



## Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



# Characteristics of sediment provenance in the southwestern East Sea



Sang Nhu Pham <sup>1,\*</sup>, Bat Van Dang <sup>2</sup>, Hiep Huu Nguyen <sup>1</sup>, Chi Kim Thi Ngo <sup>1</sup>, Binh Van Phan <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Faculty of Geosciences and Geoengineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

<sup>2</sup> Vietnam Union of Geological Sciences, Vietnam

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 09<sup>th</sup> Aug. 2020

Revised 03<sup>rd</sup> Oct. 2020

Accepted 31<sup>st</sup> Oct. 2020

#### Keywords:

Chemical weathering,  
Clay mineral,  
East Sea,  
Mekong River,  
Physical weathering,  
Sediment provenance.

### ABSTRACT

*Characteristics of sediment provenance in the southwestern East Sea The southwestern East Sea is a significant area for investigating marine geology and it has drawn much attention from geoscientists. In this study, clay mineral assemblages of some sediment cores derived from the southwestern East Sea, which were conducted in previous studies were used to review characterization of sediment provenance in this area. Sediment compositions in the southwestern East Sea consist mostly of smectite (11÷58%), illite (19÷45%), and less abundance kaolinite (11÷29%), chlorite (10÷25%). Based on clay mineral assemblages, provenance analysis indicates that the Mekong River can mainly transport terrigenous sediments to the southwestern East Sea. Illite and chlorite have likely been reduced by physical weathering of the metamorphic and granitic rocks in the Tibetan Plateau. Kaolinite has primarily been released by chemical erosion of the K-feldspar rich bed rocks in the middle part of the Mekong Basin. However, smectite has been basically derived by chemical weathering of the parent basaltic rock in the middle to lower reaches of the Mekong Basin.*

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

\*Corresponding author

E - mail: [phamnhusang@humg.edu.vn](mailto:phamnhusang@humg.edu.vn)

DOI: 10.46326/JMES.2020.61(5).02



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



# Đặc điểm nguồn gốc trầm tích khu vực tây nam biển Đông

Phạm Như Sang <sup>1,\*</sup>, Đặng Văn Bát <sup>2</sup>, Nguyễn Hữu Hiệp <sup>1</sup>, Ngô Thị Kim Chi <sup>1</sup>, Phan Văn Bình <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

<sup>2</sup> Tổng hội địa chất Việt Nam, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:  
 Nhận bài 09/8/2020  
 Sửa xong 03/10/2020  
 Chấp nhận đăng 31/10/2020

#### Từ khóa:

Biển Đông,  
 Khoáng vật sét,  
 Nguồn gốc trầm tích,  
 Phong hóa hóa học,  
 Phong hóa vật lý,  
 Sông Mekong.

### TÓM TẮT

Khu vực tây nam biển Đông là một khu vực có tầm quan trọng lớn trong nghiên cứu địa chất biển và đã nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học. Trong nghiên cứu này, kết quả phân tích tổ hợp khoáng vật sét từ các lỗ khoan ở khu vực phía tây nam biển Đông trong các nghiên cứu trước đây được tổng hợp và tái xử lý sâu hơn để đánh giá đặc điểm nguồn gốc trầm tích của khu vực này. Kết quả nghiên cứu cho thấy trầm tích khu vực tây nam biển Đông chứa nhiều khoáng vật sét smectit có hàm lượng thay đổi từ 11÷58%, hàm lượng illit từ 19÷45%, ít hơn là khoáng vật clorit từ 10÷25% và khoáng vật sét kaolinit từ 11÷29%. Phân tích tổ hợp khoáng vật sét cho thấy sông Mekong là nơi cung cấp chủ yếu vật liệu trầm tích cho khu vực phía tây nam biển Đông. Illit và chlorit là sản phẩm của quá trình phong hóa vật lý từ các đá biến chất ở cao nguyên Tây Tạng. Trong khi đó, khoáng vật kaolinit được vận chuyển đến khu vực nghiên cứu thông qua quá trình xói mòn từ các sản phẩm phong hóa của thành tạo địa chất giàu feldspat kali ở phần trung tâm của lưu vực sông Mekong. Tuy nhiên, khoáng vật smectit được hình thành từ quá trình phong hóa của các đá giàu thành phần bazơ ở phần trung và hạ lưu lưu vực sông Mekong.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Nguồn gốc trầm tích là một thành phần quan trọng trong nghiên cứu quá trình trầm tích dưới biển. Trong hướng nghiên cứu này, đặc trưng sự hình của khoáng vật sét thường được coi là những công cụ hiệu quả để xác định nơi nào chúng được sinh ra và môi trường cổ địa lý liên quan không chỉ

dưới đại dương mà còn cả trên đất liền (Colin và nnk., 2006; Liu và nnk., 2004, 2005, 2007b; Sang và nnk., 2019). Khoáng vật sét được hình thành trong quá trình phong hóa và chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của điều kiện khí hậu, thành phần thạch học và hoạt động kiến tạo (Chamley, 1989). Đá gốc ở mỗi lưu vực sông thường chịu ảnh hưởng của các quá trình biến đổi khí hậu và hoạt động kiến tạo khác nhau làm cho sản phẩm phong hóa của chúng cũng không giống nhau (Selvaraj và Chen, 2006; Wang và nnk., 2011; Liu và nnk., 2007a, 2008, 2009, 2012; Hu và nnk., 2014; Jonell và nnk., 2016; Sang và nnk., 2018). Do đó, sự hình thành

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [phanhusang@humg.edu.vn](mailto:phanhusang@humg.edu.vn)  
 DOI: 10.46326/JMES.2020.61(5).02

của khoáng vật sét thường mang đặc trưng cho từng lưu vực sông. Dựa vào những đặc trưng của tổ hợp khoáng vật sét trong trầm tích mà chúng đã được sử dụng rộng rãi để xác định nguồn gốc nơi chúng được sinh ra.

