



Tạp chí Khoa học Đại học Quốc gia Hà Nội:
Các Khoa học Trái đất và Môi trường

Website: <https://js.vnu.edu.vn/EES>



Nghiên cứu các cách tiếp cận khác nhau trong việc phục hồi điều kiện cổ môi trường và cổ khí hậu trong quá khứ địa chất

Nguyễn Văn Vượng*, Lường Thị Thu Hoài, Nguyễn Đình Nguyên,
Phạm Nguyễn Hà Vũ, Nguyễn Thế Hùng, Vũ Thị Hương

Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN, 334 Nguyễn Trãi, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 16 tháng 5 năm 2018

Chỉnh sửa ngày 06 tháng 9 năm 2018; Chấp nhận đăng ngày 06 tháng 9 năm 2018

Tóm tắt: Bài báo này xem xét, so sánh bốn cách tiếp cận chính hiện nay trong nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu bao gồm tiệm cận từ góc độ cổ sinh, vi cổ sinh; từ góc độ trầm tích luận, địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết, và từ đồng vị bền. Cách tiếp cận từ góc độ trầm tích và địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết thường được sử dụng rộng rãi đối với nhiều loại trầm tích được thành tạo trong các môi trường và có tuổi khác nhau. Cách tiếp cận cổ sinh trong nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu bị hạn chế bởi sự bảo tồn kém của các di chỉ cổ sinh. Sử dụng đồng vị bền là một xu hướng mới trong nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu được áp dụng đối với nhiều đối tượng khác nhau, từ sinh vật tới khoáng vật nhạy cảm với sự biến đổi của môi trường.

Thông tin thu nhận được từ bốn cách tiếp cận trên không đồng nhất về mức độ và loại thông tin. Cổ sinh chỉ cung cấp thông tin khái quát về điều kiện địa lý như môi trường lục địa, biển nông, biển sâu, thêm mà không có thông tin chi tiết về môi trường. Các bản ghi trầm tích có thể cung cấp nhiều thông tin chi tiết hơn. Địa hóa các nguyên tố cung cấp thông tin về điều kiện oxy hóa khử, điều kiện ẩm ướt hay khô nóng, lượng mưa nhiều hay ít của môi trường. Đồng vị bền cung cấp cách tiếp cận định lượng nhất. Thông tin thu được từ cách tiếp cận này dựa chủ yếu vào tỷ số đồng vị oxy và carbon để xây dựng lại lịch sử biến động nhiệt độ trong khí quyển và đại dương.

Mức độ định lượng của thông tin thu được tăng dần từ cách tiếp cận trên cơ sở cổ sinh vật, trầm tích, địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết, đến đồng vị bền. Không có cách tiếp cận nào tối ưu và duy nhất trong nghiên cứu cổ môi trường, cổ khí hậu, do đó cần áp dụng đồng bộ cả bốn cách tiếp cận nêu trên.

Từ khóa: Cổ môi trường, cổ khí hậu, chỉ dấu, cách tiếp cận.

1. Mở đầu

Nghiên cứu điều kiện cổ môi trường có ý nghĩa khoa học và thực tiễn trong trầm tích học,

cổ sinh thái học nói riêng và trong Khoa học Trái đất nói chung. Các nghiên cứu cổ môi trường thường nhằm mục đích tái lập lại điều kiện môi trường hình thành trầm tích cũng như sự biến động các điều kiện tự nhiên trên bề mặt trái đất trong quá khứ địa chất từ tiền Cambri đến nay [1-3]. Khoảng vài ba thập kỷ gần đây, các thiết bị phân tích đã phát triển nhanh chóng

* Tác giả liên hệ. ĐT.: 84-984815186.

Email: vuongnv@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuées.4255>

và ngày càng chính xác. Hiểu biết về các mối quan hệ giữa các điều kiện, các thông số cổ môi trường với các hợp phần vô cơ, hữu cơ phát sinh và tiến hóa trong môi trường đó ngày càng sâu sắc, dẫn đến các nghiên cứu cổ môi trường ngày càng được chú trọng [4]. Việc nghiên cứu cổ môi trường đã vượt ra khỏi các lĩnh vực của khoa học trái đất- môi trường truyền thống và mở rộng sang các lĩnh vực vốn không thuộc khoa học Trái đất như khảo cổ học, lĩnh vực nông nghiệp, lâm nghiệp, hình sự, thực phẩm và các khoa học liên ngành như sinh địa hóa, sinh thái học [5-8]. Kể từ khi các kỹ thuật phân tích thành phần đồng vị bền của các nguyên tố có số khối nhỏ như C, O, H và một số đồng vị bền khác của S, N, Si được phát triển và ứng dụng rộng rãi trên thế giới thì lĩnh vực nghiên cứu cổ môi trường địa chất được tăng cường bằng các nghiên cứu cổ khí hậu có tính định lượng về nhiệt độ, lượng mưa, ngày càng cao và độ chính xác ngày càng tăng. Ví dụ: Egbobawaye đã sử dụng đồng vị ^{13}C và ^{18}O để tính được nhiệt độ trong thời kỳ Trias sớm từ các trầm tích chứa carbonate và dolomite ở tây Canada [9]. Cùng với việc gia tăng hiệu ứng khí nhà kính thì việc nghiên cứu tìm hiểu về sự thay đổi khí hậu trong quá khứ đóng vai trò quan trọng trong việc dự báo sự biến đổi và các tác động của khí hậu tương lai trên trái đất [10-12].

Bài báo tổng hợp này nhằm mục đích phân tích, so sánh đánh giá các các cách tiếp cận khác nhau trong nghiên cứu xác định điều kiện cổ môi trường và cổ khí hậu trong quá khứ địa chất hiện phổ biến trên thế giới và các nghiên cứu ở Việt Nam mà không đi sâu vào phân tích các ưu nhược điểm của phương pháp nghiên cứu.

2. Các cách tiếp cận phổ biến hiện nay trong nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu

2.1. Nghiên cứu cổ môi trường, cổ khí hậu từ các dấu vết cổ sinh, vi cổ sinh

Các dấu vết cổ sinh vật và vi cổ sinh đã được sử dụng từ lâu trong địa chất học truyền thống với mục đích xác định trật tự địa tầng và định tuổi tương đối [13-16]. Xu hướng này đã

và sẽ tiếp tục được sử dụng để nghiên cứu địa tầng, trầm tích cho các đối tượng và khu vực còn chưa được khám phá đầy đủ [17-19]. Tuy nhiên, các công trình nghiên cứu công bố trên thế giới trong những năm gần đây cho thấy việc sử dụng các dấu vết cổ sinh, đặc biệt là vi cổ sinh bên cạnh việc xác định trật tự địa tầng và tuổi tương đối, đã được mở rộng theo hướng phục vụ cho xác định điều kiện cổ môi trường trầm tích các địa tầng từ cổ đến trẻ [20-23]. Việc sử dụng các di chỉ cổ sinh và vi cổ sinh trong nghiên cứu cổ môi trường trầm tích chủ yếu dựa trên môi trường và điều kiện sống của chúng để suy luận về cổ môi trường của quá trình thành tạo trầm tích.

