



## Nghiên cứu mối quan hệ giữa địa tầng phân tập, tướng đá với các tầng chứa nước và cách nước trong trầm tích Đệ Tứ tại khu vực Thái Bình, Nam Định thuộc hạ lưu châu thổ Sông Hồng

Phạm Thị Thu Hằng<sup>1\*</sup>, Phạm Tuấn Huy<sup>2</sup>, Trần Nghi<sup>3</sup>, Nguyễn Xuân Tùng<sup>1</sup>,  
Nguyễn Thị Phương Thảo<sup>4</sup>, Bùi Thị Bảo Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Nhân<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Viện Địa chất và Địa Vật lý biển-VAST, Hà Nội, Việt Nam

<sup>2</sup>Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>3</sup>Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

<sup>4</sup>Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Hà Nội, Việt Nam

Email tác giả liên hệ: [thuhangtp0105@gmail.com](mailto:thuhangtp0105@gmail.com)

<https://doi.org/10.5281/zenodo.13853740>

### Tóm tắt

Tầng chứa nước Pleistocen khu vực Thái Bình, Nam Định liên quan đến 5 phức hệ tướng cát lòng sông thuộc miền hệ thống trầm tích biển thấp (LST) và 5 phức hệ tướng cồn cát của sông biển cao (HST) có tuổi từ Pleistocen sớm đến Pleistocen muộn phân muện: (1) (SaLSTQ11); (2) (SaLSTQ12a + SamHSTQ11); (3) (SaLSTQ12b + SamHSTQ12a); (4) (SaLSTQ13a + SamHSTQ12b); (5) (SaLSTQ13b + SamHSTQ13a). Phủ trên 5 tầng chứa nước này là 5 tầng cách nước gồm 5 phức hệ tướng bùn biển nông-vũng vịnh biển tiến: (1) MmTSTQ11; (2) MmTSTQ12a; (3) MmTSTQ12b; (4) MmTSTQ13a; (5) MmTSTQ21-2. Quá trình nhiễm mặn đã và đang diễn ra đối với tầng chứa nước Pleistocen khu vực Nam Định và Thái Bình là do quá trình thẩm thấu của nước khí tượng qua các phức hệ tướng bùn biển nông-vũng vịnh đóng vai trò là tầng cách nước chứa tiềm tàng nước mặn pha trộn với tầng chứa nước nhạt nguyên thủy của phức hệ tướng cát lòng sông biển thấp.

**Từ khóa:** Địa tầng, Pleistocen, trầm tích.

Ngày nhận bài: 10/09/2024

Ngày sửa lại: 17/09/2024

Ngày chấp nhận đăng: 19/09/2024

Ngày xuất bản: 30/09/2024

## Researching of relationship between sequence stratigraphy, lithofacies and aquifer and aquifuge of Quaternary sediments in Thai Binh and Nam Dinh area

Pham Thi Thu Hang<sup>1\*</sup>, Pham Tuan Huy<sup>2</sup>, Tran Nghi<sup>3</sup>, Nguyen Xuan Tung<sup>1</sup>,  
Nguyen Thi Phuong Thao<sup>4</sup>, Bui Thi Bao Anh<sup>1</sup>, Nguyen Thi Nhan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Marine geology and Geophysics, Hanoi, Vietnam

<sup>2</sup>Vietnam Academy of Science and Technology

<sup>3</sup>VNU University of Science, Hanoi, Vietnam

<sup>4</sup>The Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, Hanoi, Vietnam

Corresponding Author Email: [thuhangtp0105@gmail.com](mailto:thuhangtp0105@gmail.com)

### Abstract

The Pleistocene aquifer in Thai Binh and Nam Dinh area is related to 5 riverbed sand facies complexes belonging to the lowstand systems tract and 5 highstand river mouth sandy bar sand facies complex with ages ranging from Early Pleistocene to late late Pleistocene: (1) (SaLSTQ11); (2) (SaLSTQ12a+SamHSTQ11); (3) (SaLSTQ12b+SamHSTQ12a); (4) (SaLSTQ13a+SamHSTQ12b); (5) (SaLSTQ13b+SamHSTQ13a). Overlaying these 5 aquifers are 5 aquifuges including 5 transgressive systems tract shallow marine-bay mud facies complexes: (1) MmTSTQ11; (2) MmTSTQ12a; (3) MmTSTQ12b; (4) MmTSTQ13a; (5) MmTSTQ21-2. The process salinization of has been occurring in the Pleistocene aquifer in Nam Dinh and Thai Binh areas due to the permeation of meteorological water through shallow sea-bay marine mud facies complexes that act as aquitard layer. Residual salt water from aquitards mixed with the primitive freshwater aquifer of the lowstand systems tract river bed sand facies complex.

**Keywords:** Stratigraphy, Pleistocen, Sediment.

Submission received: 10/09/2024

Revised: 17/09/2024

Accepted: 19/09/2024

Published: 30/09/2024

### 1. Mở đầu

Khu vực Thái Bình, Nam Định (hình 1) thuộc đồng bằng hạ lưu châu thổ Sông Hồng. Địa chất Đệ Tứ khu vực này đã có nhiều tác giả trong nước và nước ngoài nghiên cứu với nhiều mục tiêu và nhiệm vụ khác nhau. Tuy nhiên, các tác giả thường nghiên cứu tách biệt giữa trầm tích luận và địa chất thủy văn. Nội dung bài báo này tập trung phân tích mối quan hệ giữa địa tầng phân tập, tướng đá trầm tích của tầng chứa nước và cách nước; đồng thời giải thích nguyên nhân gây nhiễm mặn tầng chứa nước Pleistocen. Để thực hiện được mục tiêu và nhiệm vụ nói trên tác giả bài báo này phải tiếp cận theo tư tưởng và kết quả nghiên cứu về địa tầng phân tập, chu kỳ trầm tích và biến động các địa hệ sinh thái của Trần Nghi (2018, 2022) [15],[16]. Lần đầu tiên trong phương án thành lập bản đồ địa chất Đệ Tứ tỷ lệ 1/200.000 tờ Thái Bình -Nam Định Hoàng Ngọc Kỳ (1973-1978)