Đông Nam Á là khu vực cung cấp lượng lớn sản phẩm phong hóa cho trầm tích biển Đông và sản phẩm này được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu môi trường cổ địa lý trên bề mặt trái đất và dưới đại dương (Milliman và nnk., 1999; Clift và nnk., 2014; Liu và nnk., 2004, 2007a, 2012; Huang và nnk., 2016). Trong khu vực này sông Mekong được coi là nơi cung cấp nguồn vật liệu trầm tích quan trọng hàng đầu (Milliman và nnk., 1999; Liu và Stattegger, 2014; Hình 1). Sông Mekong dài 4.350 km, bắt nguồn từ cao nguyên Tây Tạng của Trung Quốc và chảy qua một loạt các nước Mynama, Thái Lan, Lào, Campuchia và Việt Nam sau đó chúng đổ vào phía tây nam biển Đông qua đồng bằng sông Cửu Long. Sông Mekong có lưu vực thoát nước rộng ~810.000 km<sup>2</sup>, với lưu lượng trầm tích đổ ra biển Đông hàng năm ~166 triệu tấn, khiến nó trở thành con sông lớn và dài nhất ở Đông Nam Á, dài thứ 12 và lớn thứ 8 trên thế giới

(Milliman và Syvitski, 1992). Do tầm quan trọng của lưu vực sông này nên có nhiều nghiên cứu đã được tiến hành ở phía Nam và tây nam biển Đông nhằm đánh giá sự đóng góp về nguồn cung cấp trầm tích của chúng (Liu và nnk., 2004, 2005; Colin và nnk., 2010; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019). Tuy nhiên, các nghiên cứu trước mới chỉ tiến hành tại các vị trí riêng lẻ mà chưa có một nghiên cứu nào được tiến hành một cách tổng thể về khu vực này. Chính vì vậy, đây là nhiệm vụ cần được thực hiện nhằm đưa ra cái nhìn tổng quan về đặc điểm nguồn gốc trầm tích khu vực phía tây nam biển Đông.

Trong nghiên cứu này, trên cơ sở số liệu phân tích các mẫu khoáng vật sét của 3 lỗ khoan trầm tích MD01-2393, MD97-2150 và SO18383-3 ở phía tây nam biển Đông được sử dụng nhằm đánh giá tổng quan về đặc điểm nguồn gốc trầm tích của khu vực này.

## 2. Tài liệu và phương pháp phân tích

### 2.1. Tài liệu



Hình 1. Hình ảnh đường bờ hiện tại và thời kỳ băng hà cực đại cuối cùng (*the Last Maximum Glaciation*) tương ứng với mực nước biển thấp hơn mức hiện nay ~116 m ở phía nam biển Đông (Hanebuth và nnk., 2011; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019). Các dòng sông cổ thể hiện hệ thống sông khi nước biển ở mức thấp (Voris, 2000; Sathiamurthy và Voris, 2006).



3 lỗ khoan ở khu vực phía tây nam biển Đông gồm MD01-2393 (10°30,15'N; 110°03,68'E; ở độ sâu 1.230 m nước; dài 42,5 m), MD97-2150 (10°11,76'N; 119°31,51'E; ở độ sâu 292 m nước; dài 13,2 m) và SO18383-3 (7°38.54'N; 109°29,15'E; ở độ sâu 710,6 m nước; dài 9,44 m) (Liu và nnk., 2004; Jiwrungrueangkul và nnk., 2019; Hình 1). Lỗ khoan MD01-2393 được lấy trong chuyến khảo sát trên biển số hiệu VII-WEPAMA năm 2001, lỗ khoan MD97-2150 được lấy trong chuyến khảo sát III-IPHIS năm 1997 và lỗ khoan SO18383-3 được lấy trong chuyến khảo sát SO-140 bằng tàu nghiên cứu biển RV SONNE năm 1999. Các lỗ khoan này được lấy ở phần xa bờ ở tiền châu thổ sông Mekong. Nghiên cứu này sử dụng các mẫu khoáng vật sét đã được công bố bởi Liu và nnk. (2004) và Jiwrungrueangkul và nnk. (2019) và toàn bộ mẫu khoáng vật sét được phân tích tại Trường Đại học Đồng Tế, Thượng Hải, Trung Quốc.