Các thông tin cổ môi trường từ các hóa thạch lớn

Đối với các hóa thạch không còn di chỉ vô hữu cơ mà chỉ là bản đúc từ khuôn trong hoặc khuôn ngoài với các di chỉ vô cơ thì các thông tin thu được chỉ tập trung vào hình thái và các đặc trưng hình học chi tiết của các bộ phận khác nhau của cổ sinh tàn dư còn lưu lại trong trầm tích. Mối quan hệ mang tính thống kê về môi trường sống trong quá khứ địa chất của các giống, loài cổ sinh vật được phát hiện trên thế giới cho phép suy luận về môi trường sống của chúng ở mức độ phân giải thấp, ít thông tin chi tiết về điều kiện môi trường và mang tính định tính. Ví dụ, dựa trên sự có mặt hóa thạch bọt ba thùy, các bộ phận còn sót lại của hóa thạch cá ở bồn địa Amazone (Brazil) trong trầm tích tuổi Carbon sớm giữa, Moutinho và nnk [24] đã chỉ ra sự tồn tại của môi trường biển nông, kiểu bồn biển nội lục trong carbon sớm. Hóa thạch Cúc đá đặc trưng cho môi trường biển trong giai đoạn Jura ở nam Việt Nam [25]. Việc nghiên cứu quá trình chuyển hóa, phân hủy từ sinh vật sống thành hóa thạch và sự thay đổi điều kiện sống cung cấp các thông tin về sự thay đổi điều kiện cổ môi trường [26]. Các hóa thạch lớn chỉ cung cấp được các thông tin mang tính phân định các môi trường sống ở tỷ lệ khái quát theo các phân loại môi trường tự nhiên hiện nay như môi trường lục địa, biển nông, biển sâu mà không thể cung cấp các thông tin chi tiết hơn về các thông số của môi trường trong quá khứ Địa chất.

Các thông tin cổ môi trường từ vi cổ sinh

Khác với di chỉ cổ sinh có kích thước lớn thường là các bản đúc hóa đá, hóa thạch vi cổ sinh chủ yếu bao gồm loại vi sinh vật đơn bào có kích thước cỡ nanomet đến dưới 1mm thuộc nhóm vỏ vôi (ví dụ như trùng lỗ foraminifera, ostracoda...); nhóm vỏ photphat (ví dụ như nhóm răng nón conodont...), nhóm vỏ silic (ví dụ như khuê tảo, diatom, tảo silic radilaria...), và nhóm bào tử phân hoa. Các vi cổ sinh, nhất là các loài có tính thích nghi hẹp, nhạy cảm với sự thay đổi của môi trường sống đặc biệt có giá trị trong việc nghiên cứu cổ môi trường, cổ khí hậu.

Do vi cổ sinh có vỏ cứng tạo thành từ các khoáng vật nguồn gốc sinh hóa và kích thước nhỏ nên chúng thường giữ được nguyên vẹn cấu trúc và thành phần khoáng vật, hóa học. Trong quá trình sống, do sự tương tác trao đổi chất với môi trường nước nên vi cổ sinh ghi nhận sự biến đổi của thành phần môi trường trong lớp vỏ của chúng. Khi chết đi, quá trình trao đổi chất dừng lại, một số đặc điểm của môi trường tại thời điểm đó được cố định lại trong lớp vỏ. Khai thác các thông tin này để phục vụ nghiên cứu cổ khí hậu, cổ môi trường sẽ được trình bày ở mục 2.4.

Mỗi nhóm vi cổ sinh thường sống trong một số môi trường nhất định. Tuy nhiên, do phạm vi phân bố của chúng thường rất rộng nên việc luận giải cổ môi trường thường dựa vào tập hợp gồm nhiều nhóm kết hợp với nhau hoặc dựa vào tỷ lệ phần trăm của nhiều giống loài, dựa vào sự phong phú và tính đa dạng loài, dựa vào tỷ lệ kiểu vỏ, dựa vào phân loại và đối chứng với môi trường sống đã biết của một hoặc một nhóm vi cổ sinh nào đó. Ví dụ như số lượng loài vi sinh vật trôi nổi sẽ tăng từ môi trường biển ven bờ đến biển sâu, hoặc đối với nhóm vi sinh vật bám đáy thì tính đa dạng loài sẽ tăng theo độ sâu đáy biển.

Vi cổ sinh có mặt trong các địa tầng từ tiền Cambri [27] và đã được sử dụng để nghiên cứu cổ môi trường trầm tích trong quá khứ địa chất [28] cho đến Holocen [29]. Tuy nhiên, các thông tin cổ môi trường thu được từ việc sử dụng tập hợp vi cổ sinh cũng còn hạn chế, chưa

đủ độ phân giải để phân biệt các đặc trưng của từng môi trường trầm tích chi tiết. Trong một số trường hợp thuận lợi, có thể phân biệt được môi trường nước mặn, nước ngọt hay nước lợ.

2.2. Nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu từ góc độ trầm tích

Các thông tin về cổ môi trường thu nhận được từ góc độ trầm tích

Các nghiên cứu cổ môi trường, cổ khí hậu từ góc độ trầm tích chủ yếu dựa vào các dấu hiệu có bản chất vật lý thể hiện mối quan hệ giữa môi trường hình thành với các đặc trưng trầm tích như cấu tạo bề mặt lớp trầm tích, đặc tính phân lớp, thành phần độ hạt, khoáng vật, màu sắc trầm tích. Sự thay đổi tính chất trầm tích bị chi phối bởi sự tương tác giữa hai quá trình lớn là quá trình bề mặt và quá trình nội sinh. Quá trình nội sinh liên quan đến chuyển động kiến tạo, magma, biến chất thường có tốc độ biến đổi rất nhỏ và kéo dài, trong khi sự thay đổi của môi trường trầm tích xảy ra với tốc độ nhanh hơn nhiều và diễn ra trên bề mặt trái đất thông qua tác động của khí hậu, địa hình, đá gốc. Sự thay đổi này có quan hệ mật thiết với sự thay đổi có tính chu kỳ của chuyển động trái đất trong không gian và đã được giải thích bằng lý thuyết do nhà địa vật lý kiêm thiên văn học Milankovitch xây dựng từ những năm 20 của thế kỷ 20 và được sử dụng rộng rãi trong nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu [30, 31]. Sự thay đổi trong quá trình hình thành trầm tích từ tiền Cambri đến nay có tính chu kỳ với độ dài từng loại chu kỳ thay đổi khá rộng và đã được áp dụng thành công ở nhiều vùng khác nhau trên thế giới [32, 33].

Các nghiên cứu cổ môi trường dựa trên dấu hiệu cấu tạo bề mặt lớp, đặc trưng trầm tích chi tiết, tổ hợp cộng sinh tương trầm tích sẽ cung cấp các thông tin chi tiết hơn về môi trường thành tạo [34]. Đối với môi trường trầm tích nằm trong phạm vi tương tác giữa lục địa và đại dương ở các châu thổ lớn hiện tại, các nghiên cứu theo hướng này có thể đạt độ phân giải cao hơn và có thể phân chia chi tiết đến các hợp phần khác nhau của môi trường thành tạo trầm

tích như môi trường cửa sông, đê cát ven biển, tiền châu thổ, đường bờ cổ [35-37]. Tuy nhiên, đối với môi trường địa chất có tuổi cổ, việc nghiên cứu tướng, tổ hợp tướng cùng với các đặc trưng trầm tích vẫn chưa đủ độ chi tiết như đối với các trầm tích trẻ [38].

