả với nhau, đó là “địa” và “hệ”. Địa là “Tương trầm tích” đóng vai trò là nguyên nhân và “hệ” là “hệ sinh thái” (HST) đóng vai trò là kết quả. Vì vậy *nghiên cứu biến động các địa hệ thực chất là nghiên cứu biến động các tương trầm tích và hệ sinh thái trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo.*

**2.1.2. Phân loại địa hệ**

\* Các tiêu chí phân loại:

(1) Bối cảnh thay đổi mực nước biển (biển thoái, biển tiến)

- (2) Tương trầm tích
- (3) Tỷ lệ cát/sét
- (4) Các chỉ tiêu địa hóa môi trường: pH, Eh, Kt, TOC
- (5) Hệ sinh thái

\* Sơ đồ phân loại địa hệ:

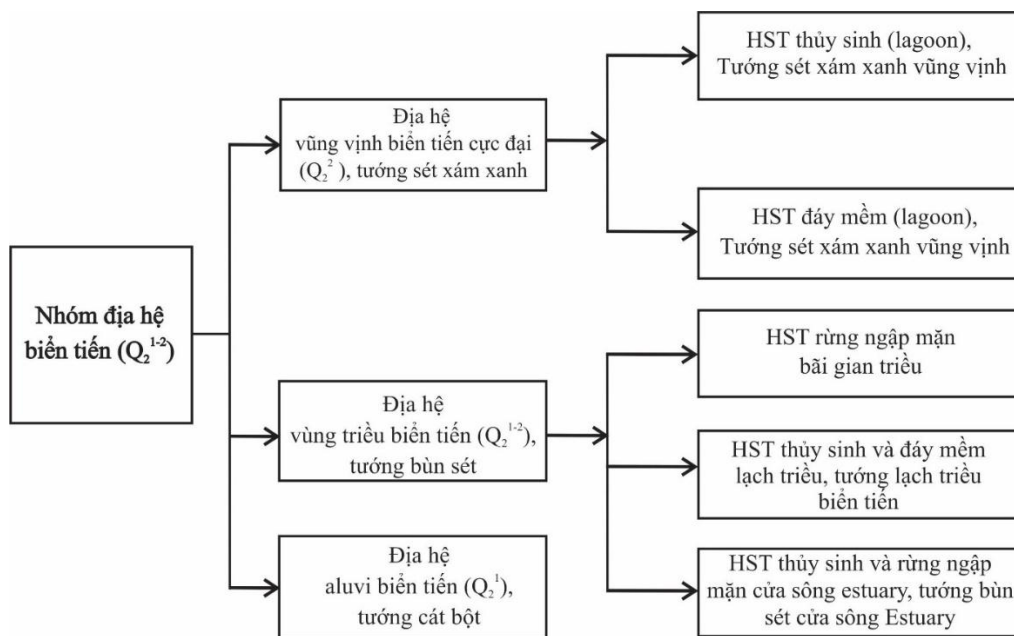
Có 2 cấp phân loại là nhóm địa hệ và địa hệ (hình 2):

- **Nhóm địa hệ** được khoanh định trên bản đồ dựa trên *nhóm tương trầm tích*. Nhóm tương được xác định bởi một tổ hợp cộng sinh tương thuộc một pha biển tiến hoặc biển thoái.

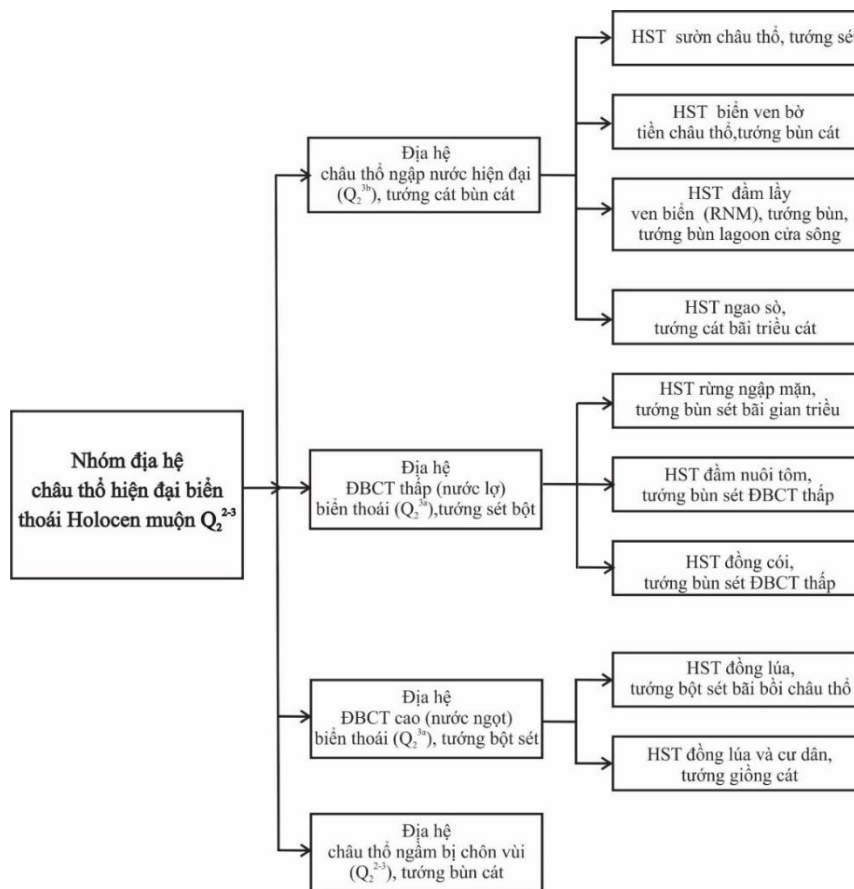
- **Địa hệ** được khoanh định trên bản đồ dựa trên *tương trầm tích*.

Mỗi một tương trầm tích có thể có một hay nhiều hệ sinh thái. Ví dụ tương cát bột cồn cát thuộc nhóm đồng bằng châu thổ cao có 3 HST: HST đồng lúa, HST hoa màu (khoai tây, lạc) và HST dân cư.

Trong Holocen đới bờ châu thổ Sông Hồng có 4 nhóm địa hệ, 7 địa hệ và 13 hệ sinh thái (HST (hình 2, 3):



Hình 2. Sơ đồ phân loại nhóm địa hệ biển tiến Holocen sớm- giữa khu vực đới bờ châu thổ Sông Hồng (Q<sub>2</sub><sup>1-2</sup>).