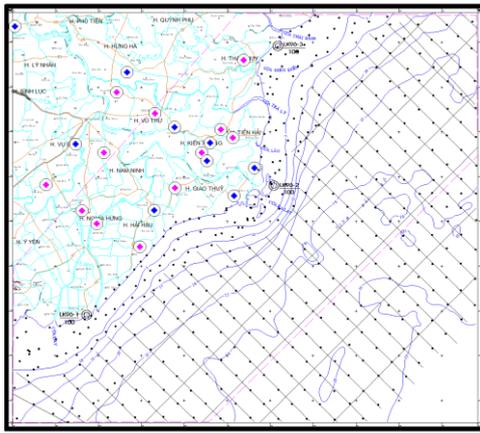


[1],[2] đã phân chia địa tầng Đệ Tứ thành 5 hệ tầng: (1) hệ tầng Hải Dương có tuổi Pleistocene sớm (kí hiệu là  $Q_{Ihd}$ ); (2) hệ tầng Hà Nội có tuổi là Pleistocene giữa-muộn (kí hiệu là  $Q_{II-III}^{1hn}$ ); (4) hệ tầng Vĩnh Phúc có tuổi Pleistocen muộn (kí hiệu là  $Q_{III}^{2vp}$ ); (4) hệ tầng Hải Hưng có tuổi Holocen sớm-giữa (kí hiệu là  $Q_{IV}^{1-2hh}$ ) và (5) hệ tầng Thái Bình có tuổi Holocen muộn (kí hiệu  $Q_{IV}^{3tb}$ ) (Kỷ H.N., 1973, 1978). Ngô Quang Toàn, Vũ Nhật Thắng; [[19],[20]] trong công tác thành lập bản đồ địa chất Đệ Tứ tỷ lệ 1/50000 các tờ Hà Nội, Phụ Cận, Hưng Yên-Phủ Lý và Thái Bình-Nam Định đã thành lập cột địa tầng Đệ Tứ cơ bản giống với cột địa tầng Đệ Tứ của Hoàng Ngọc Kỷ. Tuy nhiên, các tác giả đã thay hệ tầng Hải Dương bằng hệ tầng Lê Chi cùng tuổi Pleistocen sớm và chuyển đổi ký hiệu chữ số La Mã thành chữ số Latin như sau:  $Q_1^{1lc}$ ,  $Q_1^{2-3hn}$ ,  $Q_1^{3bvp}$ ,  $Q_2^{1-2hh}$ ,  $Q_2^{3tb}$ . Các nhà địa chất thủy văn sử dụng thang địa tầng này để phân chia trầm tích chứa nước thành 3 tầng: (1) tầng chứa nước qh2 (Holocene trên), (2) tầng chứa nước qh1 (Holocen dưới) và tầng chứa nước qp (Pleistocen). Đồng thời chia trầm tích cách nước ra 2 tầng: (1) tầng cách nước Holocen giữa ( $Q_2^2$ ) và (2) tầng cách nước Pleistocen muộn ( $Q_1^{3a}$ ) [3].

Theo Trần Nghi (2005, 2010, 2017) thang địa tầng Đệ Tứ đồng bằng Sông Hồng của các tác giả trên có những điểm chưa hợp lý là: (1) 5 hệ tầng được chia ra không dựa trên tuổi và quy luật thành tạo mà chỉ dựa vào những dấu hiệu trực giác định tính quan sát bằng mắt thường [7],[8],[9],[10],[11]. Ví dụ, gọi hệ tầng Hà Nội ( $Q_1^{2-3hn}$ ) chỉ dựa vào thành phần cuối sạn của lòng sông mà bỏ sót tướng bột sét bãi bồi phủ trên tạo nên một phức hệ tướng cát bùn aluvi hoàn chỉnh. Đồng thời, dựa vào đâu mà định tuổi cho hệ tầng Hà Nội là  $Q_1^{2-3}$ ?. Ranh giới giữa Pleistocen giữa và Pleistocen muộn là 125ka BP vậy chỉ số 3 tức hệ tầng Hà Nội kéo dài đến Pleistocen muộn nhưng không biết là đến năm nào khi không hề có số liệu về tuổi tuyệt đối. Tác giả gọi hệ tầng Vĩnh Phúc ( $Q_1^{3bvp}$ ) là dựa vào tầng “sét loang lổ”. Ở đây có 2 nhầm lẫn: (1) Tầng loang lổ này là bột sét châu thổ chứ không phải là “sét biển tiền Vĩnh Phúc”. Tập biển tiến của hệ tầng này nằm giữa hệ tầng và thuộc tướng bùn biển nông-vũng vịnh ( $MmTSTQ_1^{3a}$ ); (2) Nhầm lẫn thứ 2 là màu vàng - đỏ loang lổ của tầng bột sét châu thổ này được hình thành trong cuối pha biển thoái của băng hà Wurm 2 (50-18ka BP) chứ không phải thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc. Tướng bột sét châu thổ được thành tạo trong pha biển cao (HST) thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc ( $Q_{13avp}$ ). Tiếp đến trong pha biển thoái Pleistocen muộn, phần muộn ( $Q_{13b}$ ) chúng bị phơi lộ ra trên lục địa và bị phong hoá theo phương thức thấm đọng và biến thành màu loang lổ vàng-đỏ; (3) Các tác giả đã bỏ sót một phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp Pleistocen muộn, phần muộn ( $S_mLSTQ_1^{3b}$ ). Phức hệ tướng này nằm dưới phức hệ tướng bùn xám xanh biển nông-vũng vịnh thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến tuổi Holocen sớm-giữa ( $MmTSTQ_2^{1-2}$ ) Hoàng Ngọc Kỷ gọi là hệ tầng Hải Hưng ( $Q_2^{1-2hh}$ ); (3) Các tác giả phân chia một hệ tầng thứ 5 trẻ nhất là hệ tầng Thái bình bao gồm trầm tích châu thổ Sông Hồng và trầm tích aluvi hiện đại có tuổi 3ka BP. Điều này lại xuất hiện một sự bất hợp lý nữa là tại sao lại lấy 3kaBP làm ranh giới của hệ tầng? và ranh giới này thực tế không thể tìm thấy trong cột địa tầng trầm tích Holocen. Như vậy, việc phân chia hệ tầng Hải Hưng có bề dày từ 3-15m với 7 ngàn năm tuổi và hệ tầng Thái Bình có bề dày 2-10m với 3 ngàn năm tuổi là một sự quyết đoán không dựa vào một cơ sở khoa học nào và không hề cân xứng với các hệ tầng Lê Chi có tuổi 1,2 triệu năm, có bề dày trung bình 50m; hệ tầng Hà Nội có tuổi 575 ngàn năm có độ dày trung bình là 60m; (4) Trong cột địa tầng có một điều bất hợp lý về thời gian: ranh giới giữa Pleistocen muộn và Holocen là 10 ngàn năm tức là ranh giới giữa hệ tầng Vĩnh Phúc và hệ tầng Hải Hưng ( $Q_1^{3bvp}/Q_2^{1-2hh}$ ). Vậy câu hỏi đặt ra là tại sao trong cột địa tầng lại mất đi một khối lượng trầm tích từ 18 ngàn năm đến 10 ngàn năm? Nguyên nhân của sai sót này là do các tác giả không dựa vào tiến hoá chu kỳ trầm tích và địa tầng phân tập trong mối quan hệ với 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu do ảnh hưởng của 5 chu kỳ băng hà (Gun/G-M; Mindel/M-R; Riss/R-W1; Wurm1/W1-W2; W2/Biển tiến Flandrian).

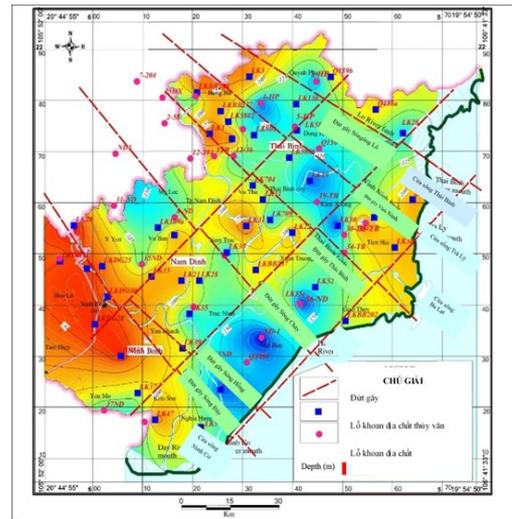
Việc xác định tuổi của các tầng chứa nước và cách nước chỉ dựa vào tuổi của địa tầng trầm tích. Tuy nhiên, tuổi của địa tầng trầm tích được xác định chỉ dựa trên phương pháp đối sánh các chu kỳ trầm tích với tuổi các chu kỳ băng hà. Vì vậy, những khiếm khuyết của thang địa tầng Đệ Tứ do các nhà Địa chất Đệ Tứ trước đây lập ra đã làm cho các nhà địa chất thủy văn bị xác định sai tuổi và môi trường trầm tích của các tầng chứa nước và cách nước. Ví dụ, các nhà địa chất thủy văn