Từ các đặc điểm độ hạt các nghiên cứu trầm tích có thể cho phép xác định xu hướng vận chuyển trầm tích, phân chia được các môi trường địa lý thành tạo như môi trường sông, biển, hồ, sa mạc [39, 40] hoặc cung cấp các thông tin chi tiết hơn về chế độ gió mùa trong quá trình trầm tích [41]. Nếu chỉ sử dụng các dấu hiệu đặc điểm trầm tích thì hầu như không thể cung cấp các thông tin về mức độ thay đổi các thông số của môi trường lắng đọng trầm tích mà chỉ vạch ra được sự phân bố của môi trường địa lý trong quá trình trầm tích mà thôi. Các thông tin về cổ môi trường ghi nhận được từ quá trình trầm tích thường có độ phân giải thấp không cho phép định lượng các thông số cũng như sự biến động các điều kiện tự nhiên của môi trường thành tạo trầm tích trong quá khứ địa chất.

Các đối tượng ghi nhận thông tin cổ môi trường

Không giống như việc dựa vào các di chỉ cổ sinh vật hay vi cổ sinh, môi trường thành tạo trầm tích được phản ánh và ghi nhận trong hầu hết tất cả các hợp phần trầm tích được hình thành trong môi trường đó. Trong hàng loạt các dấu hiệu môi trường ghi nhận trong trầm tích thì các đối tượng sau đây thường được sử dụng nhiều nhất: phân bố độ hạt, đặc điểm cấu tạo bề mặt lớp và cấu tạo trầm tích, định hướng hạt vụn, đặc điểm khoáng vật vụn và xi măng gắn kết, biến thiên bề dày trầm tích.

Độ hạt trầm tích: Trong số các đối tượng ghi nhận thông tin cổ môi trường trầm tích thì đặc điểm về sự phân bố độ hạt hay được sử dụng nhiều nhất vì mối quan hệ giữa động lực dòng chảy với kích thước hạt vụn mang bản chất vật lý chặt chẽ. Dựa vào sự phân bố độ hạt trầm tích Purkait and Majumdar, 2014 [42] đã xác định được đặc điểm của các khu vực khác nhau trong hệ trầm tích châu thổ. Liu và nnk

[43] cũng sử dụng sự phân bố độ hạt các trầm tích hoàng thổ ở Trung Quốc để xác định được môi trường sông và môi trường gió liên quan đến sự hình thành chúng.

Đặc tính phân lớp: cũng là một trong các dấu hiệu cho phép xác định một cách khái quát môi trường và một số đặc điểm của môi trường thành tạo trầm tích. Dựa vào các đặc điểm phân lớp xiên chéo của các trầm tích silic có nguồn gốc sinh học ở phía đông châu Nam cực xen trong các trầm tích dạng khối, Harris [44] đã chỉ ra sự thay đổi có tính nhịp của dòng chảy liên quan đến sự gia tăng độ mặn của môi trường nước biển trong Holocen. Yagishita [45] cũng sử dụng các thông tin về cấu tạo phân lớp xiên chéo do dòng triều tạo nên để xác định phạm vi mở rộng của môi trường biển trong quá trình hình thành các trầm tích Creta ở đông bắc Nhật Bản. Các thông tin cổ môi trường ghi nhận từ đặc tính phân lớp trầm tích cũng tương tự như các thông tin thu được từ nghiên cứu cổ sinh.

Định hướng của hạt vụn: Phương hướng của dòng chảy cổ trong quá khứ địa chất có thể thu được từ định hướng của các hạt cuội trong trầm tích cuội kết và đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu, đặc biệt đối với các trầm tích gắn kết [46].

Đặc điểm khoáng vật: Sun và nnk [47] đã sử dụng sự thay đổi thành phần hàm lượng khoáng vật kaolinite và illite lấy từ trầm tích hồ Kuhai ở cao nguyên Tây Tạng để chứng minh sự thay đổi khí hậu từ khô lạnh sang mưa nhiều trong Holocen. Việc sử dụng các khoáng vật nặng và mảnh vụn san hô cũng được sử dụng như dấu hiệu chỉ thị cho môi trường ven biển, đánh dấu đường bờ cổ [40, 48]. Sự phân bố của khoáng vật nặng trong trầm tích biển hiện đại được sử dụng để xem xét sự thay đổi khí hậu theo mùa và tác động của bão hiện đại [49].

Bề dày và sự biến đổi bề dày trầm tích: ít được sử dụng để nghiên cứu sự thay đổi môi trường trầm tích mà chủ yếu được sử dụng trong nghiên cứu ở quy mô vỏ trái đất, quy mô các bề trầm tích dầu khí và mối quan hệ với chuyển động kiến tạo để luận giải về sự biến đổi môi trường và nguồn cấp vật liệu trầm tích.

Ranh giới các bề mặt của hệ thống trầm tích: được sử dụng trong nghiên cứu địa tầng dãy hay địa tầng phân tập để nhận biết quá trình trầm tích dựa trên cơ sở tương tác giữa kiến tạo và biến đổi mực nước biển toàn cầu. Bản chất của cách tiếp cận này dựa trên việc xác định các kiểu bề mặt đóng vai trò phân chia ranh giới giữa các tập địa tầng. Các bề mặt này có thể quan sát trực tiếp hoặc nhận biết dựa vào các kiểu kết thúc của các pha sóng phản xạ. Các bề mặt địa tầng trong địa tầng dãy thể hiện sự gián đoạn trầm tích hoặc sự thay đổi xu thế trầm tích và là hệ quả của tương tác kiến tạo-mực nước biển chân tĩnh. Có 2 cách tiếp cận trong việc sử dụng địa tầng dãy để xác định các bề mặt ranh giới các tập địa tầng. Cách tiếp cận quy nạp sử dụng sự thay đổi có thể nhận biết trực tiếp được để xác định 5 kiểu bề mặt liên quan đến sự thăng giáng mực nước biển và sự di chuyển đường bờ. Trong khi đó cách tiếp cận diễn dịch xác định các bề mặt ranh giới các tập địa tầng dựa vào đường cong thay đổi mực cơ sở [50]. Trên cơ sở nghiên cứu quan hệ giữa các kiểu bề mặt ranh giới như vậy, có thể xác lập được sự thay đổi về môi trường trầm tích. Tuy nhiên, cách tiếp cận này cũng chỉ cung cấp được phạm vi không gian địa lý hình thành trầm tích chứ không cho biết đặc điểm hóa lý của môi trường trầm tích cũng như các thông số liên quan đến cổ khí hậu.

2.3. Nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu từ góc độ địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết

Sự thay đổi hàm lượng nguyên tố chính và nguyên tố vết trong trầm tích đã được sử dụng để luận giải về nguồn cấp vật liệu, đặc điểm của quá trình phong hóa, điều kiện oxy hóa khử, độ muối của môi trường trong quá khứ địa chất. Các nguyên tố chính thường được sử dụng trong nghiên cứu theo hướng này là các ôxyt và tỷ số ôxyt các nguyên tố: SiO_2/Al_2O_3 , K_2O/Na_2O , Al_2O_3/TiO_2 , CaO, MgO. Hàm lượng các oxit của nguyên tố chính phân tích từ mẫu trầm tích tính bằng mol được sử dụng để xác định chỉ số biến đổi hóa học (Chemical Index of Alteration) CIA [1], chỉ số phong hóa hóa học

CIW (Chemical Index of Weathering) [51] và chỉ số biến đổi của Plagioclas PIA (Plagioclase Index of Alteration) [52] chỉ dấu (proxy) biến đổi hóa học CPA (Chemical Proxy of Alteration) [53]. Các chỉ số nêu trên được tính như sau:

$$CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) \times 100$$

$$CIW = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O) \times 100$$

$$PIA = [(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O - K_2O)] \times 100$$

$$CPA = 100 \times Al_2O_3 / (Al_2O_3 + Na_2O)$$

Giá trị của các chỉ số nêu trên càng cao thì quá trình phong hóa hóa học diễn ra càng triệt để. Chỉ số CIW cũng được sử dụng để ước lượng lượng mưa trung bình năm MPA trong thời gian hình thành trầm tích theo công thức: $MAP = 221e^{0.0197 \times CIW}$ [54].