## 2.2. Phương pháp phân tích

Thành phần khoáng vật sét được xác định bằng Máy đo nhiễu xạ tia X (the PANalytical X'Pert PROX-ray Diffractometer) trên các tiêu bản định hướng với các thành phần có độ hạt < 2 μm không chứa carbonat. Các mẫu trầm tích được xử lý bằng HCl 0,2 N và 10% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> để loại bỏ carbonat và vật chất hữu cơ tương ứng có trong mẫu. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp được mô tả theo Liu và nnk. (2004) để thực hiện gắn kết định hướng. Ba lần chạy XRD đã được thực hiện sau khi sấy trong không khí, đặt trong bình đựng ethylenglycol trong 24 giờ và gia nhiệt ở nhiệt độ 490°C trong 2 giờ. Vị trí của loạt (001) phản xạ cơ bản trên ba sơ đồ XRD đã được sử dụng để xác định khoáng vật sét. Dựa trên đường cong ethylenglycol, phần mềm MacDiff (Petschick, 2000) đã được sử dụng để thực hiện các ước tính bán định lượng về diện tích cực đại của các phản xạ cơ bản cho các nhóm khoáng sét chính của smectit (bao gồm các lớp hỗn hợp) (15÷17 Å), illit (10 Å) và kaolinit/chlorit (7 Å) (Holtzapffel, 1985). Tỷ lệ 3,57/3,54 Å của một khu vực cực đại đã được sử dụng để xác định tỷ lệ tương đối của kaolinit và chlorit.

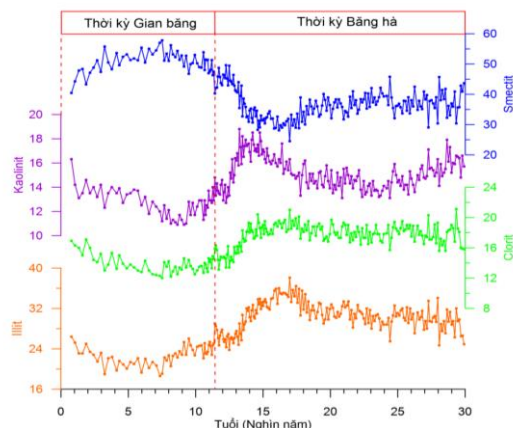
## 3. Kết quả vào thảo luận

### 3.1. Thành phần khoáng vật sét khu vực tây nam biển Đông

Kết quả phân tích thành phần khoáng vật sét cho thấy lỗ khoan MD01-2393 có thành phần chủ yếu là illit từ 21÷40%, smectit từ 22÷58%, trong khi đó kém phổ biến hơn là clorit 10-25%, kaolinit từ 11÷25% (Liu và nnk., 2004; Bảng 1). Lỗ khoan MD97-2150 chứa chủ yếu là illit từ 23÷45%, kaolinit từ 12÷29% cao hơn lỗ khoan MD01-2393 một chút và lỗ khoan này lại chứa ít hơn smectite từ 11÷40%, nhưng lại có clorit khá tương đồng từ 11÷25% (Liu và nnk., 2004; Bảng 1). Lỗ khoan SO18383-3 chứa chủ yếu là khoáng vật sét smectit từ 25÷58%, illit từ 19÷38%, và kém phổ biến hơn các khoáng vật clorit từ 12÷21% và kaolinit từ 11÷19% (Jiwrungrueangkul và nnk., 2019; Bảng 1; Hình 2). Hai lỗ khoan MD01-2393 và MD97-2150 có thành phần khoáng vật sét không khác nhau nhiều nhưng so với lỗ khoan SO18383-3 thì khác nhau khá rõ (Bảng 1). Lỗ khoan SO18383-3 có hàm lượng khoáng vật sét smectit cao hơn nhiều hai lỗ khoan MD01-2393 và MD97-2150, trong khi đó hàm lượng illit, clorit và kaolinit đều thấp hơn chút. Sự khác nhau về thành phần khoáng vật sét của các lỗ khoan có thể là do khác nhau về nguồn gốc trầm tích hoặc do chúng ở những vị trí khác nhau làm cho sự vận chuyển và lắng đọng vật liệu trầm tích sẽ không giống nhau và có thể tác động đến thành phần khoáng vật sét mặc dù chúng có thể có cùng nguồn gốc.

Bảng 1. Thành phần khoáng vật sét từ 3 lỗ khoan MD01-2393, MD97-2150 và SO18383-3.

Lỗ khoan	Illit, (%)	Clorit, (%)	Smectit, (%)	Kaolinit, (%)
MD01-2393	21÷40	10÷25	21÷40	11÷25
MD97-2150	23÷45	11÷25	11÷40	12÷29
SO18383-3	19÷38	12÷21	25÷58	11÷19



Hình 2. Tổ hợp khoáng vật sét của lỗ khoan SO18383-3 trong khoảng 30.000 năm.