đã chia ra 3 tầng chứa nước là tầng chứa nước Pleistocen (qp), tầng chứa nước Holocen dưới (qh1) và tầng chứa nước Holocen trên (qh2). Do thiếu thông tin về nghiên cứu lịch sử tiến hoá trầm tích trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển toàn cầu nên tầng chứa nước Pleistocen muộn, phần muộn ( $Q_1^{3b}$ ) thuộc miền hệ thống trầm tích biển thấp của phức tập thứ 5 thì lại đưa sang tầng chứa nước Holocen dưới (qh1). Nội dung bài báo này sẽ đề cập đến nguyên nhân nhiễm mặn của tầng chứa nước Pleistocen không phải là do nước biển hiện đại mà do quá trình thẩm thấu nước khí tượng qua các phức hệ tương bùn cát bãi triều và vũng vịnh.



**CHỈ DẪN**  
● Lỗ khoan thuộc Phương án do vẽ bản đồ DC&KS Thái Bình Nam Định tỷ lệ 1:50.000  
● Lỗ khoan thuộc các Chương trình hợp tác Việt Nam với Nhật Bản, Đức và Hà Lan  
● Lỗ khoan bãi triều thuộc Đề án Điều Tra Địa chất Khoáng sản biển tỷ lệ 1:500.000

Hình 1. Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu Thái Bình – Nam Định và các vị trí lỗ khoan



Hình 2. Bản đồ cấu trúc địa chất Đệ Tứ và đứt gãy khu vực hạ lưu châu thổ Sông Hồng (Phùng Văn Phách và nnk, 2007; Trần Nghi có bổ sung sửa chữa, 2022)

## 2. Bối cảnh địa chất khu vực hạ lưu châu thổ Sông Hồng

### 2.1. Hệ thống đứt gãy

Hệ thống đứt gãy phương tây bắc đông nam gồm 6 đứt gãy có thể chia làm 3 cặp: (1) cặp đứt gãy thứ nhất là đứt gãy Thái Bình và đứt gãy Vĩnh Ninh. Ban đầu cặp đứt gãy thuận hình thành đối xứng hướng tâm tạo nên địa hào trung tâm. Đến pha nghịch đảo kiến tạo đứt gãy thuận tái hoạt động và chuyển thành đứt gãy nghịch. Hiện tại trên bình đồ cấu trúc còn nhận rõ 2 loại đứt gãy nói trên: đứt gãy thuận hướng tâm đối xứng là đứt gãy Sông Cháy-Sông Lô; đứt gãy nghịch là cặp đứt gãy trung tâm: Thái Bình-Vĩnh Ninh (hình 2).

Hệ thống đứt gãy theo phương đông bắc tây nam gồm 2 đứt gãy: đứt gãy Ninh Bình- Kiến An và đứt gãy Thụy Anh-Đồ Sơn. Đây là các đứt gãy sau trầm tích được thành tạo do hiệu ứng của quá trình nén ép ngang. Kết quả hoạt động của 2 hệ thống đứt gãy nói trên vào cuối Miocen muộn đã đóng vai trò phối hợp cùng hệ thống đứt gãy phương tây bắc - đông nam chia cắt Miền Vông Hà Nội thành các khối nâng và khối sụt dạng hình thang và hình tứ giác [21].

### 2.2. Cấu trúc địa chất Đệ Tứ

#### a) Phân vùng cấu trúc

Theo không gian trong Đệ Tứ có thể phân ra 3 vùng cấu trúc theo phương tây bắc - đông nam: (1) Vùng sụt lún tương đối mạnh (Nam Định) có bề dày trầm tích Đệ Tứ đạt tới 200m, riêng trong Holocen đạt 60m; (2) Vùng sụt lún tương đối yếu (Thái Bình) có bề dày trầm tích Đệ Tứ trung bình đạt 130m; (3) Vùng sụt lún yếu (Ninh Bình) có bề dày trầm tích Đệ Tứ trung bình đạt 70m và (4) Vùng nâng tương đối trước cửa Ba Lạt có cấu trúc theo phương Đông Bắc - Tây Nam [12],[21].

#### b) Phân tầng cấu trúc:

Theo phương thẳng đứng trầm tích Đệ Tứ có 5 phân tầng cấu trúc tương ứng với 5 chu kỳ trầm tích: (1) Pleistocen dưới ( $Q_1^1$ ); (2) Pleistocen giữa, phần dưới ( $Q_1^{2a}$ ); (3) Pleistocen giữa, phần trên ( $Q_1^{2b}$ ); (4) Pleistocen trên, phần dưới ( $Q_1^{3a}$ ); (5) Pleistocen trên, phần trên-Holocen ( $Q_1^{3b}$ - $Q_2$ ) (hình 2) [13,22].

### 3. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu

#### 3.1. Cơ sở tài liệu

Phân tích và xử lý mẫu của 15 lỗ khoan về địa chất Đệ Tứ và 16 lỗ khoan địa chất thủy văn (bảng 1)

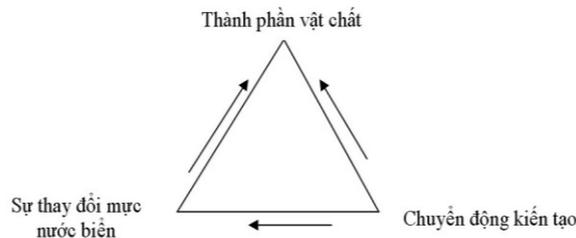
Bảng 1. Bảng thống kê số lượng và các chỉ tiêu phân tích cho các mẫu địa chất và địa chất thủy văn

Các chỉ tiêu phân tích	Số lượng	Mục tiêu sử dụng
Phân tích độ hạt (Md, So, Sk)	1000	Phân tích tướng, địa tầng phân tậ và chế độ thủy thạch động lực môi trường trầm tích
Hệ số mài tròn hạt vụn (Ro)	100	Xác định quãng đường vận chuyển và môi trường lắng đọng trầm tích
Các tham số địa hóa môi trường: pH, Eh, Kt	100	Xác định môi trường trầm tích: lục địa, chuyển tiếp và biển
Tổng hàm lượng khoáng hóa (TDS)	29	Phục vụ phân vùng nước nhạt và nước mặn
Lưu lượng nước ngầm	29	Phân tích tương quan với hàm lượng cát cuội sạn (S)

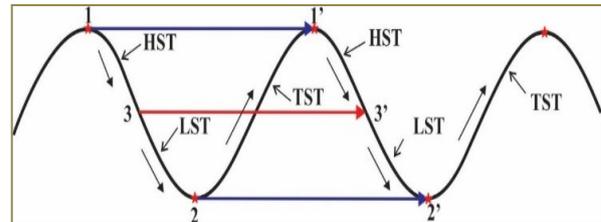
#### 3.2. Hướng tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

##### 3.2.1. Hướng tiếp cận:

Tiếp cận theo mối quan hệ nhân quả giữa tướng trầm tích, sự thay đổi mực nước biển toàn cầu và chuyển động kiến tạo (hình 3).