Trong những năm gần đây, nghiên cứu cổ khí hậu thường tập trung vào xác định nồng độ CO_2 trong quá khứ bằng cách sử dụng các chỉ dấu B/Ca, U/Ca trong trầm tích carbonat hóa học, tỷ số Sr/Ca, Mg/Ca, Sr/Ca, Na/Ca, Ba/Ca trong carbonat sinh học hoặc vi cổ sinh để xác định đặc trưng pH, HCO_3^- và CO_3^{2-} , nhiệt độ, độ muối của nước biển trong quá khứ địa chất [55, 56].

Các nguyên tố vết và nguyên tố hiếm thường được sử dụng trong nghiên cứu cổ môi trường, cổ địa lý dưới dạng tỷ số của chúng như La/Sc, Th/Sc, Cr/Th, Zr/Sc, (Gd/Yb), N [57, 58]. Sự phân dị các nguyên tố vết và nguyên tố hiếm bị chi phối bởi điều kiện hóa lý của môi trường, do đó nó mang tính quan hệ nhân quả. Ví dụ như tỷ số U/Th, V/Sr, V/Cr, Ni/Co, V/(V + Ni) nhạy cảm với điều kiện oxy hóa khử của môi trường nên thường được sử dụng phối hợp với các chỉ số khác để xác định điều kiện oxy hóa hay khử [59]. Việc sử dụng các nguyên tố vết và nhóm nguyên tố hiếm trong nghiên cứu cổ môi trường đã được áp dụng thành công trong nhiều trường hợp khác nhau, từ các thành tạo trầm tích Holocen [60] đến Cambri [61] thậm chí đến tận Meso-Proterozoi [62]. Phạm vi và khả năng áp dụng cách tiếp cận này rất rộng, thời gian từ rất cổ đến rất trẻ. Đối tượng trầm tích cũng rất phong phú, từ các trầm tích

hạt mịn, trầm tích carbonat, trầm tích chứa than, dầu khí đến trầm tích nguồn gốc sinh vật. Tuy nhiên, kết quả thu được từ cách tiếp cận này cũng mới tập trung nhiều vào việc làm rõ điều kiện oxy hóa hay khử của môi trường trầm tích trong quá khứ địa chất và nguồn gốc vật liệu trầm tích mà ít có các thông tin chi tiết khác.

2.4. Nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu từ góc độ địa hóa đồng vị bền

Trong số 258 đồng vị bền của các nguyên tố hóa học trong tự nhiên thì các đồng vị bền của các nguyên tố có số khối từ 1 đến 20 tương ứng với các nguyên tố từ H đến Ca là các nguyên tố chính tạo khí quyển, thủy quyển, lớp trầm tích và sinh quyển. Các nguyên tố đó tạo thành các hợp chất hữu cơ, hoặc khoáng vật. So với các khoáng vật có nguồn gốc vô cơ, các khoáng vật có nguồn gốc sinh học hoặc các hợp chất hữu cơ nhạy cảm hơn nhiều đối với biến động của môi trường sống, đặc biệt là môi trường nước và môi trường không khí cũng như sự tương tác giữa 2 môi trường đó. Các nguyên tố C, H, O, N, S, Ca, B... là các nguyên tố được sử dụng nhiều nhất để nghiên cứu về sự biến đổi môi trường và cổ khí hậu. Ngoài ra chúng còn được sử dụng nhiều trong nghiên cứu sinh học, thạch học, kiến tạo, địa hóa, khảo cổ, thực phẩm, nông nghiệp, hình sự. Đồng vị hydro (D/H), đồng vị oxy ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$), xuất hiện trong chu trình nước toàn cầu, bị phân ly bởi nhiều quá trình vật lý, hóa học, sinh hóa khác nhau như sự thay đổi về nhiệt độ, lượng CO_2 trong khí quyển, lượng mưa, độ bốc hơi, độ muối, quá trình đồng hóa và dị hóa... trong các hệ thống 2 hoặc đa hợp phần như: nước-khí; nước-chất rắn; nước-chất lỏng (dầu) hoặc tổ hợp rắn-lỏng khí-sinh vật. Đồng vị Canxi ($^{44}\text{Ca}/^{40}\text{Ca}$) chủ yếu bị phân ly bởi quá trình chuyển từ môi trường nước lục địa sang môi trường nước biển để tạo thành các khoáng vật carbonat nguồn gốc sinh học. Sự phân ly của đồng vị Carbon ($^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$), Nitơ ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$), lưu huỳnh ($^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$), Bo ($^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$) liên quan nhiều đến hoạt động sống và xảy ra chủ yếu trong môi trường bề mặt trái đất. Khi các hợp chất hữu cơ hoặc các khoáng vật chuyển từ môi trường này sang môi trường khác, hoặc

môi trường đang tồn tại bị thay đổi thì tỷ lệ đồng vị bền ghi nhận lại trong các hợp chất đó sẽ thay đổi tương ứng. Xác định được các tỷ số đồng vị đó sẽ cho phép xây dựng lại được đặc điểm của môi trường địa chất hoặc điều kiện cổ khí hậu trong quá khứ như nhiệt độ, lượng khí CO_2 , sự phong phú của vật liệu hữu cơ. Về mặt kỹ thuật, do tỷ số tuyệt đối các đồng vị bền biến thiên rất rộng nên để dễ so sánh, các tỷ số đo được trong mẫu nghiên cứu thường được chuẩn hóa với một giá trị đã biết được quy chuẩn về giá trị 0. Các đối tượng ghi nhận sự biến đổi đồng vị bền được sử dụng nhiều nhất là các loại di chỉ sinh vật có vỏ carbonat, thực vật thân gỗ, kezogen, khoáng vật sét.

3. Các kết quả nghiên cứu về cổ môi trường và cổ khí hậu ở Việt Nam

Nghiên cứu cổ môi trường ở Việt Nam hiện nay chủ yếu dựa trên nghiên cứu tài liệu cổ sinh, trầm tích, địa mạo. Từ các khảo sát đo vẽ bản đồ địa chất tỷ lệ 1:1.000.000, 1:500.000, 1:200.000 và 1:50.000 phần đất liền, việc luận giải cổ môi trường trong từng thời kỳ địa chất từ Cambri đến nay ở phần đất liền lãnh thổ Việt Nam dựa trên các phát hiện hóa thạch, cấu trúc trầm tích, đặc điểm thạch học trầm tích [63, 64]. Đối với các thành tạo trầm tích Cenozoi trên thềm lục địa Việt Nam, nghiên cứu cổ môi trường hiện đang được áp dụng mạnh trong lĩnh vực dầu khí phục vụ công tác đánh giá các hệ thống dầu khí và tìm kiếm bẫy trong thăm dò dầu khí. Luận giải điều kiện cổ môi trường trong nghiên cứu dầu khí dựa trên kết quả phân tích địa chấn địa tầng, địa tầng phân tập, đặc trưng trường sóng địa chấn, phân tích môi trường từ tài liệu địa vật lý giếng khoan, phân tích môi trường từ kết quả phân tích thạch học trầm tích, khoáng vật sét, phân tích địa hóa dầu khí hoặc đặc điểm vi cổ sinh, bào tử phấn hoa, foraminifera, ... [65].