Hình 3. Sơ đồ phân loại nhóm địa hệ biển thoái Holocen giữa - muộn đới bờ châu thổ Sông Hồng ( $Q_2^3$ ).

Nhóm địa hệ, địa hệ và hệ sinh thái gắn kết với nhau thành một hệ thống:

- (1) Nhóm địa hệ thuộc nhóm tướng đầm lầy ven biển biển tiến
- (2) Nhóm địa hệ thuộc nhóm tướng vũng vịnh biển tiến cực đại
- (3) Nhóm địa hệ thuộc nhóm tướng châu thổ ngầm bị chôn vùi
- (4) Nhóm địa hệ thuộc nhóm tướng đồng bằng châu thổ cao
- (5) Nhóm địa hệ thuộc nhóm tướng đồng bằng châu thổ thấp
- (6) Nhóm địa hệ thuộc nhóm tướng châu thổ ngầm hiện đại 2. Đặc điểm các địa hệ

2.2. Nhóm địa hệ biển tiến Holocen sớm - giữa (10ka - 5ka BP) ( $Q_2^{1-2}$ ) gồm 2 địa hệ (Hình 2):

2.2.1. Địa hệ ven biển, nhóm tướng bùn sét với 3 HST:

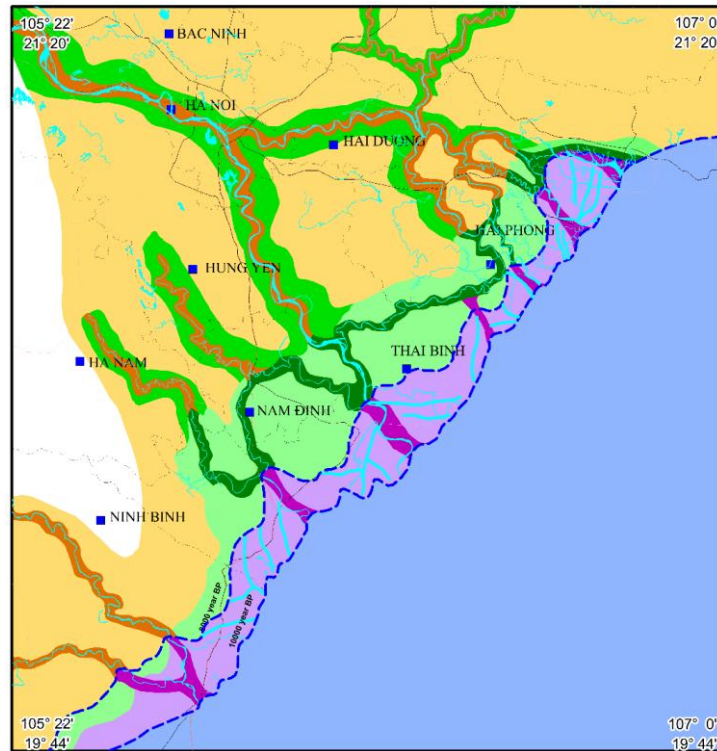
2.2.1.1. HST rừng ngập mặn biển tiến Holocen sớm  $Q_2^1$ : phát triển trên tướng sét đầm lầy ven biển. Tỷ số cát/sét dao động từ 1/9 đến 3/9; độ chọn lọc kém ( $So = 2.5$ ), môi trường kiềm yếu ( $pH = 7.5$ ) và khử mạnh ( $Eh < 0$ ), hàm lượng VCHC khá cao ( $TOC \geq 5\%$ ) (Bảng 1). Trong pha biển tiến Flandrian giai đoạn 10-8ka BP mực nước biển gần như không thay đổi và tạo ra một đới bờ cỏ ở độ sâu 30 - 20m. Trên mẫu lõi lỗ khoan ND - 1 (Tanabe, 2003) (Hình 5) và 13 lỗ khoan máy do Vũ Nhật Thắng thực hiện (1991 - 1994) [12], 3 lỗ khoan máy và 10 lỗ khoan tay do đề tài KC-09-02/16-20 thực

hiện (2017 - 2018) thấy rõ tướng sét chứa than bùn bãi gian triều đầm lầy ven biển (intertidal flat) có cấu tạo phân lớp xiên chéo mịn do sóng và thủy triều. Tướng sét than đầm lầy thống trị cả trên diện rộng và trên mặt cắt (hình 3, 4). Theo Đinh Văn Thuận và Phạm Hoàng Hải (2002, 2005) phức hệ bào tử phấn hoa của tướng trầm tích này bao gồm: *Acanthus sp*, *Acrostichum sp*, *Polypodium p*, *Pinus sp*; các loài vi cổ sinh gồm *Elphidium advenum*, *Spiroloculina lucida*, *Quinqueloculina seminulum*, *Nonionella sp*, *Lagena sp*, *Pseudorolalia Schroenteriana*, *Bolovina sp*. Phức hệ bào tử phấn hoa và đặc điểm vi cổ sinh đã chỉ ra môi trường đầm lầy ven biển nước mặn và nước lợ hoàn toàn phù hợp với kết quả nghiên cứu về địa hóa môi trường. Cả 2 số liệu này đã minh chứng cho *HST rừng ngập mặn và lạch triều* phát triển ổn định trong 2 ngàn năm có chiều rộng thay đổi từ 5-10 km và độ sâu thay đổi từ 15-20m. Thực thể trầm tích này phân bố gần đúng với vị trí đới ven biển hiện

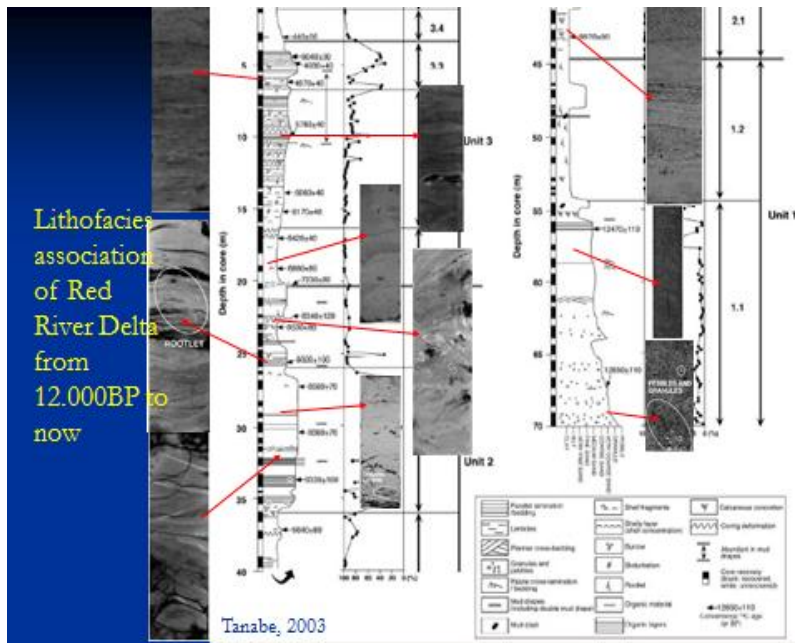
đại (Hình 4); đồng thời phản ánh tốc độ sụt lún kiến tạo khá nhanh trong Holocen sớm ( $Q_2^1$ ) ở đới ven biển Nam Định (10mm/năm).