Hình 3. Mối quan hệ nhân-quả giữa thành phần trầm tích-sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo (Trần Nghi, 2002)



Hình 4. Mô hình địa tầng phân tậ của Trần Nghi (2017)

Biểu đồ tam giác chỉ ra mối quan hệ nhân-quả giữa thành phần trầm tích, sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo trong đó chuyển động kiến tạo và sự thay đổi mực nước biển là nguyên nhân còn trầm tích là kết quả:

$$TT = F(MNB, KT)$$

##### 3.2.2. Phương pháp nghiên cứu

###### a) Mô hình địa tầng phân tậ của Trần Nghi (2018)

Sau khi nghiên cứu để áp dụng các mô hình địa tầng phân tậ của Emery và nnk (1996), Wagoner và nnk (2003) và Catuneanu (2006) trong việc phân chia địa tầng Đệ Tứ các đồng bằng ven biển và thềm lục địa Việt Nam Trần Nghi đã phát hiện ra những thiếu sót của các mô hình nói trên nên không áp dụng để giải quyết các mục tiêu của thực tiễn đặt ra [16,17,18]. Lý do rất đơn giản là các tác giả thiếu tiếp cận về phân tích tướng đá và chu kỳ trầm tích trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển toàn cầu do ảnh hưởng của 5 chu kỳ băng hà /gian băng. Vì vậy, Trần Nghi đã tiếp cận từ phân tích tướng đá và chu kỳ trầm tích tức từ trực quan sinh động đến tư duy trừu tượng theo nguyên lý triết học nên đã xây dựng được mô hình địa tầng phân tậ theo chu kỳ tướng đá và đưa ra một định nghĩa về địa tầng phân tậ như sau:

“Địa tầng phân tậ là sự sắp xếp có quy luật của tướng trầm tích trong khung địa tầng theo không gian và thời gian có tính chu kỳ tương ứng với chu kỳ phức tậ (sequences) trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển toàn cầu và chuyển động kiến tạo”.

Nội hàm của mô hình Trần Nghi là:

- 1) Các phức tậ có tính chu kỳ.



2) Ranh giới các chu kỳ lấy theo đường 33' nghĩa là tại vị trí trung bình giữa mực nước biển cực tiểu (min) và cực đại (max) của một chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu.

3) Mỗi phức tạp có 3 miền hệ thống trầm tích (LST, TST, HST) và mỗi miền hệ thống trầm tích được đặc trưng bởi một tổ hợp cộng sinh các phức hệ tướng đá:

- Miền hệ thống trầm tích biển thấp (LST) được bắt đầu từ MNB ở vị trí trung bình đến cực tiểu; được đặc trưng bởi các phức hệ tướng đá biển thấp: phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp ( $S_{ma}LST$ ); phức hệ tướng bùn cát sông-biển biển thấp ( $M_{sam}LST$ ) và phức hệ tướng bùn biển nông biển thấp ( $MmLST$ );

- Miền hệ thống trầm tích biển tiến (TST) được bắt đầu từ MNB cực tiểu đến MNB cực đại; được đặc trưng bởi các phức hệ tướng đá biển tiến: phức hệ tướng bùn cát biển-sông biển tiến ( $M_{sma}TST$ ); phức hệ tướng bùn biển nông-vũng vịnh biển tiến ( $MmbTST$ );

- Miền hệ thống trầm tích biển cao (HST) được bắt đầu từ MNB cực đại đến MNB trung bình; được đặc trưng bởi các phức hệ tướng đá biển cao: phức hệ tướng bùn cát châu thổ biển cao ( $M_{sam}HST$ ); phức hệ tướng bùn biển nông biển cao ( $MmHST$ ).

b) Phương pháp phân tích độ hạt theo thang phi:

$$\Phi = -\log_2 d \text{ (Krumbein W.C, 1936)}$$

Các tham số độ hạt được tính toán từ đường cong tích lũy [14]:

$Md$  (mm) - Kích thước trung bình các cấp hạt:  $Md = Q_{50}$ ;

$S_o$  - Hệ số chọn lọc:  $S_o = \sqrt{Q_{25}/Q_{75}}$ .  $S_o \geq 1$ . Khi  $S_o = 1-1,58$ : trầm tích có độ chọn lọc tốt;  $S_o = 1,58-2,12$ : chọn lọc trung bình;  $S_o > 2,12$ : chọn lọc kém;

$S_k$  - Hệ số bất đối xứng:  $(Q_{25} \cdot Q_{75})/Md^2$ , trong đó:  $Q_{25}$  và  $Q_{75}$  là hàm lượng % tích lũy của các cấp hạt tại 25% và 75% theo trục tung. Khi  $S_k < 1$ : đỉnh đường cong phân bố độ hạt lệch về phía hạt lớn. Ngược lại khi  $S_k > 1$ : đỉnh đường cong lệch về phía hạt nhỏ.

c) Phương pháp lập các công thức tướng đá theo các miền hệ thống trầm tích [15].

Công thức tướng đá theo các miền hệ thống gồm 3 đại lượng: kiểu trầm tích ( $S, M$ ), môi trường trầm tích ( $a, am, m, ma$ ) và miền hệ thống (LST, TST, HST):

Kiểu trầm tích được xác định dựa vào tỷ lệ của chỉ số cát ( $S$ ) và bùn ( $M$ ) được tính từ kết quả phân tích độ hạt. Ranh giới giữa cát và bùn là 0,063mm, từ đó chỉ số cát và bùn được tính theo công thức:  $S=1-M$ .

$S$  biến thiên từ 0 (min) đến 1(max);  $M$  cũng biến thiên từ 0 (min) đến 1(max).

Theo công thức trên cho thấy: khi  $S=0$  thì  $M=1$ ; ngược lại khi  $S=1$  thì  $M=0$ .

Tuỳ theo tỷ lệ hàm lượng giữa cát và bùn để đưa ký hiệu của chúng vào công thức cho chính xác:

- Khi  $S \geq 0,90$ : thì kiểu trầm tích là cát ( $S$ ) đặc trưng cho tướng cát đê cát ven bờ biển tiến ( $S_mTST$ ), tướng cát cồn cát biển -gió ( $S_{mv}LST$ ;  $S_{mv}HST$ )

- Khi  $M \geq 0,90$ : thì kiểu trầm tích là bùn ( $M$ ) đặc trưng cho tướng bùn biển nông biển tiến ( $MmTST$ )

- Khi  $0,5 < S < 0,9$  thì kiểu trầm tích là cát bùn ( $S_m$ ) đặc trưng cho tướng cát bùn aluvi biển thấp ( $S_{ma}LST$ ).

- Khi  $0,5 < M < 0,9$  thì kiểu trầm tích là bùn cát ( $M_s$ ) đặc trưng cho tướng bùn cát châu thổ biển cao ( $M_{sam}HST$ )

d) Phương pháp phân tích các chỉ tiêu địa hóa môi trường:  $pH, Eh, Kt$  [15].

(1)  $pH$ : là chỉ số axit-kiềm của trầm tích sét ( $pH$ ):  $pH = -\lg [H^+]$ . Khi  $pH < 7$ : môi trường lục địa;  $pH = 7$ : môi trường chuyển tiếp;  $pH > 7$  môi trường kiềm.

(2)  $Eh$ : là chỉ số thế năng oxi hóa-khử của trầm tích sét ( $Eh$ ) (mv). Khi  $Eh < 0$  là môi trường khử; Khi  $Eh >> 0$  là môi trường oxi hoá.