Ở Việt Nam, nghiên cứu biến đổi cổ môi trường trong giai đoạn Đệ tứ đang được quan tâm đầy mạnh, đặc biệt trong trầm tích Pleistocen muộn– Holocen ở hai đồng bằng lớn

là đồng bằng Sông Hồng và đồng bằng sông Cửu Long để phục vụ quy hoạch phát triển bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu. Các nghiên cứu cổ môi trường theo hướng này vẫn chủ yếu tiếp cận theo hướng nghiên cứu trầm tích, địa mạo [29, 66-77] hoặc sử dụng khuê tạo kết hợp với bào tử phấn hoa để nghiên cứu sự biến động môi trường trầm tích Holocen ở vùng ven biển sông Tiền [29] và đồng bằng Sông Hồng [78]. Dựa trên nghiên cứu sự biến đổi các phức hệ bào tử phấn hoa trong lỗ khoan ở đồng bằng Sông Hồng, Dương và cộng sự [79] đã chỉ ra trong giai đoạn 10.000 năm trở lại đây, khí hậu có sự đan xen giữa nóng ẩm - khô lạnh - nóng ẩm mưa nhiều.

Hướng sử dụng đồng vị bền trong nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu vốn đã phát triển mạnh trên thế giới cũng đã được áp dụng ở Việt Nam trong những năm gần đây. Tue và nnk [80, 81] đã sử dụng đồng vị Carbon và tỷ số C/N để nghiên cứu xu hướng biến đổi hệ sinh thái rừng ngập mặn ở Việt Nam. Ngoài ra, một số cơ quan ở Việt Nam cũng đã ứng dụng đồng vị bền trong nghiên cứu nước ngầm. Tuy nhiên, các nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu từ góc độ đồng vị bền ở Việt Nam vẫn còn rất ít công bố.

4. Kết luận

Để nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu có thể tiếp cận từ bốn cách khác nhau: 1) sử dụng các dấu vết cổ sinh, vi cổ sinh, 2) sử dụng các dấu hiệu trầm tích, 3) sử dụng địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết, 4) sử dụng đồng vị bền. Cách tiếp cận từ trầm tích và địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết có khả năng sử dụng rộng rãi cho nhiều đối tượng trầm tích. Tiếp cận từ góc độ cổ sinh và vi cổ sinh bị hạn chế bởi sự có mặt hay vắng mặt của các di tích sinh vật trong trầm tích nên việc sử dụng bị hạn chế hơn. Việc sử dụng đồng vị bền để nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu là hướng mới đang phát triển mạnh, có khả năng áp dụng với nhiều loại đối tượng, từ các di tích

sinh vật đến các khoáng vật cô cơ nhạy cảm với sự biến đổi môi trường.

Các thông tin cổ môi trường và cổ khí hậu thu được từ bốn cách tiếp cận nêu trên không giống nhau về loại hình thông tin và mức độ chi tiết. Các thông tin về điều kiện sống của cổ sinh và vi cổ sinh chỉ có thể cung cấp ở mức khái quát nhất về điều kiện cổ địa lý như môi trường lục địa, biển nông, biển sâu, thềm lục địa mà ít cung cấp các thông tin chi tiết hơn về các đặc điểm cổ môi trường. Trong một số trường hợp thuận lợi, các phức hệ bào tử phấn hoa có thể cung cấp thông tin về các đặc điểm cổ khí hậu một cách khái quát. Các đặc trưng trầm tích có khả năng cung cấp các thông tin cổ môi trường và cổ địa lý chi tiết hơn các thông tin thu được từ cổ sinh. Bên cạnh các thông tin về môi trường lục địa hay biển, trầm tích còn có thể cung cấp một số thông số về cổ môi trường như chế độ dòng chảy, phương hướng dòng chảy cổ, xu hướng thay đổi môi trường trầm tích liên quan đến dao động mực nước biển toàn cầu. Không giống như hai cách tiếp cận trước, cách tiếp cận sử dụng thành phần hóa học các nguyên tố chính và nguyên tố vết lại cung cấp những thông tin khác nhau liên quan đến chế độ oxy hóa hay khử, điều kiện khí hậu khô nóng hay ẩm ướt, mức độ mưa ít hay nhiều, đặc điểm của vùng cung cấp vật liệu trầm tích gần hay xa. Cách tiếp cận đồng vị bền là cách tiếp cận định lượng nhất trong bốn cách tiếp cận nêu trên. Các thông tin thu được từ cách tiếp cận này chủ yếu dựa vào đồng vị oxy và carbon để xây dựng lại lịch sử thay đổi nhiệt độ của môi trường nước và khí quyển địa cầu.

Mức độ định lượng của các thông tin thu được tăng dần từ cách tiếp cận sử dụng cổ sinh vi cổ sinh, trầm tích, đến địa hóa nguyên tố chính và nguyên tố vết và cao nhất là cách tiếp cận sử dụng đồng vị bền.

Không có cách tiếp cận duy nhất nào tối ưu cho nghiên cứu cổ môi trường và cổ khí hậu trong quá khứ địa chất, vì vậy để có được thông tin chính xác, chi tiết và định lượng nhất thiết phải sử dụng tổ hợp đồng bộ cả bốn cách tiếp cận nêu trên.

Ở Việt Nam, các nghiên cứu cổ môi trường, cổ khí hậu chi tiết dựa trên cách tiếp cận đồng bộ còn rất hạn chế và cần đẩy mạnh hơn nữa hướng nghiên cứu này.