2.2.1.2. *HST thủy sinh nước lợ cửa sông estuary (cửa sông hình phễu)*: Trong giai đoạn Holocen sớm do động lực biển thẳng sông [13-15] nên đới bờ châu thổ Sông Hồng đã phát triển 7 HST cửa sông estuary: Cửa sông Thái Bình, cửa sông Trà Lý, Cửa Lân, cửa Ba Lạt, cửa Hà Lạn (tức cửa Sông Hồng trước năm 1787), cửa sông Ninh Cơ và cửa sông Đáy. HST cửa sông estuary có dạng hình phễu. Các cửa sông này nằm xen kẽ với HST rừng ngập mặn bãi gian triều. Tỷ số cát/sét thay đổi từ 3/7 - 4/6; môi trường kiềm yếu (pH= 7.0 – 7.5) và khử yếu (Eh = 5 - 20mV). Các thủy sinh vật plankton gồm rong tảo và cá. Động vật bám đáy gồm tôm, cua;

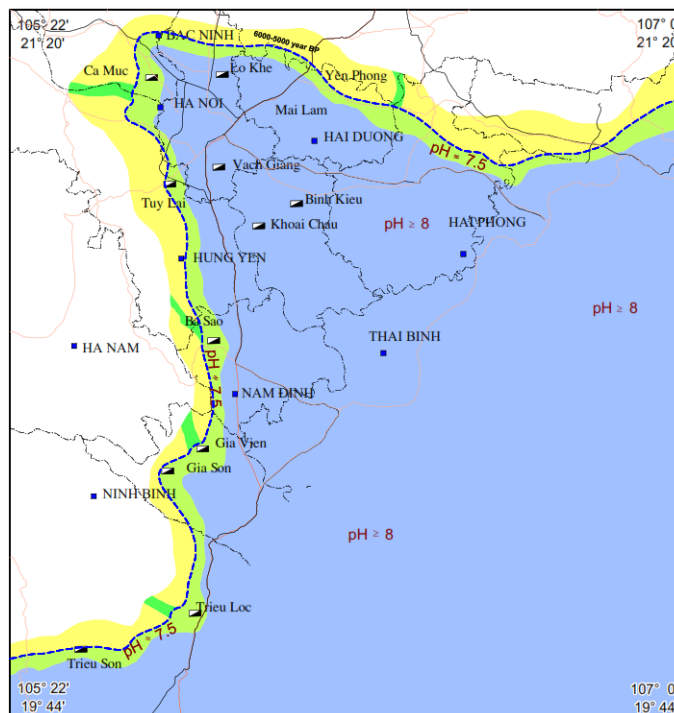
2.2.1.3. *HST động vật thân mềm bãi triều ven biển* (hình 4).



Hình 4. Địa hệ ven biển biển tiến Holocen sớm (từ 10-8ka BP) ( $Q_2^1$ ), tướng bùn sét, khu vực ven biển châu thổ Sông Hồng.



Hình 5. Tương sét đầm lầy ven biển, cấu tạo phân lớp xiên chéo mịn bãi triều lầy (LKND-1 Hải Hậu, Tanabe, 2003) [5].



Hình 6. Địa hệ lagoon biển tiền cực đại Holocen giữa (6-5 ka BP) ( $Q_2^2$ ), tương sét, phân bố trên toàn bộ châu thổ Sông Hồng.





Hình 7. Tầng sét xám xanh vũng vịnh Holocen giữa biển tiến cực đại (6-5ka BP) thuộc địa hệ vũng vịnh biển tiến cực đại, tầng sét (mẫu lõi khoan NĐ-1 Hải Hậu).

### 2.2.2. Địa hệ vũng vịnh, hệ sinh thái thủy sinh biển tiến cực đại Holocen giữa ( $Q_2^2$ ), tầng sét

Với phức hệ tầng sét xám xanh vũng vịnh nông giai đoạn biển tiến cực đại (6-5ka BP), mực nước biển đạt độ cao +5m. Địa hệ này đã xuất hiện những hệ sinh thái đặc trưng:

#### 2.2.2.1. HST đáy mềm trên nền sét xám xanh vũng vịnh;

2.2.2.2. HST động vật và thực vật phù du biển nông - vũng vịnh: Trầm tích sét xám xanh có bề dày thay đổi từ 8-15m, hàm lượng sét chiếm trên 80%, chủ yếu là sét monmorilonit chứa phức hệ tảo nước lợ đặc trưng cho biển nông - vũng vịnh.

Theo kết quả phân tích 14C và mẫu nguyên dạng trầm tích lấy được từ LK ND-1 của Tanabe trầm tích sét xám xanh có tuổi 6-5 Ka BP (hình 5) [5]. Các giá trị về địa hóa môi trường (độ pH  $\geq 7.8$ , Eh  $\leq 30$ mv, Kt  $\geq 1.5$ ) chứng tỏ môi trường lắng đọng trầm tích khá yên tĩnh có chế độ kiềm mạnh và oxy hóa yếu (Bảng 1).