(3)  $Kt$ : là chỉ số cation trao đổi;  $Kt = (K^+ + Na^+)/ (Ca^{+2} + Mg^{+2})$ ; Thứ nguyên của  $Kt$  là mgd/100g mẫu. Khi  $Kt < 0,5$ : Môi trường lục địa;  $Kt = 0,5-1,0$ : Môi trường chuyển tiếp;  $Kt > 1$ : Môi trường biển.

e) Phương pháp xác định tổng hàm lượng chất rắn hòa tan (TDS)

- Phương pháp sấy khô mẫu nước: mẫu nước sấy tới nhiệt độ 180°C. Khối lượng tăng lên của cốc chính là tổng lượng chất rắn hòa tan (Total Dissolved Solid);
- Phương pháp đo trực tiếp độ dẫn điện của nước ngầm lấy được từ lỗ khoan ngoài hiện trường. Dựa trên phương trình tương quan giữa độ dẫn điện của nước và tổng chất khoáng hòa tan sẽ tính được khối lượng tổng chất khoáng hòa tan trong nước.

f) Phương pháp đối sánh chu kỳ trầm tích với chu kỳ băng hà/gian băng  
Bảng 2. Mối quan hệ giữa chu kỳ trầm tích, chu kỳ phức tạp và chu kỳ băng hà (Trần Nghi, 2002, 2018)

Tuổi băng hà và gian băng	Chu kỳ trầm tích (Trần Nghi, 2002)	Phức tạp (Trần Nghi, 2018)	Cột địa tầng quốc tế
5		$Q_1^{3b} - Q_2$	10
18		30	$Q_1^3$
40		$Q_1^{3a}$	
50		70	125
83		$Q_1^{2b}$	
130		160	$Q_1^2$
191		$Q_1^{2a}$	
402		600	800
0,8		$Q_1^1$	
1,4		1,6	$Q_1^1$
1,9			

#### 4. Kết quả nghiên cứu, thảo luận

##### 4.1. Kết quả nghiên cứu:

Mối quan hệ giữa tướng đá và nước ngầm nguyên sinh:

Cho đến nay các nhà địa chất thủy văn đã phân chia nước ngầm thành 3 tầng chứa nước: (1) tầng chứa nước Pleistocen (qp); (2) tầng chứa nước Holocen dưới (qh1) và tầng chứa nước Holocen trên (qh2) và 2 tầng chứa nước Pleistocen trên ( $Q_1^{3b}vp$ ) và Holocen sớm-giữa ( $Q_2^{1-2}hh$ ). Như trên đã phân tích trong Holocen không có tầng chứa nước mà chỉ có tầng chứa nước Holocen sớm-giữa ( $Q_2^{1-2}$ ).

Theo hướng tiếp cận nghiên cứu mối quan hệ giữa tướng đá với khả năng chứa nước và cách nước có thể chia trầm tích Đệ Tứ khu vực Thái Bình và Nam Định 5 tầng chứa nước nguyên sinh và 5 tầng chứa nước như sau:

a) 5 tầng chứa nước nguyên sinh từ dưới lên như sau:

Trong khu vực Thái Bình và Nam Định 5 tầng chứa nước nguyên sinh được thành tạo trong các pha biển thoái bao gồm tướng cát cồn chắn cửa sông tiền châu thổ thuộc miền hệ thống trầm tích biển cao (HST) của chu kỳ trước và tướng cát lòng sông thuộc miền hệ thống trầm tích biển thấp (LST) của chu kỳ sau:

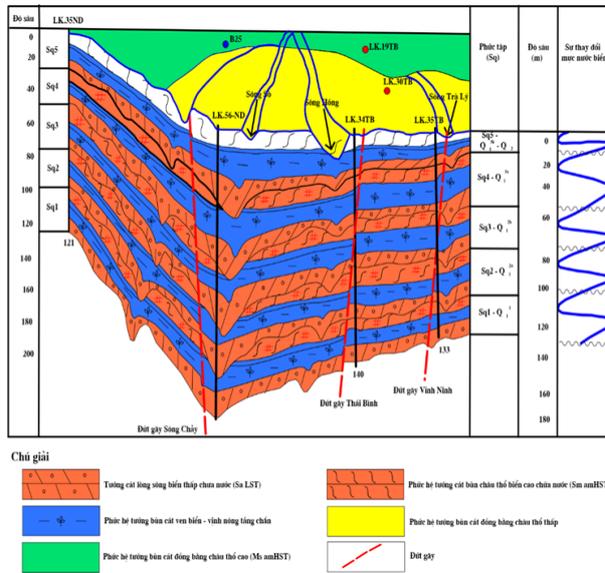
(1) Tầng chứa nước thứ nhất là phức hệ tướng cát lòng sông Pleistocen sớm: SaLST $Q_1^1$

(2) Tầng chứa nước thứ 2 gồm 2 phức hệ tướng đá: phức hệ tướng cát lòng sông biển thấp ( $Q_1^{2a}$ ) và phức hệ tướng cát cồn chắn cửa sông biển cao ( $Q_1^1$ ): (SaLST $Q_1^{2a}$  + SamHST $Q_1^1$ )

(3) Tầng chứa nước thứ 3 gồm 2 phức hệ tướng đá: phức hệ tướng cát lòng sông biển thấp ( $Q_1^{2b}$ ) và phức hệ tướng cồn chắn cửa sông biển cao ( $Q_1^{2a}$ ): (SaLST $Q_1^{2b}$  + SamHST $Q_1^{2a}$ )

(4) Tầng chứa nước thứ 4 gồm 2 phức hệ tướng đá: phức hệ tướng cát lòng sông biển thấp ( $Q_1^{2b}$ ) và phức hệ tướng cồn chắn cửa sông biển cao ( $Q_1^{3a}$ ): (SaLST $Q_1^{3a}$  + SamHST $Q_1^{2b}$ )

Tầng chứa nước thứ 5 gồm 2 phức hệ tướng đá: phức hệ tướng cát lòng sông biển thấp ( $Q_1^{3a}$ ) và phức hệ tướng cồn chắn cửa sông biển cao ( $Q_1^{3b}$ ): (SaLST $Q_1^{3b}$  + SamHST $Q_1^{3a}$ ).



Hình 5. Sơ đồ khối mặt cắt tương trầm tích và vị trí các tầng chứa nước và cách nước theo 5 phức tập liên kết [16] có bổ sung và chỉnh sửa mới

b) 5 Tầng cách nước:

Khu vực nghiên cứu có 5 tầng cách nước, đó là 5 phức hệ tương biển tiến thuộc 5 miền hệ thống trầm tích biển tiến (TST). 5 tầng cách nước này có đặc điểm trầm tích và khả năng cách nước khác nhau, chúng bị phân hóa theo không gian và theo thời gian:

(1) Tầng cách nước thứ nhất là phức hệ tương cát bùn bãi triều biển tiến và tương bùn cát đầm lầy ven biển biển tiến ( $S_{m,m}TST$ ,  $M_{s,m}TSTQ_1^1$ ) phân bố khu vực đông bắc Thái Bình, tây bắc Nam Định đóng vai trò tầng cách nước có chất lượng kém.

(2) Tầng cách nước thứ 2 là phức hệ tương bùn cát đầm lầy ven biển ( $M_{s,m}TSTQ_1^{2a}$ ), phân bố ở tây bắc Thái Bình đóng vai trò là tầng cách nước trung bình và tương bùn xám xanh đồng bằng ngập lụt biển tiến cực đại ( $M_{s,m}TST$ ,  $M_{m}TSTQ_1^{2a}$ ) phân bố khu vực Nam Định, thuộc tầng cách nước tốt.