Lời cảm ơn

Bài báo được hoàn thành trong khuôn khổ của đề tài cấp Đại học Quốc gia Hà Nội mã số QG14/08. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nesbitt, H.W. and G.M. Young, Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982. 299: p. 715-717.
- [2] Zhang, J., T. Fan, T.J. Algeo, Y. Li, and J. Zhang, Paleo-marine environments of the Early Cambrian Yangtze Platform. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2016. 443: p. 66-79.
- [3] Amekawa, S., K. Kubota, Y. Miyairi, A. Seki, Y. Kawakubo, S. Sakai, P. Ajithprasad, H. Maemoku, T. Osada, and Y. Yokoyama, Fossil otoliths, from the Gulf of Kutch, Western India, as a paleo-archive for the mid- to late-Holocene environment. *Quaternary International*, 2016. 397: p. 281-288.
- [4] Wang, X., Z. Li, L. Xing, M. Zhang, Y. Liu, C. Cao, and L. Li, Development of a new method for hydrogen isotope analysis of trace hydrocarbons in natural gas samples. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 2016. 1(6): p. 481-487.
- [5] Lou, Y.-x., X.-s. Fu, X. Yu, Z.-h. Ye, H.-f. Cui, and Y.-f. Zhang, Stable Isotope Ratio and Elemental Profile Combined with Support Vector Machine for Provenance Discrimination of Oolong Tea (Wuyi-Rock Tea). Vol. 2017. 2017. 1-8.
- [6] Camin, F., M. Boner, L. Bontempo, C. Fauhl-Hassek, S.D. Kelly, J. Riedl, and A. Rossmann, Stable isotope techniques for verifying the declared geographical origin of food in legal cases. *Trends in Food Science & Technology*, 2017. 61: p. 176-187.
- [7] Hamre, S.S. and V. Daux, Stable oxygen isotope evidence for mobility in medieval and post-medieval Trondheim, Norway. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2016. 8: p. 416-425.
- [8] Zeng, Y., Z. Lai, W. Yang, and H. Li, Stable isotopes reveal food web reliance on different carbon sources in a subtropical watershed in South China. *Limnologica*, 2018. 69: p. 39-45.
- [9] Egbobawaye, E.I., Isotopes (13C and 18O) geochemistry of Lower Triassic Montney formation, Northeastern British Columbia, western Canada. *Nature Science*, 2017. 9(10): p. 355-376.
- [10] Contreras, D.A., A. Bondeau, J. Guiot, A. Kirman, E. Hiriart, L. Bernard, R. Suarez, and M. Fader, From paleoclimate variables to prehistoric agriculture: Using a process-based agroecosystem model to simulate the impacts of Holocene climate change on potential agricultural productivity in Provence, France. *Quaternary International*, 2018.
- [11] Li, Y., Y. Liu, W. Ye, L. Xu, G. Zhu, X. Zhang, and C. Zhang, A new assessment of modern climate change, China—An approach based on paleo-climate. *Earth-Science Reviews*, 2018. 177: p. 458-477.
- [12] Anderson, T.R., E. Hawkins, and P.D. Jones, CO₂, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Endeavour*, 2016. 40(3): p. 178-187.
- [13] Gonez, P., H. Nguyễn Hữu, P. Ta Hoa, G. Clément, and P. Janvier, The oldest flora of the South China Block, and the stratigraphic bearings of the plant remains from the Ngoc Vung Series, northern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2012. 43(1): p. 51-63.
- [14] Thanh, T.-D. and P. Janvier, Early Devonian fishes from trang Xa (Bac Thai, Vietnam), with remarks on the distribution of the vertebrates in the Song Cau Group. *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, 1994. 10(3): p. 235-243.
- [15] Janvier, P., P. Racheboeuf, H. Nguyen Huu, and T. Doan Nhat, Devonian fish (Placodermi, Antiarcha) from Tra Ban Island (Bai Tu Long Bay, Quang Ninh Province, Vietnam) and the question of the age of the Dô Son Formation. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2003. 21(7): p. 795-801.
- [16] Janvier, P., T.D. Thanh, and P. Gerrienne, Les Placodermes, Arthropodes et Lycophytes des grès dévoniens de Do Son (Hai Phong, Viet Nam). *Geobios*, 1989. 22(5): p. 625-639.

- [17] Chernykh, V.V., Paradoxes of stratigraphy. Russian Geology and Geophysics, 2015. 56(4): p. 532-540.
- [18] Ogg, J.G., Integrated global stratigraphy and geologic timescales, with some future directions for stratigraphy in China. Earth-Science Reviews, 2018.
- [19] Pigati, J.S., I.M. Miller, K.R. Johnson, J.S. Honke, P.E. Carrara, D.R. Muhs, G. Skipp, and B. Bryant, Geologic setting and stratigraphy of the Ziegler Reservoir fossil site, Snowmass Village, Colorado. Quaternary Research, 2014. 82(3): p. 477-489.
- [20] Botquelen, A., A. Loi, R. Gourvenec, F. Leone, and M.-P. Dabard, Formation et signification paléo-environnementale des concentrations coquillières : exemples de l'Ordovicien de Sardaigne et du Dévonien du Massif armoricain. Comptes Rendus Palevol, 2004. 3(5): p. 353-360.
- [21] Armynot du Châtelet, É., J.-P. Debenay, D. Degré, and P.-G. Sauriau, Utilisation des foraminifères benthiques comme indicateurs de paléo-niveaux marins ? Étude du cas de l'anse de l'Aiguillon. Comptes Rendus Palevol, 2005. 4(1): p. 209-223.
- [22] Gayet, M., T. Sempre, H. Cappetta, E. Jaillard, and A. Lévy, La présence de fossiles marins dans le Crétacé terminal des Andes centrales et ses conséquences paléogéographiques. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1993. 102(3): p. 283-319.
- [23] Wickens, G.E., Quaternary plant fossils from the Jebel Marra volcanic complex and their palaeoclimatic interpretation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 1975. 17(2): p. 109-122.
- [24] Moutinho, L.P., S. Nascimento, A.K. Scomazzon, and V.B. Lemos, Trilobites, scolecodonts and fish remains occurrence and the depositional paleoenvironment of the upper Monte Alegre and lower Itaituba formations, Lower – Middle Pennsylvanian of the Amazonas Basin, Brazil. Journal of South American Earth Sciences, 2016. 72: p. 76-94.
- [25] Vũ Khúc, Địa tầng các trầm tích Jura biển ở Nam Việt Nam dưới ánh sáng các tài liệu mới (Stratigraphy of Jurassic sediments in South Việt Nam in the light of new data). . TC Khoa học Trái đất, 1993. 15/2: p. 56-64.
- [26] Olóriz, F., M. Reolid, and F.J. Rodríguez-Tovar, Taphonomy of fossil macro-invertebrate assemblages as a tool for ecostratigraphic interpretation in Upper Jurassic shelf deposits (Prebetic Zone, southern Spain). Geobios, 2008. 41(1): p. 31-42.
- [27] Sergeev, V.N., The distribution of microfossil assemblages in Proterozoic rocks. Precambrian Research, 2009. 173(1): p. 212-222.
- [28] Rubinstein, C.V., M. Vecoli, and R.A. Astini, Biostratigraphy and paleoenvironmental characterization of the Middle Ordovician from the Sierras Subandinas (NW Argentina) based on organic-walled microfossils and sequence stratigraphy. Journal of South American Earth Sciences, 2011. 31(1): p. 124-138.
- [29] Cúc, N.T.T., Địa tầng và môi trường trầm tích Holocen vùng ven biển sông Tiền, LA TS. Địa chất. 2014, Trường Đại học khoa học Tự nhiên. p. 241.
- [30] Schwarzscher, W., ed. Chapter 12 Cyclostratigraphy and Milankovitch Cycles In Cyclostratigraphy and the Milankovitch Theory. Developments in Sedimentology, ed. W. Schwarzscher. Vol. 52. 1993, Elsevier. 197-207.
- [31] [31]Lobo, F.J. and D. Ridente, Stratigraphic architecture and spatio-temporal variability of high-frequency (Milankovitch) depositional cycles on modern continental margins: An overview. Marine Geology, 2014. 352: p. 215-247.
- [32] Fang, Q., H. Wu, L.A. Hinnov, W. Tian, X. Wang, T. Yang, H. Li, and S. Zhang, Abiotic and biotic responses to Milankovitch-forced megamonsoon and glacial cycles recorded in South China at the end of the Late Paleozoic Ice Age. Global and Planetary Change, 2018. 163: p. 97-108.
- [33] Mingxiang, M. and M.E. Tucker, Milankovitch-driven cycles in the Precambrian of China: The Wumishan Formation. Journal of Palaeogeography, 2013. 2(4): p. 369-389.
- [34] El-Yamani, M., M.S. Mahmoud, K. Al-Ramadan, A. Munnecke, D. Cantrell, W. Abdulghani, and L. Reuß, Microfacies, depositional environments and meter-scale cycles of the middle Jurassic Tuwaiq Mountain Formation, Central Saudi Arabia. Journal of African Earth Sciences, 2018.
- [35] Truong, M.H., V.L. Nguyen, T.K.O. Ta, and J. Takemura, Changes in late Pleistocene–Holocene sedimentary facies of the Mekong River Delta and the influence of sedimentary environment on geotechnical engineering properties. Engineering Geology, 2011. 122(3): p. 146-159.
- [36] Nghi, T., M.T. Tân, D.Đ. Lâm, Đ.X. Thành, and H.V. Thúc, iến hoá trầm tích và cổ địa lý giai đoạn Pliocen - Đệ tứ lãnh thổ và lãnh hải Việt