### 2.3. Nhóm địa hệ biển thoái Holocen giữa - muộn, tầng châu thổ ngầm bị chôn vùi ( $Q_2^{2-3}$ ) gồm 2 địa hệ (từ dưới lên)

1) Địa hệ sườn châu thổ, tầng sét với hệ sinh thái biển nông ven bờ

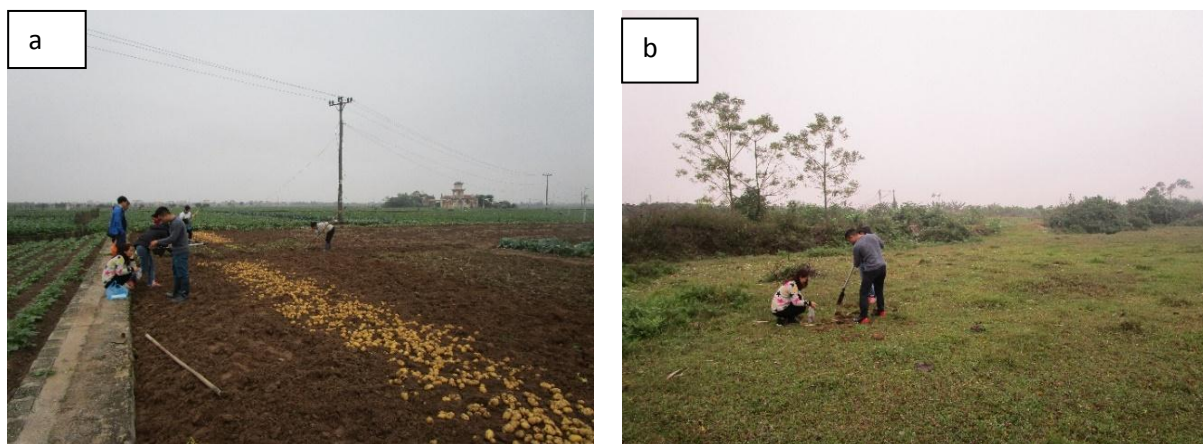
2) Địa hệ cửa sông, tầng cồn cát

Gồm tầng bùn cát bãi triều, tầng bùn cát biển ven bờ tiền châu thổ với các hệ sinh thái như sau: hệ sinh thái cồn cát - lagoon cửa sông, hệ sinh thái rừng ngập mặn, hệ sinh thái bãi triều và biển ven bờ (Bảng 2, Hình 11).

### 2.4. Nhóm địa hệ biển thoái Holocen muộn ( $Q_2^3$ ), tầng đồng bằng châu thổ cao gồm 2 địa hệ:

2.4.1. Địa hệ cồn cát (cồn cát cửa sông cổ), tầng cát bột

Địa hệ này có hệ sinh thái đặc trưng là: HST hoa màu (khoai tây và lạc, cà rốt...) (hình 8) và cây ăn quả. Các cồn cát có hình lưỡi liềm quay lưng ra biển và phân bố thành 2 thế hệ của đới bờ cô. Cát của cồn cát có độ chọn lọc và mài tròn từ trung bình đến tốt ( $S_o = 1.4 - 1.8$ ;  $R_o = 0.5 - 0.7$ ), tỷ lệ cát/sét thay đổi từ 8/2 - 9/1 (Bảng 2). Điều đó chứng tỏ chế độ thủy động lực của sóng và dòng chảy ven bờ đã đóng vai trò quyết định sự hình thành và phát triển các cồn cát cửa sông.



Hình 8. Tầng cát bột cồn cát thuộc đồng bằng châu thổ cao biển thoái Holocen muộn. a. Hệ sinh thái hoa màu (cánh đồng khoai tây đang thu hoạch) tại cồn cát Cồn Nhất (Xuân Thủy, Nam Định); b. Tầng cát bột cồn cát tại Cồn Nhất, Thái Thụy (Thái Bình) (Ảnh: Trần Nghi, 2019).



Hình 9. Hệ sinh thái đồng lúa, tầng bột sét bãi bồi châu thổ cao, huyện Thái Thụy tỉnh Thái Bình (Ảnh: Trần Nghi, 2019).

#### 2.4.2. Địa hệ bãi bồi châu thổ, tương bột sét - HST đồng lúa

Tỷ lệ cát/sét dao động từ 4/6 đến 5/5, độ chọn lọc kém ( $S_o = 2.7$ ), độ pH luôn luôn nhỏ hơn 7 (6.5 – 6.8). Tương trầm tích này được thành tạo nhờ lắng đọng phù sa ở khu vực hạ lưu Sông Hồng vào mùa nước dâng do bão và lũ sông tràn về (hình 9).

#### 2.5. Nhóm địa hệ biển thoái Holocen muộn, tương đồng bằng châu thổ thấp

Nhóm này gồm các địa hệ: (1) Địa hệ tương

cồn cát; (2) Địa hệ bãi bồi châu thổ thấp, tương sét bột, tương bùn sét đồng cỏ, tương bùn đầm nuôi tôm và tương bùn rừng ngập mặn được đặc trưng bởi các HST cộng sinh với nhau như sau:

- HST cây lúa và hoa màu, tương cồn cát. Các cồn cát này có hàm lượng thạch anh chiếm trên 90%, độ chọn lọc và mài tròn tốt ( $S_o < 1.5$ ;  $R_o > 0.6$ ), tỷ lệ cát/sét trên 9/1 (Bảng 3);

- HST đồng cỏ - tương bùn sét đồng bằng châu thổ thấp. Tỷ lệ cát/sét rất thấp dao động từ 2/8 - 3/7, chế độ khử yếu ( $E_h = 10 - 20mV$ ) và tiềm yếu ( $pH=7.2 - 7.6$ );



Hình 10. Hệ sinh thái đồng cỏ đồng bằng châu thổ thấp, tương sét bột tuổi Holocen muộn, khu vực Tiên Hải Thái Bình (Ảnh: Trần Nghi, 2019).

- HST đầm nuôi tôm - đất ngập nước ven biển (hình 11). Hệ sinh thái này bị nhân tạo hóa do quá trình nạo vét và gia công thành các đầm nuôi tôm yêu cầu môi trường nước có các chỉ số địa hóa đáp ứng sự thích ứng và phát triển của tôm (pH= 7.5, Eh = 50mV, độ muối = 14 ‰).

- HST rừng ngập mặn - tương sét bãi gian triều và sét lạch triều (hình 12). Trầm tích có độ chọn lọc kém (So = 2.5 – 3.0), chế độ khử



Hình 11. Hệ sinh thái đầm nuôi tôm, tương bùn đầm lầy ven biển, huyện Thái Thụy, Thái Bình (Ảnh: Trần Nghi, 2019).

thông trị (Eh <0), môi trường kiềm yếu (pH = 7.1 – 7.8) và tỷ lệ cát/sét khá thấp (3/7) (Bảng 3).