### 3.2. Nguồn gốc trầm tích khu vực phía tây nam biển Đông

Phía nam và tây nam biển Đông là một vùng biển có tốc độ bồi lắng trầm tích cao ở biển Đông (Milliman và nnk., 1999). Khu vực này nhận được một lượng lớn trầm tích lục nguyên từ sông Mekong và các sông nhỏ từ những địa hình đồi núi ở Borneo, Sumatra, bán đảo Mã Lai, và Thái Lan (Liu và nnk., 2016). Bên cạnh đó, với lượng mưa cực kỳ dồi dào và độ dốc địa hình cao, bán đảo Mã Lai, Sumatra và Borneo có thể đóng góp một lượng lớn trầm tích cho biển Đông. Để xác định lượng vật liệu trầm tích đổ ra khu vực phía Nam biển Đông Milliman và nnk. (1999) đã sử dụng thuật toán của Milliman và Syvitski (1992) để ước tính tổng lượng trầm tích tương ứng là 910 triệu tấn/năm và 780 triệu tấn/năm cho Borneo và Sumatra. Khoảng 459 triệu tấn/năm từ phía bắc Borneo và 498 triệu tấn/năm từ đông bắc Sumatra và đổ trực tiếp ra phía Nam biển Đông. Tuy vậy, có những nghiên cứu vẫn nghi ngờ về lượng trầm tích khổng lồ này (Liu và nnk., 2016). Bởi vì, lượng trầm tích quan sát được từ hai con sông lớn nhất ở phía Bắc Borneo được báo cáo chỉ đạt 42 triệu tấn/năm và lượng trầm tích từ bán đảo Mã Lai đổ ra là 35 triệu tấn/năm (Liu và nnk., 2012). Xa hơn về phía tây, một số con sông vừa phải ở miền Trung Thái Lan cung cấp hơn 19 triệu tấn/năm trầm tích lục nguyên cho vịnh Thái Lan với sông Chao Phraya là con sông lớn nhất (19 triệu tấn/năm). Bên cạnh đó, một số nhà khoa học cho rằng các con sông nhỏ ở miền Nam Trung Bộ Việt Nam có thể đóng góp đáng kể lượng trầm tích cho khu vực phía tây nam biển Đông (Li, 2005). Bởi vì địa hình dốc và kiến tạo nâng mạnh mẽ làm cho bề mặt lớp vỏ phong hóa bị xói mòn mạnh hơn và những con sông này có thể đóng góp lượng trầm tích lớn cho đại dương (Milliman và nnk., 1992; Milliman và Farnsworth, 2011). Ví dụ như các sông nhỏ xung quanh đảo Đài Loan có lưu vực nhỏ nhưng tốc độ bóc mòn của chúng cao nhất thế giới và chúng đổ ra phía bắc biển Đông 185 triệu tấn trầm tích lơ lửng hàng năm (Milliman và nnk., 1983). Tuy nhiên, lượng mưa ở đây là yếu tố chính gây ra hiện tượng này (Selvaraj và nnk., 2006). Ở miền Trung Việt Nam thì lại khác, khi lượng mưa nhận được không lớn như ở khu vực đảo Đài Loan. Do đó, tổng lượng trầm tích của các con sông ở miền Trung Việt Nam đổ ra biển Đông hàng năm chỉ lớn hơn 14 triệu tấn (Milliman và nnk., 1992). Hơn nữa, khu vực tây

nam biển Đông nằm khá xa các con sông nhỏ này nên khả năng chúng cung cấp vật liệu trầm tích cho khu vực này là rất thấp. Do đó, trong nghiên cứu của nhiều tác giả ở khu vực tây nam biển Đông họ không quan tâm sự đóng góp trầm tích đến từ các con sông nhỏ ở miền Trung Việt Nam (Liu và nnk., 2004, 2005, 2007, 2016; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019).

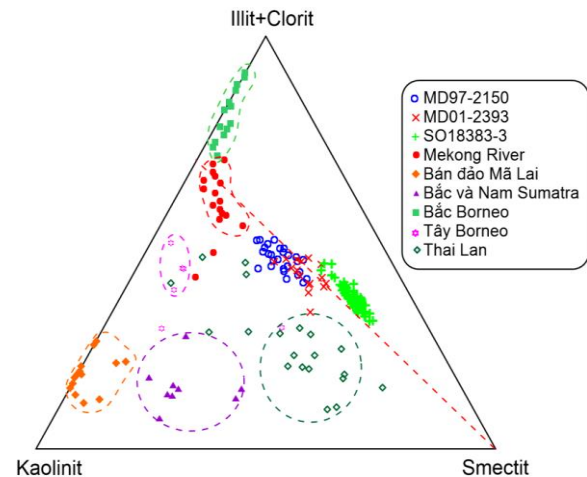
Trong nghiên cứu trầm tích biển, việc xác định nguồn gốc trầm tích đóng vai trò rất quan trọng và là bước đầu tiên trong nghiên cứu môi trường cổ địa lý không chỉ trên đất liền mà còn cả dưới đại dương (Diekmann và nnk., 1996; Gingele và nnk., 1998; Liu và nnk., 2008, 2016; Sang và nnk., 2019). Khoáng vật sét được hình thành dưới ảnh hưởng mạnh mẽ của điều kiện thời tiết, kiến tạo và thành phần thạch học của đá trên các lưu vực sông và có nhiều nghiên cứu đã thành công khi sử dụng chúng để xác định nguồn gốc trầm tích ở biển Đông (Liu và nnk., 2004, 2007b, Sang và nnk., 2019). Khu vực phía tây nam biển Đông có thể nhận được trầm tích chủ yếu từ các con sông xung quanh như sông Mekong, các sông nhỏ ở bán đảo Borneo, Sumatra, Mã Lai, và Thái Lan bởi vì sự đóng góp trầm tích do gió ở khu vực này là không đáng kể (Wehausen và nnk., 2003; Liu và nnk., 2004, 2016; Steinke và nnk., 2008; Huang và nnk., 2016; Hình 1). Số liệu phân tích thành phần khoáng vật sét từ 3 lỗ khoan MD97-2150, MD01-2393 và SO183883-3 đã được kết hợp và biểu thị trong biểu đồ tương quan giữa kaolinite-(illit+clorit)-smectit (Hình 3). Kết quả cho thấy tổ hợp khoáng vật sét của cả ba lỗ khoan đều không trùng khớp với các tổ hợp khoáng vật sét của nguồn gốc trầm tích tiềm năng. Điều này có thể do khu vực được cung cấp bởi nhiều con sông khác nhau hoặc do vị trí khác nhau, nên quá trình vận chuyển và lắng đọng trầm tích sẽ khác nhau dẫn đến thành phần của chúng không giống nhau (Chen và nnk., 2017; Steinke và nnk., 2008; Wang và nnk., 2015).