- Nam. . Tạp chí Địa chất, loạt A, phụ trương. , 2000.
- [37] Nghi, T., N. Biều, and B.C. Quế, Quy luật phân bố sa khoáng biển trong trầm tích Đệ tứ ở Việt Nam. Địa chất, 1996. 237 p. 19 - 24.
- [38] Lu, F., X. Tan, T. Ma, L. Li, A. Zhao, C. Su, J. Wu, and H. Hong, The sedimentary facies characteristics and lithofacies palaeogeography during Middle-Late Cambrian, Sichuan Basin and adjacent area. Petroleum, 2017. 3(2): p. 212-231.
- [39] Balsinha, M., C. Fernandes, A. Oliveira, A. Rodrigues, and R. Taborda, Sediment transport patterns on the Estremadura Spur continental shelf: Insights from grain-size trend analysis. Journal of Sea Research, 2014. 93: p. 28-32.
- [40] Nghi, T., Địa chất trầm tích Việt nam. 2017: Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội. 509.
- [41] Tu, L., X. Zhou, W. Cheng, X. Liu, W. Yang, and Y. Wang, Holocene East Asian winter monsoon changes reconstructed by sensitive grain size of sediments from Chinese coastal seas: A review. Quaternary International, 2017. 440: p. 82-90.
- [42] Purkait, B. and D.D. Majumdar, Distinguishing different sedimentary facies in a deltaic system. Sedimentary Geology, 2014. 308: p. 53-62.
- [43] Liu, X., Y. Sun, J. Vandenberghe, Y. Li, and Z. An, Palaeoenvironmental implication of grain-size compositions of terrace deposits on the western Chinese Loess Plateau. Aeolian Research, 2018. 32: p. 202-209.
- [44] Harris, P.T., Ripple cross-laminated sediments on the East Antarctic Shelf: evidence for episodic bottom water production during the Holocene? Marine Geology, 2000. 170(3): p. 317-330.
- [45] Yagishita, K., Planar cross-bedding associated with rip currents of Upper Cretaceous formations, northeast Japan. Sedimentary Geology, 1994. 93(3): p. 155-163.
- [46] Yagishita, K., Paleocurrent and fabric analyses of fluvial conglomerates of the Paleogene Noda Group, northeast Japan. Sedimentary Geology, 1997. 109(1): p. 53-71.
- [47] Sun, Q., C. Colin, Z. Liu, S. Mischke, S. Duchamp-Alphonse, C. Zhang, and F. Chen, Climate changes of the northeastern Tibetan Plateau since the late glaciation inferred from clay mineralogy of sediments in Kuhai Lake. Quaternary International, 2017. 440: p. 24-34.
- [48] Biều, N., Những kết quả mới trong điều tra địa chất và khoáng sản biển nông ven bờ và thành tạo Pliocen-Đệ tứ thềm lục địa Việt nam. Địa chất và Khoáng sản. Viện NCĐC-KS, 2005. 9: p. 52-64.
- [49] Li, Y., Y. Lin, and L. Wang, Distribution of heavy metals in seafloor sediments on the East China Sea inner shelf: Seasonal variations and typhoon impact. Marine Pollution Bulletin, 2018. 129(2): p. 534-544.
- [50] Embry, A.F. and E.P. Johannessen, Chapter Three - Two Approaches to Sequence Stratigraphy, in Stratigraphy & Timescales, M. Montenari, Editor. 2017, Academic Press. p. 85-118.
- [51] Harnois, L., The C.I.W. index: a new chemical index of weathering. Sedimentary Geology, 1988. 55: p. 319-322.
- [52] Fedo, C.M., H.W. Nesbitt, and G.M. Young, Unraveling the effect of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering conditions and provenance. Geology 1995. 23 p. 921-924.
- [53] Buggle, B., B. Glaser, U. Hambach, N. Gerasimenko, and S. Markovic, An evaluation of geochemical weather indices in loess-paleosol studies. . Quaternary International 2011. 240, : p. 12-21.
- [54] Sheldon, N.D., Gregory J. Retallack, and Satoshi Tanaka, Geochemical Climofunctions from North American Soils and Application to Paleosols across the Eocene-Oligocene Boundary in Oregon. The Journal of Geology, 2002. 110(6): p. 687-696.
- [55] Keul, N., G. Langer, S. Thoms, L.J. de Nooijer, G.-J. Reichart, and J. Bijma, Exploring foraminiferal Sr/Ca as a new carbonate system proxy. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2017. 202: p. 374-386.
- [56] Gussone, N., H.L. Filipsson, and H. Kuhnert, Mg/Ca, Sr/Ca and Ca isotope ratios in benthonic foraminifers related to test structure, mineralogy and environmental controls. Geochimica et Cosmochimica Acta, 2016. 173: p. 142-159.
- [57] Rashid, S.A. and J.A. Ganai, Depositional environments, provenance and paleoclimatic implications of Ordovician siliciclastic rocks of the Thango Formation, Spiti Valley, Tethys Himalaya, northern India. Journal of Asian Earth Sciences, 2018. 157: p. 371-386.
- [58] Kaifeng, Y., F. Lehmkuhl, B. Diekmann, V. Nottebaum, and G. Stauch, Major and trace elements documented paleoenvironmental and provenance signatures as inferred from the lacustrine sequence of Orog Nuur, southern Mongolia. Geophysical Research Abstracts, 2016. Vol. 18, (EGU2016-1896): p. 1896.
- [59] Wang, S., D. Dong, Y. Wang, X. Li, J. Huang, and Q. Guan, Sedimentary geochemical proxies