- HST bãi triều nuôi ngao, tương cát bãi triều và dưới triều tiền châu thổ hiện đại (hình 14). Cát hạt nhỏ, độ chọn lọc, mài tròn tốt (So =1.3; Ro = 0.7), tỷ số cát/sét= 10/0. Bãi triều rộng trên 5km, đang bị biến động liên tục theo sự biến động của cồn cát cửa sông.



Hình 12. (a) HST ngao đen và (b) HST rừng ngập mặn và tương bùn đầm lầy châu thổ thấp, Thái Thụy – Thái Bình (Ảnh Trần Nghi, 2019).



Hình 13. Rừng ngập mặn Ramsa Xuân Thủy (Nam Định), (Ảnh Trần Nghi, 2019).

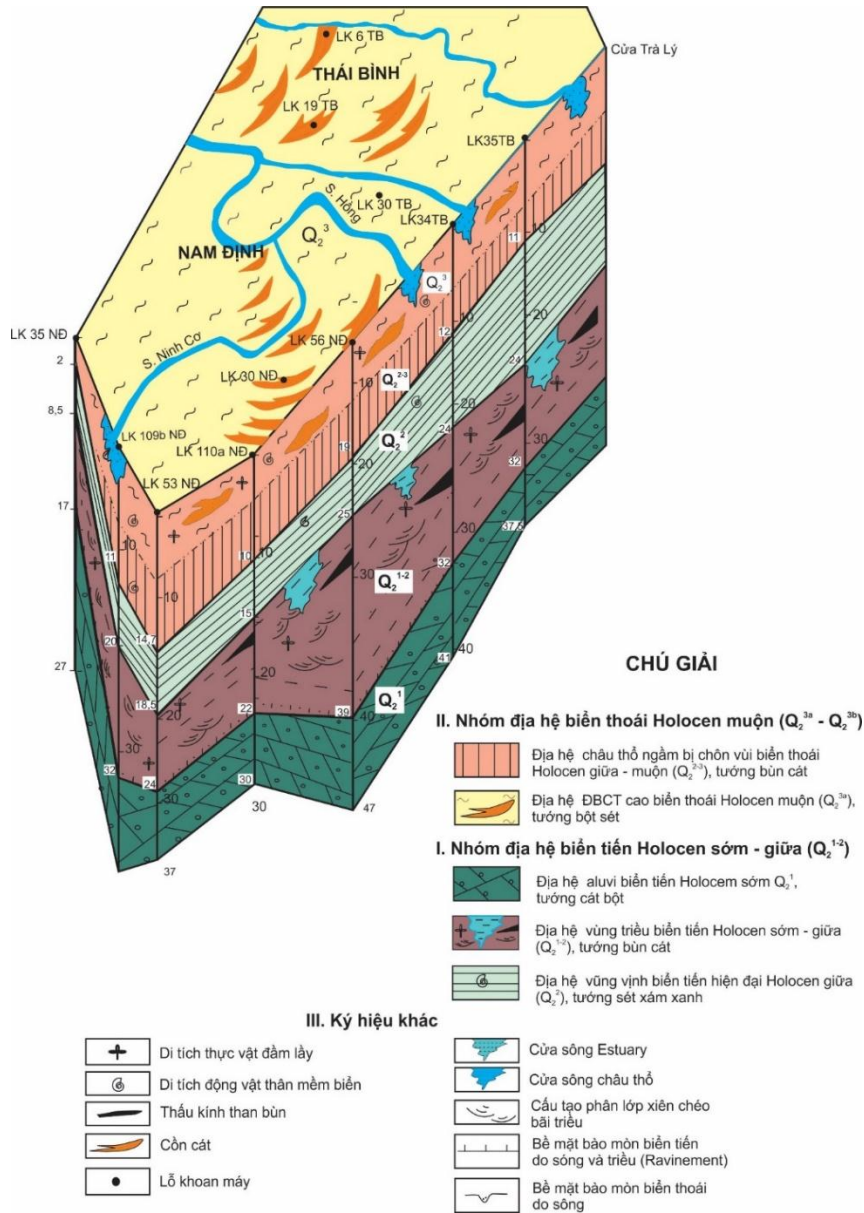
Hình 14. Hệ sinh thái nuôi ngao, tương cát bùn bãi triều và dưới triều tiền châu thổ hiện đại, Giao Thủy, Nam Định (Ảnh: Trần Nghi, 2019).



Hình 15. Bản đồ phân bố nhóm địa hệ biển thoái châu thổ bồi tụ mạnh, tương bột sét, Holocen muộn ( $Q_2^3$ ).

- Địa hệ rừng ngập mặn Ramsa, tương bùn sét: Vườn Quốc Gia Ramsa Xuân Thủy (Nam Định) là một nhóm địa hệ rừng ngập mặn thuộc đồng bằng châu thổ thấp. Rừng ngập mặn ở Thái Thụy, Ramsar Xuân Thủy, cửa Ba Lạt và Bãi Ngang Kim Sơn phát triển trong khu vực

đất ngập nước của đồng bằng châu thổ thấp. Những khu vực này hiện đang đang nằm trong đê biển thiếu hụt trầm tích bồi đắp 106ong năm nên không thể biến thành đồng bằng châu thổ cao (hình 13).



Hình 16. Sơ đồ khối biểu diễn các nhóm địa hệ và hệ sinh thái theo không gian 3 chiều trầm tích Holocen khu vực đê bờ cửa Sông Ba Lạt – Nam Định.

Bảng 1. Tổng hợp các tiêu chí phân loại các địa hệ thuộc pha biển tiến Holocen sớm – giữa đời bờ châu thổ Sông Hồng (10-5ka BP) ( $Q_2^{1-2}$ )

Nhóm Địa hệ	Địa hệ	Hệ sinh thái	pH	Eh (mv)	Cát/sét	TOC (%)
Nhóm địa hệ biển tiến Holocen sớm-giữa ( $Q_2^{1-2}$ )	Địa hệ vũng vịnh biển tiến	HST sinh vật phù du vũng vịnh	8.0 – 8.5	50 – 100	-	-
	Holocen giữa ( $Q_2^2$ ), tướng sét xám xanh	HST động vật bám đáy	7.6 – 8.0	5 – 20	1/9	0.5 – 1.0
	Địa hệ vùng triều – rừng ngập mặn biển tiến Holocen sớm ( $Q_2^1$ ), tướng bùn sét	HST RNM bãi gian triều	7.2 – 8.0	< 0	2/8	5.0 – 20.0
		HST tảo nước lợ cửa 107ong estuary	7.5 – 8.2	50 – 100	-	-
	HST RNM bãi triều lagoon cửa sông	7.5 – 8.3	<0	3/7	5.0 – 15.0	