(3) Tầng cách nước thứ 3 là phức hệ tương bùn cát đầm lầy ven biển ( $M_{s,m}TSTQ_1^{2b}$ ) thuộc tầng chắn trung bình phân bố khu vực Thái Bình và tương sét xám xanh vũng vịnh đồng bằng ngập lụt biển tiến cực đại ( $M_{m}TSTQ_1^{2b}$ ) thuộc tầng chắn tốt phân bố ở khu vực Nam Định.

(4) Tầng cách nước thứ 4 là phức hệ tương bùn cát đầm lầy ven biển phân bố khu vực Thái Bình ( $M_{s,m}TSTQ_1^{3a}$ ) thuộc tầng chắn kém và tương sét xám xanh vũng vịnh đồng bằng ngập lụt biển tiến cực đại ( $M_{m}TSTQ_1^{3a}$ ) phân bố khu vực Nam Định thuộc tầng chắn tốt.

(5) Tầng cách nước thứ 5 là phức hệ tương bùn cát đầm lầy ven biển và tương sét xám xanh vũng vịnh đồng bằng ngập lụt biển tiến cực đại ( $M_{s,m}TST$ ,  $M_{m}TSTQ_2^{1-2}$ ) phân bố tương đối đồng đều ở khu vực Thái Bình và Nam Định. Đây là tầng cách nước tốt nhất so với các tầng cách nước trong Pleistocen (hình 5, bảng 3).

4.2. Thảo luận

Luận giải quá trình nhiễm mặn của tầng chứa nước Pleistocen:

Nguyên nhân nhiễm mặn của các tầng chứa nước Pleistocen đã được các nhà địa chất thủy văn giải thích là do sự thẩm thấu của nước biển vào đất liền theo mô hình lan truyền địa hoá. Cách tiếp cận này có thể hợp lý đối với trầm tích Holocen muộn ở những khu vực bờ biển đang bị xói lở như Hải Hậu Nam Định. Tuy nhiên đối với tầng chứa nước Pleistocen phân bố dưới độ sâu từ 50-200m thì cơ chế nhiễm mặn hoàn toàn khác không liên quan gì với nước biển hiện tại. Mỗi một tầng chứa nước nguyên sinh đều thuộc phức hệ tương cát lòng sông được thành tạo trong quá trình biển thoái thuộc miền hệ thống trầm tích biển thấp khi đường bờ biển cổ nằm ở các độ sâu xa bờ: (1) đường bờ  $Q_1^1$  ở độ sâu 2500m nước; (2) đường bờ  $Q_1^{2a}$  ở độ sâu 2000m nước; (3) đường bờ  $Q_1^{2b}$ :

Hệ tầng	Phức tập	MHT	Độ hạt		S ( $\phi > 0.063$ mm)	Tương trầm tích	Tầng chứa nước cách nước	Kt/pH	Rơ/So	Mức nước biển
			0.063 mm	0.003 mm						
Phức hệ tầng biển tiến $C_1^1, C_1^2$	Sq5	HST	3	0.58 0.42	0.15	0.23	0.88/7.2	0.6/2.4		
		TST	2	0.51	0.87	1.6/7.9	0.5/2.5			
		LST	1	0.52	0.40	0.3/6.4	0.3/2.8			
Phức hệ tầng biển tiến phần dưới $C_1^2, C_1^3$	Sq4	HST	3	0.52	0.40	1.0/7.6	0.6/2.3			
		TST	2	0.18 0.52	0.25	1.5/7.7	0.5/2.1			
		LST	1	0.90	0.35	0.3/6.7	0.3/2.7			
Phức hệ tầng biển tiến phần trên $C_1^3, C_1^4$	Sq3	HST	3	0.71 0.40	0.35	0.9/7.3	0.6/2.4			
		TST	2	0.57	0.23	1.4/7.9	0.5/2.4			
		LST	1	0.88	0.23	0.4/6.5	0.4/2.7			
Phức hệ tầng biển tiến phần dưới $C_1^4, C_1^5$	Sq2	HST	3	0.51 0.42	0.35	0.9/7.2	0.6/2.5			
		TST	2	0.19 0.87	0.24	1.6/7.8	0.5/2.3			
		LST	1	0.87	0.18	0.4/6.3	0.3/2.6			
Phức hệ tầng biển tiến phần dưới $C_1^5, C_1^6$	Sq1	HST	3	0.65 0.45	0.18	1.2/7.1	0.6/2.5			
		TST	2	0.45	0.18	1.4/7.6	0.5/2.2			
		LST	1	0.90	0.25	0.3/6.5	0.4/2.7			

Hình 6. Phân chia các tầng chứa nước khu vực Thái Bình, Nam Định [16] có bổ sung và chỉnh sửa mới