Tuy nhiên, một số minh chứng rõ ràng đã được một số nhà nghiên cứu chỉ ra rằng sông Mekong là nguồn cung cấp vật liệu trầm tích chủ yếu cho khu vực tây nam biển Đông (Liu và nnk., 2004, 2005; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019). Cả hai khoáng vật sét illit và clorit có sự biến đổi thành phần tương đối giống nhau ở cả 3 lỗ khoan MD97-2150, MD01-2393 và SO183883-3 (Liu và nnk., 2004; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019; Hình 2),

điều này cho thấy chúng đến từ cùng một nguồn gốc. Điều này cũng có nghĩa là phân tích nguồn gốc khoáng vật illit cũng chính là đi tìm nguồn gốc trầm tích của khoáng vật sét clorit và nhiều nghiên cứu đã sử dụng chỉ số địa hóa của khoáng vật illit (illit chemistry index) và cấu trúc tinh thể illit (illit crystallinity) để so sánh với các nguồn gốc tiềm năng và đã đạt được nhiều thành công (Liu và nnk., 2007b; Steinke và nnk., 2008; Huang và nnk., 2016; Sang và nnk., 2019). Trong nghiên cứu này, các giá trị chỉ số địa hóa illit và cấu trúc tinh thể illit của lỗ khoan SO18383-3 và các nguồn gốc tiềm năng cũng được biểu hiện trên Hình 4. Chúng ta có thể thấy rằng các giá trị của lỗ khoan SO18383-3 nằm khá gần các giá trị từ sông Mekong và rất khác với các sông nhỏ khác xung quanh khu vực này. Điều này cho thấy sông Mekong là nơi cung cấp chủ yếu khoáng vật illit cũng như clorit cho khu vực Tây nam biển Đông. Bên cạnh đó hai lỗ khoan MD97-2150 và MD01-2393 có hàm lượng illit và clorit cũng tương đồng với lỗ khoan SO18383-3 (Liu và nnk., 2004; Hình 2). Điều này cũng dễ hiểu vì 2 lỗ khoan MD97-2150 và MD01-2393 nằm ngay trước mặt sông Mekong và chúng chịu ảnh hưởng mạnh mẽ của nguồn trầm tích này (Liu và nnk., 2004, 2005). Theo Liu và nnk. (2004), khu vực phía đông cao nguyên Tây Tạng thuộc lưu vực sông Mekong có sự xuất hiện phổ biến của các đá biến chất và đá granit dưới ảnh hưởng mạnh mẽ của quá trình phong hóa vật lý và là nơi sinh ra chủ yếu hai loại khoáng vật sét này.

Khoáng vật sét kaolinit và smectit được sinh ra phổ biến ở khu vực bán đảo Sumatra, Mã Lai và Thái Lan và cũng khá gần với khu vực nghiên cứu nhưng có một số lý do các nhà nghiên cứu trước đã chỉ ra rằng sự đóng góp của chúng là kém quan trọng và hai khoáng vật sét này đến chủ yếu từ sông Mekong (Liu và nnk., 2004, 2005; Jiwaringrueangkul và nnk., 2019). Ở bán đảo Sumatra, Mã Lai và Thái Lan khoáng vật sét kaolinite có hàm lượng cao trong sản phẩm phong hóa và gió mùa thổi theo hướng từ nam tới bắc tăng cao trong thời kỳ gian băng, nhưng thành phần của kaolinit lại thấp hơn ở thời kỳ gian băng và cao hơn ở thời kỳ băng hà (Liu và nnk., 2004; Jiwaringrueangkul và nnk., 2019; Hình 2). Điều này cho thấy sự đóng góp khoáng vật sét kaolinit của khu vực này là không nhiều cho khu vực nghiên cứu. Tương tự như vậy, theo nghiên cứu trước thì những khu vực này khoáng vật smectit