Bảng 2. Tổng hợp các tiêu chí phân loại các địa hệ châu thổ ngập nước Holocen giữa muộn ( $Q_2^{2-3}$ ) bị chôn vùi đời bờ châu thổ Sông Hồng

Nhóm Địa hệ	Địa hệ	Hệ sinh thái	pH	Eh (mv)	Cát/sét	TOC (%)
Nhóm địa hệ châu thổ biển thoái chôn vùi Holocen giữa-muộn ( $Q_2^{2-3}$ )	Địa hệ tiền châu thổ Holocen giữa – muộn ( $Q_2^{2-3}$ ), tướng bùn cát	- HST còn cát – lagoon cửa 107ong TCT - HST biển ven bờ TCT	7.6 – 8.0	5 – 20	4/6	- 0.5 – 1.0
	Địa hệ sườn châu thổ biển thoái Holocen giữa- muộn ( $Q_2^{2-3}$ ), tướng bùn sét	- HST biển nông ven bờ SCT	8.0 – 8.5	50 – 100	2/8	-

### 3. Biến động các địa hệ trong Holocen trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển

3.1. *Biến động các địa hệ trong Holocen sớm - giữa (10-5Ka BP) diễn ra trong mối quan hệ với pha biển tiến Flandrian từ Địa hệ đầm lầy ven biển chuyển sang địa hệ vũng vịnh-biển nông*

1) **Địa hệ đầm lầy ven biển** được đặc trưng bởi tướng bùn sét với tỷ số cát/sét = 2/8 - 4/8, pH = 4.5-7.8 Eh < 0, TOC >5%, So= 2.1- 2.8. Giá trị pH = 4.5 là hiện tượng xuất hiện các lớp than bùn trong tướng sét đầm lầy tạo than. Quá trình phân hủy VCHC của rừng ngập mặn đã giải phóng khí H<sub>2</sub>S, sau đó H<sub>2</sub> kết hợp với gốc

SO<sub>4</sub><sup>-</sup> biến thành axit H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> và từ môi trường kiềm nguyên thủy biến thành môi trường axit trong giai đoạn thành đá sớm. Môi trường đầm lầy ven biển đã thống trị 2 ngàn năm (10 - 8ka BP) trùng hợp với đời ven biển hiện đại. Trong giai đoạn này đã hình thành 3 hệ sinh thái đặc trưng cho động lực biển thặng sông, đó là HST rừng ngập mặn, HST cửa sông estuary và HST bãi triều lầy.

2) **Địa hệ vũng vịnh** cũng tương đương với hệ sinh thái vũng vịnh được đặc trưng bởi các tham số trầm tích và địa hóa môi trường của pha biển tiến cực đại (6-5ka BP): Tỷ số cát/sét = 1/9-3/7; pH = 8.0 – 8.5, Eh>0, TOC < 1.5%).

Bảng 3. Tổng hợp các tiêu chí phân loại nhóm địa hệ đồng bằng châu thổ (châu thổ trên cạn) biển thoái Holocen muộn đới bờ châu thổ Sông Hồng

Nhóm địa hệ	Địa hệ	Hệ sinh thái	pH	Eh (mV)	Cát/sét	So	Ro	Q (%)	TOC (%)
Nhóm địa hệ đồng bằng châu thổ (ĐBCT) biển thoái Holocen muộn (Q <sub>2</sub> <sup>3</sup> ) (châu thổ trên cạn)	Địa hệ ĐBCT thấp (nước lợ), tương cát và tương sét bột	RNM gian triều, Ramsa	7.1-7.8	< 0	3/7	2.5-3.0	-	-	≥ 8.0
		Bùn ao -nuôi tôm	7.0-7.5	0-20	2/8	2.3-2.8	-	-	1.0-3.0
	Đệ hệ ĐBCT cao (nước ngọt-lợ), tương cát và tương sét	Bùn sét, cây cối (nước lợ)	7.2-7.6	≤ 0	3/7	2.3-2.9	-	-	2.0-8.0
		Cồn cát - cây lúa, hoa màu	7.4-7.8	≤ 0	9/1	1.3-1.6	0.6-0.8	85-95	8.0
		Bãi bồi châu thổ - cây lúa, hoa màu (nước lợ)	6.7-7.0	50-100	4/6	2.4-2.8	-	-	≤ 5
	Cồn cát- cây lúa, cây ăn quả, hoa màu (nước ngọt)	6.6-6.9	100-200	9/1	1.	0.6-0.7	80-95	≤ 2.0	

Bảng 4. Tổng hợp các tiêu chí phân loại nhóm địa hệ đồng bằng châu thổ (châu thổ trên cạn) biển thoái Holocen muộn (Q<sub>2</sub><sup>3</sup>) đới bờ châu thổ Sông Hồng

Nhóm địa hệ	Địa hệ	Hệ sinh thái	pH	Eh	Cát /sét	So	Ro	Q (%)	TOC (%)
Nhóm địa hệ châu thổ ngập nước hiện đại Holocen muộn(Q <sub>2</sub> <sup>3</sup> )	Địa hệ sườn châu thổ (SCT), tương sét	HST SCT biển nông	8.0-8.6	50-100	2/8	>2.5	-	-	0.5
		HST TCT biển ven bờ	7.5-8.3	50-100	4/6	2.1-2.5	0.4-0.6	55-70	0.7-1.5
	Địa hệ tiền biển thoái, tương cát, bùn cát.	HST lagoon cửa sông	7.0-8.0	10-50	3/7	2.2-2.5	-	-	0.8-2.5
		HST cồn cát cửa sông hiện đại	-	-	8/2	1.3-1.5	0.6-0.8	85-95	0-0.5
		HST bãi triều lầy	7.5-8.5	1.0-50.0	3/7	2.5-2.8	-	-	2.0-5.0

### 3.2. Biến động các địa hệ trong Holocen giữa-muộn (5ka BP đến nay)

Trong Holocen giữa - muộn khu vực đới bờ (coastal zone) của châu thổ Sông Hồng biến động các địa hệ chịu ảnh hưởng của 3 yếu tố của địa chất nội và ngoại sinh có mối quan hệ

nhân - quả: (1) Sụt lún kiến tạo; (2) Sự thay đổi mực nước biển; (2) Quá trình bồi tụ đền bù trầm tích dư thừa.