- for paleoenvironment interpretation of organic-rich shale: A case study of the Lower Silurian Longmaxi Formation, Southern Sichuan Basin, China. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2016. 28: p. 691-699.
- [60] Xu, F., B. Hu, Y. Dou, X. Liu, S. Wan, Z. Xu, X. Tian, Z. Liu, X. Yin, and A. Li, Sediment provenance and paleoenvironmental changes in the northwestern shelf mud area of the South China Sea since the mid-Holocene. *Continental Shelf Research*, 2017. 144: p. 21-30.
- [61] Li, J., S. Tang, S. Zhang, Z. Xi, N. Yang, G. Yang, L. Li, and Y. Li, Paleo-environmental conditions of the Early Cambrian Niutitang Formation in the Fenggang area, the southwestern margin of the Yangtze Platform, southern China: Evidence from major elements, trace elements and other proxies. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2018. 159: p. 81-97.
- [62] Delpomdor, F., C. Blanpied, A. Virgone, and A. Pr  at, Paleoenvironments in Meso–Neoproterozoic carbonates of the Mbuji-Mayi Supergroup (Democratic Republic of Congo) – Microfacies analysis combined with C–O–Sr isotopes, major-trace elements and REE+Y distributions. *Journal of African Earth Sciences*, 2013. 88: p. 72-100.
- [63] Thanh, T.D., V. Kh  c, Đ.T. H  y  n, Đ.N. Tr  ng, Đ. B  t, N.Đ. D  y, N.H. H  ng, P.H. Th  ng, P.K. Ng  n, T.H. Ph  ng, T.H. D  n, T.T. Th  ng, T.V. Tr  , and T.V. Long, *C  c ph  n v   địa tầng Việt Nam*. 2005: Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội. 504.
- [64] Tr  , T.V., ed. *Địa chất và tài nguyên Việt Nam* 1st ed. 2009, Nxb Khoa học và Công nghệ. 645.
- [65] Y  n, C.Đ.H., N.T.T. Hi  n, and N.T. Th  m, Sử dụng các thông số trong phân tích foraminifera để đánh giá sự thay đổi của tổ hợp hóa thạch và xác định môi trường gi  ng khoan b   Nam Côn Sơn. *Tạp chí dầu khí số 2007*. 4.
- [66] Hanebuth, T.J.J., U. Proske, Y. Saito, V.L. Nguyen, and T.K.O. Ta, Early growth stage of a large delta — Transformation from estuarine-platform to deltaic-progradational conditions (the northeastern Mekong River Delta, Vietnam). *Sedimentary Geology*, 2012. 261-262: p. 108-119.
- [67] Lap, N.V., T.T.K. Oanh, and T. Masaaki, Late Holocene depositional environments and coastal evolution of the Mekong River Delta, Southern Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2000. 18(4): p. 427-439.
- [68] Ta, T.K.O., V.L. Nguyen, M. Tateishi, I. Kobayashi, Y. Saito, and T. Nakamura, Sediment facies and Late Holocene progradation of the Mekong River Delta in Bentre Province, southern Vietnam: an example of evolution from a tide-dominated to a tide- and wave-dominated delta. *Sedimentary Geology*, 2002. 152(3): p. 313-325.
- [69] Trang, N.T.H., T. Nghi, and Đ.X. Thành, Đặc điểm tướng trầm tích Pleistocen muộn - Holocen đ  i bờ châu thổ sông Mê Công. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, 2016. Tập 32(2S): p. 69-80.
- [70] L  m, D.Đ., Tiến hóa Trầm tích Holocen châu thổ Sông Hồng. *Tạp chí địa chất*, 2005. Số A288.
- [71] Tanabe, S., Y. Saito, Q. Lan Vu, T.J.J. Hanebuth, Q. Lan Ngo, and A. Kitamura, Holocene evolution of the Song Hong (Red River) delta system, northern Vietnam. *Sedimentary Geology*, 2006. 187(1): p. 29-61.
- [72] Funabiki, A., S. Haruyama, N.V. Quy, P.V. Hai, and D.H. Thai, Holocene delta plain development in the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2007. 30(3): p. 518-529.
- [73] Tanabe, S., K. Hori, Y. Saito, S. Haruyama, L.Q. Doanh, Y. Sato, and S. Hiraide, Sedimentary facies and radiocarbon dates of the Nam Dinh-1 core from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2003. 21(5): p. 503-513.
- [74] Li, Z., Y. Saito, M. Eiji, Y. Wang, T. Susumu, and L.V. Quang, Climate change and human impact on the Song Hong (Red River) Delta, Vietnam, during the Holocene. *Quaternary International*, 2006. 144(1): p. 4-28.
- [75] Hori, K., S. Tanabe, Y. Saito, S. Haruyama, V. Nguyen, and A. Kitamura, Delta initiation and Holocene sea-level change: example from the Song Hong (Red River) delta, Vietnam. *Sedimentary Geology*, 2004. 164(3): p. 237-249.
- [76] Tanabe, S., K. Hori, Y. Saito, S. Haruyama, V.P. Vu, and A. Kitamura, Song Hong (Red River) delta evolution related to millennium-scale Holocene sea-level changes. *Quaternary Science Reviews*, 2003. 22(21): p. 2345-2361.
- [77] Nghi, T., Đ.X. Thành, N.Đ. Nguyễn, and Đ.M. Tiến, *Địa chất Pliocen-Đệ tứ vùng biển Việt Nam và kế cận*. 2015: Nxb Đại học Quốc gia Hà Nội. 506.
- [78] Dương, N.T. and Đ.V. Thuận, Ý nghĩa của phương pháp phân tích bào tử, phấn hoa trong nghiên cứu môi trường trầm tích Holocen vùng đồng bằng Sông Hồng. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, 2016. 32(2S): p. 249-257.

- [79] Dương, N.T. and N.M. Linh, Kết quả phân tích bào tử phấn hoa trong hai lỗ khoan vùng Hà Nội và mối liên hệ với biến đổi khí hậu và hệ thực vật trong Holocene. Tạp chí Các Khoa học về Trái đất, 2011. 33(3): p. 297-305.
- [80] Tue, N.T., P.T. Nguyen, D.M. Quan, L.V. Dung, T.D. Quy, M.T. Nhuan, and N.D. Thai, Sedimentary composition and organic carbon sources in mangrove forests along the coast of northeast Vietnam. Regional Studies in Marine Science, 2018. 17: p. 87-94.
- [81] Tue, N.T., N.T. Ngoc, T.D. Quy, H. Hamaoka, M.T. Nhuan, and K. Omori, A cross-system analysis of sedimentary organic carbon in the mangrove ecosystems of Xuan Thuy National Park, Vietnam. Journal of Sea Research, 2012. 67(1): p. 69-76.

Review on the Different Approaches to Paleo-environment and Paleo-climate Research

Nguyen Van Vuong, Luong Thi Thu Hoai, Nguyen Dinh Nguyen,
Pham Nguyen Ha Vu, Nguyen The Hung, Vu Thi Huong

Faculty of Geology, VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Hanoi, Vietnam

Abstract: This paper aim to review currently four main approaches to paleoenvironment and paleoclimate research including: 1) paleontology, 2) sedimentology, 3) major and trace element geochemistry, 4) stable isotopes. Sedimentary and geochemical proxies are widely used for many different sedimentary environments and ages. Paleontological proxies have limitation due to the poor preservation of fossil. The use of stable isotopes proxy to study paleo-environment and paleoclimate is new trend that can be applied to wide variety of subjects, from organisms to minerals sensitive to environmental change.

The environmental and paleoclimate information obtained from the above four approaches is not the same in terms of information type and level of detail. Paleontology only provides general information on the geographical conditions such as the continental environment, shallow seas, deep seas and continental shelves without detail on the environmental characteristics. Sedimentary records are likely to provide more detail on environmental and geographical information than paleontology proxies. The geochemical proxies provide information related to redox, humid or arid condition, high or less precipitation. Stable isotope provides the most quantitative approach compared to the others. The information obtained from this approach is based primarily on oxygen and carbon isotopes to reconstruct the history of temperature changes in the ocean and atmospheric environment.

The quantitative level of the information obtained is gradually increased from the palaeontological, sedimentary, geochemical to stable isotope proxy.

There is no unique optimal approach to paleo-environmental and paleo-climate research, therefore, in order to get detailed and quantifiable information it is required to apply synchronously all four approaches mentioned above.

Keywords: Paleo-environment, paleoclimate, proxy.