cũng là khoáng vật phổ biến trong sản phẩm phong hóa ở bán đảo Sumatra, Mã Lai và Thái Lan. Có nghĩa là nếu khu vực này đóng góp nhiều kaolinit thì cũng đóng góp nhiều smectit. Tuy nhiên, sự biến đổi về thành phần của chúng lại không tương đồng với nhau ở thời kỳ băng hà và gian băng trong cả ba lỗ khoan (Liu và nnk., 2004; Jiwaringrueangkul và nnk., 2019; Hình 2). Do đó, smectit ở khu vực nghiên cứu không thể đến chủ yếu từ bán đảo Sumatra, Mã Lai và Thái Lan. Bên cạnh đó, các sông nhỏ thuộc khu vực Thái Lan trầm tích thường đổ vào vịnh Thái Lan và bị giữ lại, sự trao đổi khoáng vật sét giữa vịnh này và biển Đông là rất hạn chế (Liu và nnk., 2016; Hình 1). Chính vì vậy, các nhà nghiên cứu trước đều đã cho rằng smectit và kaolinit đều đến từ sông Mekong và chịu ảnh hưởng chi phối của gió mùa Đông Á, bởi gió mùa này sẽ ảnh hưởng mạnh mẽ đến quá trình phong hóa ở lưu vực sông thông qua nhiệt độ và lượng mưa (Liu và nnk., 2004; Colin và nnk., 2010; Jiwaringrueangkul và nnk., 2019).



Hình 3. Biểu đồ tam giác thể hiện sự phân bố tổ hợp khoáng vật sét của 3 lỗ khoan MD97-2150, MD01-2393 và SO18383-3 và các sông xung quanh khu vực này là sông Mekong, các sông nhỏ ở bán đảo Mã Lai, Sumatra, Borneo, và Thái Lan (Liu và nnk., 2004, 2005, 2007a, 2012, 2016; Jiwaringrueangkul và nnk., 2019).

Khoáng vật sét kaolinit thường được hình thành trong điều kiện nóng và ẩm và phụ thuộc mạnh mẽ vào hiện tượng thủy phân ở trên lưu vực sông (Chamley, 1989). Tuy nhiên, sự biến đổi thành phần khoáng vật sét kaonilit và illit cũng như clorit khá tương đồng trong cả hai thời kỳ

băng hà và gian băng (Liu và nnk., 2004; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019; Hình 2). Điều này chứng tỏ rằng, kaolinit ở khu vực nghiên cứu đến từ quá trình xói mòn từ các lớp trầm tích trên lưu vực sông Mekong có chứa kaolinit hàm lượng cao. Bên cạnh đó, khi mực nước biển thấp kaolinit có thể đến từ thềm lục địa bị phơi ra trong thời kỳ này. Do đó, sự biến đổi thành phần khoáng vật sét kaolinit ở 3 lỗ khoan này chủ yếu phản ánh quá trình xói mòn ở lưu vực sông Mekong. Smectit là khoáng vật thứ sinh và chúng thường được sinh ra trong quá trình phong hóa hóa học từ các đá có thành phần bazơ dưới điều kiện thời tiết ẩm và ấm (Chamley, 1989). Sự biến đổi của khoáng vật sét smectit ở trong thời kỳ băng hà và gian băng là khác và tương đối đối lập với sự biến đổi của cả 3 khoáng vật illit, clorit và kaolinit (Liu và nnk., 2004; Jiwarungrueangkul và nnk., 2019; Hình 2). Điều đó cho thấy, smectit ở khu vực phía tây nam biển Đông không đến từ quá trình xói mòn và quá trình phong hóa vật lý, mà nó phải đến từ quá trình phong hóa hóa học ở lưu vực sông Mekong. Ở lưu vực này, các sản phẩm phong hóa từ đá bazan xuất hiện phổ biến ở phần trung tâm lưu vực và phần hạ lưu, đây chính là nguồn gốc tiềm năng của khoáng vật sét smectit.

#### 4. Kết luận

Tổ hợp khoáng vật sét từ 3 lỗ khoan trầm tích MD01-2393, MD97-2150 và SO18383-3 ở khu vực tây nam biển Đông được sử dụng trong nghiên cứu để đánh giá tổng quan về đặc điểm nguồn gốc trầm tích khu vực này. Qua nghiên cứu này có thể đưa ra những kết luận sau:

Thành phần khoáng vật sét trong trầm tích gồm chủ yếu khoáng vật sét smectit từ 11÷58%, khoáng vật sét illit từ 19÷45%, và ít hơn là khoáng vật sét clorit từ 10÷25%, khoáng vật sét kaolinit từ 11÷29%.

Sông Mekong là nguồn cung cấp chủ yếu vật liệu trầm tích cho khu vực phía tây nam biển Đông trong cả thời kỳ băng hà và gian băng. Sự thay đổi của khoáng vật sét ở khu vực này có thể do sự biến đổi của điều kiện thời tiết trên lưu vực sông Mekong tác động đến quá trình phong hóa và xói mòn ở lưu vực này.

Khoáng vật sét illit và clorit ở phía tây nam biển Đông được hình thành chủ yếu từ quá trình phong hóa vật lý từ các đá biến chất và đá granit ở cao nguyên Tây Tạng thuộc lưu vực sông Mekong.

Khoáng vật kaolinit được vận chuyển đến khu vực tây nam biển Đông bởi quá trình xói mòn của các sản phẩm phong hóa giàu kaolinit ở phần trung tâm lưu vực sông Mekong. Trong khi đó, khoáng vật smectit được hình thành bởi quá trình phong hóa hóa học các đá giàu thành phần bazơ trong điều kiện ẩm và ấm ở phần trung tâm và phần hạ lưu lưu vực sông Mekong.