- Sụt lún kiến tạo với tốc độ 1mm/năm là quy luật bình thường của các vùng hạ lưu châu thổ lớn như sông Hồng và Cửu Long.

- Sự thay đổi mực nước biển: pha biển thoái toàn cầu Holocen giữa - muộn (5-1kaBP) và pha biển dâng từ 1ka BP đến nay [3]

- Quá trình bồi tụ đền bù trầm tích dư thừa được thể hiện bởi sự xuất hiện các đường bờ cổ và các thùy châu thổ phân bố theo chu kỳ trên bề mặt của ĐBCT châu thổ Sông Hồng (hình 8).

### 3.3. Biến động các địa hệ là hệ quả của sự chuyển tương theo thời gian và không gian

Đồng thời với quá trình biển thoái Holocen giữa muộn khu vực đới bờ châu thổ Sông Hồng đã diễn ra 2 quá trình nối tiếp nhau theo phương thẳng đứng và phương nằm ngang: (1) Theo phương thẳng đứng: *tướng bột sét và tướng sét châu thổ ngậm biển thoái* (địa hệ phủ trên *tướng sét xám xanh vũng vịnh biển tiến*); (2) Theo phương nằm ngang (từ đất liền ra biển) các tướng phân bố theo trật tự sau đây: tướng cát, bột sét đồng bằng châu thổ cao → tướng cát, bùn sét đồng bằng châu thổ thấp → tướng cát, cát bùn tiền châu thổ → tướng sét sườn châu thổ hiện đại.

## 4. Kết luận và trao đổi

1. Sự biến đổi của hệ sinh thái gắn liền với sự biến đổi tướng trầm tích, đây là mối quan hệ nhân quả, trong đó tướng trầm tích là nguyên nhân còn hệ sinh thái là kết quả. Tích hợp tướng trầm tích và hệ sinh thái thành một đơn vị “tướng trầm tích - hệ sinh thái” (Geosystem). Để giải thích được bản chất và sự biến động của các hệ sinh thái cần phải nghiên cứu tướng trầm tích.

2. Tướng trầm tích (lithofacies) gồm thành phần thạch học, đặc điểm địa hóa và môi trường trầm tích. Mỗi một tướng trầm tích có thể coi là một cái nôi sinh ra và nuôi dưỡng một hệ sinh thái. Đó là bãi cư trú (habitat) của động vật như tôm, cua, cá bống nhảy, ngao, dã tràng và nơi tồn tại của một quần thể thực vật từ hạ đẳng như rong tảo đến thượng đẳng như rừng ngập mặn, đồng lúa, đồng cỏ...

3. Sự biến động của các địa hệ trong Holocen của đới bờ châu thổ Sông Hồng theo

thời gian (phương thẳng đứng) và theo không gian (phương nằm ngang từ đất liền ra biển) phụ thuộc vào 2 pha thay đổi mực nước biển (biển tiến Flandrian Holocen sớm - giữa và biển thoái Holocen giữa muộn) và sụt lún kiến tạo với tốc độ 1mm/năm.

4. Trong pha biển tiến Holocen sớm - giữa có 2 địa hệ đặc trưng: (1) Địa hệ đầm lầy ven biển, tướng bùn sét - HST rừng ngập mặn và (2) Địa hệ vũng vịnh, tướng sét xám xanh - HST thủy sinh và đáy mềm vũng vịnh.

5. Trong pha biển thoái Holocen muộn, biến động của các địa hệ xảy ra theo quy luật thay thế tướng trầm tích tầng mặt từ đất liền ra biển và theo quy luật cộng sinh tướng từ dưới lên theo mặt cắt địa chất:

- Theo không gian từ đất liền ra biển: địa hệ ĐBCT cao, tướng bột sét - HST đồng lúa sẽ thay thế địa hệ ĐBCT thấp, tướng sét bột - HST đồng cỏ, HST đầm nuôi tôm, HST rừng ngập mặn; địa hệ ĐBCT thấp, tướng sét bột sẽ thay thế tướng bùn cát châu thổ ngậm - HST bãi triều và biển nông ven bờ.

- Theo mặt cắt từ dưới lên phủ trên địa hệ vũng vịnh, tướng sét xám xanh bị phủ bởi địa hệ châu thổ ngậm, tướng sét, bùn cát - HST biển ven bờ và địa hệ đồng bằng châu thổ, tướng cát, bùn cát - HST đồng lúa.

6. Những khu vực bờ biển bồi tụ mạnh, rừng ngập mặn phát triển lan tỏa về phía biển và về phía lagoon cửa sông theo thứ tự: cây mắm tiên phong, đến sú vẹt và cuối cùng là cây bần. Khi bãi bồi được tôn cao, tỷ lệ cát/sét > 4/6, môi trường oxy hóa thống trị, độ pH < 7.3; độ muối < 15 ‰ lúc đó rừng ngập mặn sẽ bị suy thoái dần từ đất liền ra biển. Đồng thời HST rừng ngập mặn sẽ chuyển thành HST đầm nuôi tôm và HST đồng cỏ, HST đồng cỏ cũ sẽ biến thành HST đồng lúa và hoa màu.

7. Hoạt động nhân sinh đã làm thay đổi quy luật biến động tự nhiên của các địa hệ. Việc quai đê lấn biển quá sớm sẽ tạo ra một diện tích đất ngập nước rộng lớn phía trong đê. Khu vực này sẽ thuận lợi cho phát triển các HST mang tính chất nhân tạo, đó là HST rừng ngập mặn, HST đầm nuôi tôm và HST đồng cỏ. Các HST



nhân tạo này có tính ổn định lâu dài có khi hàng trăm năm vì thiếu hụt trầm tích.