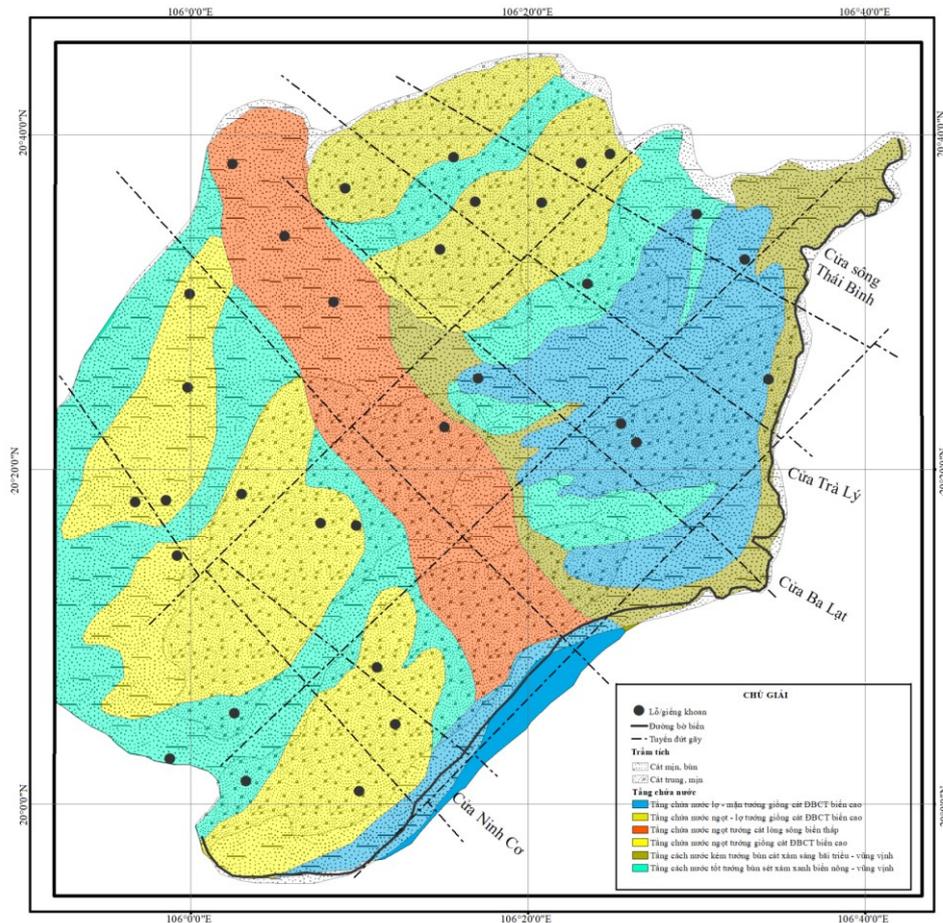


ở độ sâu 1000m nước; (4) đường bờ  $Q_1^{3a}$ : ở độ sâu 500m nước và (5) đường bờ  $Q_1^{3b}$  ở độ sâu 100m nước. Như vậy, nước ngầm của các tầng chứa nước nguyên sinh Pleistocen là nước nhạt với độ khoáng hoá tổng <1g/l có nguồn gốc là nước khí tượng không bị ảnh hưởng của nước biển trong các giai đoạn biển thoái nói trên. Tuy nhiên, sau mỗi pha biển thoái tạo tầng chứa nước là có pha biển tiến tạo tầng cách nước thuộc tương bùn cát bãi triều ven biển và tương bùn sét xám xanh biển nông-vũng vịnh phủ trên tầng chứa nước nhạt nguyên sinh. Chính các tầng cách nước được thành tạo trong môi trường nước lợ và nước mặn có độ khoáng hoá tổng >1g/l nên theo thời gian địa chất những tầng cách nước ở khu vực Thái Bình chủ yếu là tương cát bùn ven biển và bùn cát biển nông-vũng vịnh nên bị nước khí tượng rửa lũa thấm thấu xuống tầng chứa nước nhạt nguyên sinh là nhiễm mặn ở các mức độ khác nhau. Còn khu vực Nam Định các tầng cách nước cùng tuổi với khu vực Thái Bình đều là những tầng cách nước tốt thuộc tương bùn ven biển và sét xám xanh vũng vịnh nên nước khí tượng không rửa lũa và thấm thấu nước mặn-lợ xuống tầng chứa nước nguyên sinh (hình 5, 6; bảng 3).

Bảng 3. Các phức hệ tương chứa nước và cách nước trong mối quan hệ với 5 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu do ảnh hưởng của 5 chu kỳ băng hà/gian băng

Phức tập	Tầng cách nước/Tầng chứa nước		Tổng hàm lượng khoáng hoá (TDS) (g/l)		Mức Nước Biển	Băng hà	Gian băng
	Thái Bình	Nam Định	Thái Bình	Nam Định			
Sq5 ( $Q_1^{3b}$ - $Q_2$ )	( $S_m maTST$ ; $M_s mTSTQ_2^{1-2}$ ) (nước lợ)	( $M_s maTST$ ; $MmTSTQ_2^{1-2}$ ) (nước lợ)	>1	>1	Biển tiến		W2- biển tiến Flandrian
	( $SaLSTQ_1^{3b}$ ); $SamHSTQ_1^{3a}$ ) (Nước nhạt-lợ)	( $SaLSTQ_1^{3b}$ ); ( $SamHSTQ_1^{3a}$ ) (Nước nhạt)	$\geq 1$	<1	Biển thoái	Wur m2	
Sq4 ( $Q_1^{3a}$ )	( $S_m maTST$ ; $M_s mTSTQ_1^{3a}$ ) (nước lợ)	( $M_s maTST$ ); $MmTSTQ_1^{3a}$ ) (nước lợ)	>1	>1	Biển tiến		W1-W2
	( $SaLSTQ_1^{3a}$ ); $SamHSTQ_1^{2b}$ ) (Nước nhạt-lợ)	( $SaLSTQ_1^{3a}$ ); ( $SamHSTQ_1^{2b}$ ) (Nước nhạt)	$\geq 1$	<1	Biển thoái	Wur m1	
Sq3 ( $Q_1^{2b}$ )	( $S_m maTST$ ); $M_s mTSTQ_1^{2a}$ ) (Nước lợ)	( $M_s maTST$ ); $MmTSTQ_1^{2a}$ ) (Nước lợ)	>1	>1	Biển tiến		R-W1
	( $SaLSTQ_1^{2b}$ - $SamHSTQ_1^{2a}$ ) (Nước ngọt-lợ)	( $SaLSTQ_1^{2b}$ ); $SamHSTQ_1^{2a}$ ) (Nước nhạt)	$\geq 1$	<1	Biển thoái	Riss	
Sq2 ( $Q_1^{2a}$ )	( $S_m maTST$ ); $(M_s mTSTQ_1^{2a})$ (Nước lợ)	( $M_s maTST$ ); $MmTSTQ_1^{2a}$ ) (Nước lợ)	>1	>1	Biển tiến		M-R
	( $SaLSTQ_1^{2a}$ + $SamHSTQ_1^1$ ) (Nước nhạt-lợ)	( $SaLSTQ_1^{2a}$ + $SamHSTQ_1^1$ ) (Nước nhạt)	$\geq 1$	<1	Biển thoái	Mind el	
Sq1 ( $Q_1^1$ )	( $S_m maTST$ ); $M_s mTSTQ_1^1$ ) (Nước lợ)	( $M_s maTST$ ; $MmTSTQ_1^1$ ) (nước lợ)	>1	>1	Biển tiến		G-M
	$SaLSTQ_1^1$ (Nước nhạt-lợ)	$SaLSTQ_1^1$ (Nước nhạt)	$\geq 1$	<1	Biển thoái	Gunz	

Chú thích: S-là chỉ số cát; Sm là cát bùn; M là bùn; Ms là bùn cát; a-aluvi; am-sông biển (châu thổ bồi tụ); ma-biển sông (estuary).



Hình 7. Bản đồ phân vùng mặn nhạt theo tầng trầm tích khu vực Thái Bình và Nam Định [[16]] có bổ sung và chỉnh sửa mới

## 5. Kết luận

1. Trầm tích Đệ Tứ khu vực tỉnh Thái Bình và Nam Định thuộc hạ lưu châu thổ Sông Hồng có 5 chu kỳ phức hệ tương ứng với 5 phức tập:  $Q_1^1$ ;  $Q_1^{2a}$ ;  $Q_1^{2b}$ ;  $Q_1^{3a}$ ;  $Q_1^{3b}$ - $Q_2$ . Mỗi phức tập có 3 miền hệ thống (LST, TST, HST). Trong đó miền hệ thống biển thấp (LST) có tương cát lòng sông là tầng chứa nước nhạt nguyên và miền hệ thống trầm tích biển tiến có phức hệ tương bùn cát, cát bùn ven biển và tương bùn vũng vịnh là tầng cách nước.

2. Trong khu vực Thái Bình và Nam Định 5 tầng chứa nước nhạt nguyên sinh được thành tạo trong các pha biển thoái bao gồm:

- Tầng chứa nước thứ nhất:  $SaLSTQ_1^1$
- Tầng chứa nước thứ 2:  $(SaLSTQ_1^{2a} + SamHSTQ_1^1)$
- Tầng chứa nước thứ 3:  $(SaLSTQ_1^{2b} + SamHSTQ_1^{2a})$
- Tầng chứa nước thứ 4:  $(SaLSTQ_1^{3a} + SamHSTQ_1^{2b})$
- Tầng chứa nước thứ 5:  $(SaLSTQ_1^{3b} + SamHSTQ_1^{3a})$

3. Các tầng cách nước chính là các phức hệ tương trầm tích biển tiến (TST), tuy nhiên chúng bị phân hóa thành 2 nhóm:

- Nhóm 1: Cách nước kém, gồm 2 tương (1) tương cát bùn bãi triều có sóng ( $S_{mamTST}$ ) và tương bùn cát bãi triều đầm lầy ven biển chứa than bùn ( $M_{samTST}$ ) phân bố chủ yếu ở khu vực Thái Bình.