#### Lời cảm ơn

Để hoàn thành được bài báo này nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn tới các nhà khoa học như Zhifei Liu, Thanakorn Jiwarungrueangkul và Christophe Colin về những tài liệu quý giá trong khu vực tây nam biển Đông. Nhóm nghiên cứu xin cảm ơn sự giúp đỡ và tạo điều kiện vô cùng quý báu của các thầy cô trong Khoa Khoa học và Kỹ thuật Địa chất, các Phòng Ban chức năng của Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình nghiên cứu của nhóm tác giả. Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ Quốc gia trong đề tài mã số KC.09.30/16-20 do Trường Đại học Mỏ - Địa chất chủ trì.

#### Tài liệu tham khảo

- Chamley, H., (1989). *Clay Sedimentology*. Springer, New York, 623 pages.
- Chen, Q., Liu, Z., Kissel, C., (2017). Clay mineralogical and geochemical proxies of the East Asian summer monsoon evolution in the South China Sea during Late Quaternary. *Scientific Reports*, 7, 42083.
- Clift, P. D., Wan, S., Blusztajn, J., (2014). Reconstructing chemical weathering, physical erosion and monsoon intensity since 25 Ma in the northern South China Sea: A review of competing proxies. *Earth-Science Reviews*, 130, 86-102.
- Colin, C., Turpin, L., Blamart, D., Frank, N., Kissel, C., Duchamp, S., (2006). Evolution of weathering patterns in the Indo-Burman Ranges over the last 280 kyr: Effects of sediment provenance on  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  ratios tracer. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 7, 1-16.
- Colin, C., Siani, G., Sicre, M. A., Liu, Z., (2010). Impact of the East Asian monsoon rainfall changes on the erosion of the Mekong River

- basin over the past 25,000 yr. *Marine Geology*, 271, 84-92.
- Diekmann, B., Petschick, R., Gingele, F. X., Futterer, D. K., Abelmann, A., Brathauer, U., Gersonde, R., Mackense, A., (1996). Clay mineral fluctuations in Late Quaternary sediments of the southeastern South Atlantic: Implications for past changes of deep water advection. In: Wefer, G., Berger, W. H., Siedler, G., Webb, D. (eds.), *The South Atlantic: Present and Past Circulation*. Springer-Verlag, Berlin, 621-644 pages.
- Gingele, F. X., Müller, P. M., Schneider, R. R., (1998). Orbital forcing of freshwater input in the Zaire Fan area: Clay mineral evidence from the last 200 kyr. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 138, 17-26.
- Hanebuth, T. J. J., Voris, H. K., Yokoyama, Y., Saito, Y., Okuno, J., (2011). Formation and fate of sedimentary depocentres on Southeast Asia's Sunda Shelf over the past sea-level cycle and biogeographic implications. *Earth-Science Reviews*, 104, 92-110.
- Huang, J., Jiang, F., Wan, S., Zhang, J., Li, A., Li, T., (2016). Terrigenous supplies variability over the past 22,000 yr in the southern South China Sea slope: Relation to sea level and monsoon rainfall changes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 117, 317-327.
- Hu, B., Li, J., Cui, R., Wei, H., Zhao, J., Li, G., Fang, X., (2014). Clay mineralogy of the riverine sediments of Hainan Island, South China Sea: Implications for weathering and provenance. *Journal of Asian Earth Sciences*, 96, 84-92.
- Holtzapffel, T., (1985). Les minéraux argileux: préparation, analyse diffractométrique et détermination. *Société Géologique Nord Publication*, 12, 1-136.
- Jiwarungrueangkul, T., Liu, Z., Stattegger, K., Sang, P.N., (2019). Reconstructing chemical weathering intensity in the Mekong River basin since the Last Glacial Maximum. *Paleoceanography and Paleoclimatology*, 34, 1-16.
- Jonell, T. N., Clift, P. D., Hoang, L. V., Hoang, T., Carter, A., Wittmann, H., Böning, P., Pahnke, K., Rittenour, T., (2016). Controls on erosion patterns and sediment transport in a monsoonal, tectonically quiescent drainage, Song Gianh, central Vietnam. *Basin Research*, 29, 1-25.
- Li X. J., (2005). *Sedimentary characteristics of the Western South China Sea and their variations since the Late Pleistocene*. Dissertation for the Doctoral Degree (in Chinese), Tongji University, 91 pages.
- Liu, Z., Colin, C., Trentesaux, A., Blamart, D., Bassinot, F., Siani, G., Sicre, M., (2004). Erosional history of the eastern Tibetan Plateau since 190 kyr ago: Clay mineralogical and geochemical investigations from the southwestern South China Sea. *Marine Geology*, 209, 1-18.
- Liu, Z., Colin, C., Trentesaux, A., Siani, G., Frank, N., Blamart, D., Farid, S., (2005). Late Quaternary climatic control on erosion and weathering in the eastern Tibetan Plateau and the Mekong Basin. *Quaternary Research*, 63, 316-328.
- Liu, Z., Colin, C., Huang, W., Phon, L. K., Tong, S., Chen, Z., Trentesaux, A., (2007a). Climatic and tectonic controls on weathering in south China and Indochina Peninsula: Clay mineralogical and geochemical investigations from the Pearl, Red, and Mekong drainage basins. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 8, 1-18.
- Liu, Z., Zhao, Y., Li, J., Colin, C., (2007b). Late Quaternary clay minerals off Middle Vietnam in the western South China Sea: Implications for source analysis and East Asian monsoon evolution. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 50, 1674-1684.
- Liu, Z., Tuo, S., Colin, C., Liu, J.T., Huang, C.Y., Selvaraj, K., Chen, C. T. A., Zhao, Y., Siringan, F. P., Boulay, S., Chen, Z., (2008). Detrital fine-grained sediment contribution from Taiwan to the northern South China Sea and its relation to regional ocean circulation. *Marine Geology*, 255, 149-155.
- Liu, Z., Zhao, Y., Colin, C., Siringan, F. P., Wu, Q., (2009). Chemical weathering in Luzon, Philippines from clay mineralogy and major-element geochemistry of river sediments. *Applied Geochemistry*, 24, 2195-2205.