### Lời cảm ơn

Công trình được hoàn thành trước hết là nhờ xử lý một khối lượng tài liệu khảo sát thực địa và phân tích trong phòng thu thập được của đề tài KC-09-02/16-20 và đề tài CA.17.10 A do Trung tâm Hỗ trợ Nghiên cứu Châu Á và Quỹ Giáo dục Cao học Hàn Quốc tài trợ. Đồng thời đã kế thừa và xử lý một khối lượng tài liệu và số liệu phân tích phong phú của phương án đo vẽ bản đồ địa chất Đệ Tứ tỷ lệ 1/50.000 từ Thái Bình - Nam Định do Tổng Cục Địa chất và Khoáng sản tiến hành (1990 -1994). Nhân dịp này tập thể tác giả xin được tỏ lòng cảm ơn các đề tài trên và sự tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình thực hiện đề tài và hoàn thành bài báo này của Văn Phòng các chương trình trọng điểm cấp Nhà nước, Bộ Khoa học và Công nghệ, Ban chủ nhiệm chương trình khoa học và công nghệ Biển KC-09/16-20.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Trần Nghi, Nguyễn Thị Tuyền, Đinh Xuân Thành, Nguyễn Đình Nguyên, Trần Thị Thanh Nhân, Nguyễn Đình Thái, Nguyễn Thị Huyền Trang, Đường bờ cỏ và ranh giới chéo các miền hệ thống trầm tích Pleistocen muộn-Holocen khu vực Bắc bộ và Bắc trung bộ, Tạp chí Địa chất, loạt A. số 358 (2016) 1 -13.
- [2] Trần Nghi và nnk, Đặc điểm tướng đá - cổ địa lý Pleistocen muộn – Holocen khu vực cửa sông Ba Lạt, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. Tập 17, Số 1 (2017) 23-34.
- [3] Tran Nghi, Mai Trong Nhan, Chu Van Ngoi, P. Hoekstra, Utrecht, T.J. Van Weering, J.H. Van Denbergh, Dinh Xuan Thanh, Nguyen Dinh Nguyen, Vu Van Phai, Holocene sedimentary evolution, geodynamic and anthropogenic control of the Balat river mouth formation (Red River-delta, northern Vietnam). Z. geol. Wiss, Berlin 30. (2002) 157-172.
- [4] Trần Nghi, Ngô Quang Toàn, Đặc điểm các chu kỳ trầm tích và lịch sử tiến hóa địa chất Đệ tứ đồng bằng Sông Hồng, Tạp chí Địa chất số 206-207 (1991) 65-69.
- [5] Susumu Tanabe, Kazuaki Hori, Yoshiki Saito, Shigeo Haruyamad, Van Phai Vu, Akihisa Kitamura, Song Hong (Red River) delta evolution related to millennium-scale Holocene sea-level changes, Quaternary Science Reviews 22. (2003) 2345–2361. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(03\)00138-0](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(03)00138-0).
- [6] Doãn Đình Lâm, Tiến hóa trầm tích Holocen châu thổ Sông Hồng Luận án tiến sĩ địa chất, Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003.
- [7] Susumu Tanabe, Yoshiki Saito, Quang Lan Vu, J.J. Till Hanebuth, Quang Lan Ngo, Akihisa Kitamura, Holocen Evolution of the Song Hong (Red River) delta system, Northern Vietnam, Sedimentary Geology. 187 (2006.), 29-61. <https://doi.org/10.1016/J.sedgeo.2005.12.004>.
- [8] Lê Xuân Tuấn, Phan Nguyên Hồng, Phan Thị Anh Đào, Vũ Thục Hiền, Quán Thị Quỳnh Dao, Phan Hồng Anh, Vũ Đình Thái, Trần Minh Phương, Phan Thị Minh Nguyệt, Hệ sinh thái RNM huyện Giao Thủy, tỉnh Nam Định và một số vấn đề quản lý. Phục hồi rừng ngập mặn ứng phó với biến đổi khí hậu hướng tới phát triển bền vững, Tuyển tập hội thảo Quốc gia Cần Giờ, TP HCM 26-27/11/2007. IUCN, NXB Nông nghiệp, 2008.
- [9] Vũ Thục Hiền, Vũ Đình Thái, Trần Mai Sen, Nguyễn Hữu Thọ, Lê Xuân Tuấn, 2008. Những vấn đề cấp thiết trong công tác bảo tồn vùng RNM huyện Nghĩa Hưng, tỉnh Nam Định. Phục hồi rừng ngập mặn ứng phó với biến đổi khí hậu hướng tới phát triển bền vững, Tuyển tập hội thảo Quốc gia Cần Giờ, TP HCM 26-27/11/2007. IUCN. NXB Nông nghiệp, 2008.
- [10] Phạm Thị Làn, Phạm Văn Cự, Lê Minh Phương, 2008. Ứng dụng viễn thám trong nghiên cứu biến động lớp phủ thực vật ngập mặn khu vực ven biển tỉnh Thái Bình. Phục hồi rừng ngập mặn ứng phó với biến đổi khí hậu hướng tới phát triển bền vững. Tuyển tập hội thảo Quốc gia Cần Giờ, TP HCM 26-27/11/2007. IUCN, NXB Nông nghiệp.
- [11] Mai Sỹ Tuấn, Phạm Hồng Anh, Thảm thực vật vùng RNM thuộc Khu Bảo Tồn Thiên nhiên Đất ngập nước Tiền Hải Thái Bình. Phục hồi rừng ngập mặn ứng phó với biến đổi khí hậu hướng tới phát triển bền vững, Tuyển tập hội thảo Quốc gia Cần Giờ, TP HCM 26-27/11/2007. NXB Nông nghiệp, IUCN, (2008) 115 – 227.
- [12] Vũ Nhật Thăng, Phạm Đình Xin, Địa chất và Khoáng sản vùng Thái Bình – Nam Định (giới thiệu kết quả đo vẽ BĐDC và TNKS tỉ lệ 1/50.000 nhóm từ Thái Bình – Nam Định (Geology and mineral resources in Thai Binh - Nam Dinh regions (Brief introduction of results of geological mapping and prospecting for mineral resources at

- 1/50.000 scale in Thai Binh - Nam Dinh sheet group). Lưu trữ tại cục Địa chất, 1997.
- [13] Do Minh Duc và nnk, Sediment distribution and transport at the nearshore zone of the Red River delta, Northern Vietnam, *Journal of Asian Earth Sciences*. 29 (2007) 558 - 565. <https://doi.org/10.1016/J.jseaes.2006.03.007>.
- [14] Vũ Cao Minh, Nguyễn Khắc Nghĩa, Nguyễn Huy Thịnh, Biến động cửa Ba Lạt, cửa Hà Lạn trong thời kỳ cận đại và ảnh hưởng của chúng tới diễn biến bồi tụ xói lở khu vực Hải Hậu - Nam Định, *Tạp chí KH&CN Thủy lợi Viện KHTLVN* (2006) 32 - 41.
- [15] Ayako Funabiki, Yoshiki Saito, Vu Van Phai, Nguyen Hieu and Shigeko Haruyama, Natural levees and human settlement in the Song Hong (Red River) delta, northern Vietnam. *The Holocene* 22(6) (2012) 637 - 648. <https://doi.org/10.1177/0959683611430847>.