- Nhóm 2: Cách nước tốt, gồm 2 tương: (1) tương bùn cát bãi triều đầm lầy ven biển ( $S_{mamTST}$ ) và tương bùn cát bãi triều đầm lầy ven biển ( $M_{samTST}$ ) và tương bùn sét xám xanh vũng vịnh ( $M_{mtTST}$ ) phân bố chủ yếu ở khu vực Nam Định.

4. Quá trình rửa lũa thẩm thấu của nước khí tượng từ trên xuống qua các tầng cách nước thuộc tương bùn, bùn cát biển tiến có tổng khoáng hoá >1 phủ trên các tầng chứa nước thấm xuống làm nhiễm mặn tầng chứa nước nhạt nguyên sinh tuổi Pleistocen.



### Lời cảm ơn:

Nội dung bài báo là một phần kết quả nghiên cứu của đề tài cấp Liên Hiệp các Hội KH&KT Việt Nam: “Nghiên cứu các yếu tố môi trường ảnh hưởng đến quá trình xâm nhập mặn khu vực các huyện ven biển Thái Bình – Nam Định và đề xuất giải pháp phòng tránh”. Đồng thời bài báo có sử dụng một số thông tin, kết quả nghiên cứu và được hỗ trợ bởi đề tài của mã số ĐTĐLCN.59/22-C. Nhân dịp này cho phép tập thể tác giả xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc về những giúp đỡ quý báu này.

### Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.

### Tài liệu tham khảo

- [1] Hoàng Ngọc Kỳ (Chủ biên), "Địa chất từ Hà Nội", *Tổng cục Địa chất, Hà Nội*, 1978.
- [2] Hoàng Ngọc Kỳ (chủ biên) và nnk, "Thành lập bản đồ Địa chất Đệ Tứ tỷ lệ 1/200000 khu vực Hà Nội", *Lưu trữ tại Trung tâm thông tin tư liệu TCDC & KSVN*, 1973.
- [3] Doãn Đình Lâm, "Tiến hóa trầm tích Holocen châu thổ Sông Hồng", *Luận án tiến sĩ địa chất, ĐHQGHN*, 2005.
- [4] Lieu, N.T.H., "Holocene evolution of the Central Red River Delta, Northern Vietnam, lithological and mineralogical investigations", *Greifswald University, Germany*. 130p, 2006.
- [5] Mathers, S., Zalasiewicz, J., "Holocene Sedimentary architecture of the Red River Delta, Vietnam", *J. Coast. Res.* Vol 15 No, 314–325, 1999.
- [6] Nguyễn Quang Miên, Lê Khánh Phồn, "Some results of <sup>14</sup>C dating in investigation on Quaternary geology and geomorphology in Nam Định - Ninh Bình area, Việt Nam", *J. Geology*, B/15 : 106-109. Hà Nội, 2000.
- [7] Nghi, T., Khiem, H.A., Long, H. Van, Lan, N.T., Thanh, D.X., "Development history of Holocene geological formations in Hung Yen-Phu Ly area in relation to Flandrian transgression phase into the Red River Delta", *J. Earth Sci.* 26/4, 313–318, 2004a.
- [8] Nghi, T., Lan, N.T., Ha, N.T.T., "Relationship between Quaternary lithofacies and groundwater characteristics of sediments in the Red River Delta", *J. Geology*. 114–123, 2004b.
- [9] Nghi, T., Ngo Quang Toan, Do Thi Van Thanh, Nguyen Dinh Minh, Nguyen Van Vuong, "Quaternary sedimentation of the principal deltas of Vietnam" *J. Southeast Asian Earth Sci.* 6, 103–110. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0743-9547\(91\)90101-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0743-9547(91)90101-3), 1991.
- [10] Nghi, T., Nhuan, M., Van Ngoi, C., Van Dai, N., Xuan Thanh, D., Dinh Nguyen, N., Nguyen Thanh, L., Dam, Q.-M., Quang Toan, N., "GIS and Image Analysis to Study the Process of Late Holocene Sedimentary Evolution in Balat River Mouth, Vietnam", *J. Geoinformatics*. <https://doi.org/10.6010/geoinformatics.14.43>, 2003.
- [11] Nghi, T., Nhuan, M.T., Ngoi, C. Van, Utrecht, P., van Weering, T.C.E., van den Bergh, G.D., Thanh, D.X., Nguyen, N.D., Phai, V. Van, "Holocene sedimentary evolution, geodynamic and anthropogenic control of the Balat river mouth formation (Red River Delta, northern Vietnam)", *Z. Geol. Wiss., Berlin* 3, 157–172, 2002.
- [12] Trần Nghi, Nguyễn Thế Tiệp, "Đặc điểm trầm tích trong mối tương tác thạch động lực của vùng tiền châu thổ Sông Hồng", *Tạp chí các khoa học về Trái đất*, số 1, tr. 26-32, 1993.
- [13] Trần Nghi, Ngô Quang Toàn, 1991. 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), tr. 65-69.
- [14] Trần Nghi, Nguyễn Thị Tuyên, Đinh Xuân Thành, Nguyễn Đình Nguyên, Trần Thị Thanh Nhân, Nguyễn Đình Thái, Nguyễn Thị Huyền Trang, "Đường bờ cô 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, Tr. 1-13, 9-10/2016.
- [15] Trần Nghi, "Địa chất trầm tích Việt Nam", *Nhà xuất bản ĐHQGHN*, 2018.
- [16] Tran 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", ISSN 0024-4902, *Lithology and Mineral Resources*, 2022, Vol. 57, No. 5, pp. 449–471. © Pleiades Publishing, Inc, 2022.
- [17] Tanabe, S., Hori, K., Saito, Y., Haruyama, S., Vu, V.P., Kitamura, A., "Song Hong (Red River) delta evolution related to millennium-scale Holocene sea-level changes", *Quat. Sci. Rev.* 22, 2345–2361. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(03\)00138-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0277-3791(03)00138-0), 2003b.
- [18] Tanabe, S., Saito, Y., Lan V. Q., Hanebuth, T.J.J., Toan N. Q., Kitamura, A., "Holocene evolution of the Song Hong (Red River) delta system, northern Vietnam", *Sediment, Tạp chí địa chất số 187*, 29–61. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2005.12.004>, 2006.
- [19] Vũ Nhật Thăng, Phạm Đình Xin, "Địa chất và Khoáng sản vùng Thái Bình – Nam Định (giới thiệu kết quả đo vẽ BDĐC và TNKS tỉ lệ 1/50.000 nhóm tờ Thái Bình – Nam Định)", *Tổng cục địa chất và khoáng sản Việt Nam*, 1997.
- [20] Ngô Quang Toàn và nnk, 1989. *Bản đồ địa chất Hà Nội*, tỉ lệ 1/50.000.
- [21] Phung Van Phach, Vu Van Chinh, "Cenozoic tectonic activities in the Red River basin and adjacent areas", *Journal of marine science and technology* 7/3: 18-30, Hanoi. Vietnam Academy of Science and Technology, 2007.
- [22] Nguyen Van Dan, Nguyen Thi Ha, "Groundwater resources in Hanoi and orientation for abstraction and utilization", *Geological journal*; 314-323, Hanoi, 2005.

[Article](#) © 2024 by [Magazine of Geodesy - Cartography](#) is licensed under [CC BY 4.0](#)