- Liu, Z., Wang, H., Hantoro, W. S., Sathiamurthy, E., Colin, C., Zhao, Y., Li, J., (2012). Climatic and tectonic controls on chemical weathering in tropical Southeast Asia (Malay Peninsula, Borneo, and Sumatra). *Chemical Geology*, 291, 1-12.
- Liu, Z., Statterger, K., (2014). South China Sea fluvial sediments: An introduction. *Journal of Asian Earth Sciences*, 79, 507-508.
- Liu, Z., Zhao, Y., Colin, C., Statterger, K., Wiesner, M.G., Huh, C. A., Zhang, Y., Li, X., Sompongchaiyakul, P., You, C. F., Huang, C. Y., Liu, J. T., Siringan, F. P., Le, K. P., Sathiamurthy, E., Hantoro, W. S., Liu, J., Tuo, S., Zhao, S., Zhou, S., He, Z., Wang, Y., Bunsomboonsakul, S., Li, Y., (2016). Source-to-Sink transport processes of fluvial sediments in the South China Sea. *Earth-Science Reviews*, 153, 238-273.
- Milliman, J. D., Meade, R. H., (1983). World-wide delivery of river sediment to the oceans. *The Journal of Geology*, 91, 1-21.
- Milliman, J. D., Syvitski, J. P. M., (1992). Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers. *The Journal of Geology*, 100, 525-544.
- Milliman, J. D., Farnsworth, K. L., Albertin, C. S., (1999). Flux and fate of fluvial sediments leaving large islands in the East Indies. *Journal of Sea Research*, 41, 97-107.
- Milliman, J. D., Farnsworth, K. L., (2011). *River Discharge to the Coastal Ocean: A Global Synthesis*. Cambridge University Press, Cambridge, 382 pages.
- Petschick, R., (2000). MacDiff 4.2.2 [online] available at <http://servermac.geologie.uni-frankfurt.de/Rainr.html> [cited 1-12-2001].
- Sang, P. N., Liu, Z., Statterger, K., (2019). Weathering and erosion in central Vietnam over the Holocene and Younger Dryas: Clay mineralogy and elemental geochemistry from the Vietnam Shelf, western South China Sea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 179, 1-10.
- Sang, P. N., Liu, Z., Zhao, Y., Zhao, X., Pha, P. D., Long, H. V., (2018). Chemical weathering in central Vietnam from clay mineralogy and major-element geochemistry of sedimentary rocks and river sediments. *Heliyon*, 4, e00710.
- Sathiamurthy, E., Voris, K. H., (2006). Maps of Holocene sea level transgression and submerged lakes on the Sunda Shelf. *The Natural History Journal of Chulalongkorn University, Supplement*, 2, 1-44.
- Selvaraj, K., Chen, C. A., (2006). Moderate Chemical Weathering of Subtropical Taiwan: Constraints from Solid-Phase Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks. *The Journal of Geology*, 114, 101-116.
- Steinke, S., Hanebuth, T. J. J., Vogt, C., Statterger, K., (2008). Sea level induced variations in clay mineral composition in the southwestern South China Sea over the past 17,000 yr. *Marine Geology*, 250, 199-210.
- Voris, H. K., (2000). Maps of Pleistocene sea levels in Southeast Asia: Shorelines, river systems and time durations. *Journal of Biogeography*, 27, 1153-1167.
- Wang, H., Liu, Z., Edlic, S., Colin, C., L. I., J., Zhao, Y., (2011). Chemical weathering in Malay Peninsula and North Borneo: Clay mineralogy and element geochemistry of river surface sediments. *Science China Earth Sciences*, 54, 272-282.
- Wang, J., Li, A., Xu, K., Zheng, X., Huang, J., (2015). Clay mineral and grain size studies of sediment provenances and paleoenvironment evolution in the middle Okinawa Trough since 17 ka. *Marine Geology*, 366, 49-61.
- Wehausen, R., Tian, J., Brumsack, H., Cheng, X., Wang, P., (2003). Geochemistry of Pliocene sediments from ODP Site 1143 (Southern South China Sea). *Proceeding of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 184, 1-25.