CÁC CHU KỲ THẠCH - KIẾN TẠO VÀ Ý NGHĨA DẦU KHÍ CỦA TRẦM TÍCH MIOCEN BỂ PHÚ KHÁNH

TRẦN THỊ DUNG[1], TRẦN NGHI[2], NGUYỄN THỊ PHƯƠNG THẢO[1], ĐINH XUÂN THÀNH[1],
TRẦN THỊ THANH NHÀN[1], NGUYỄN THẾ HÙNG[1], LƯƠNG HỒNG HƯỢC[2],
NGUYỄN THỊ HUYỀN TRANG[1]

[1] *Trường Đại học Khoa học Tự nhiên*

[2] *Viện Nghiên cứu Địa môi trường và Thích ứng biến đổi khí hậu*

Tác giả liên hệ: trandung251112@gmail.com

Tóm tắt: *Tích hợp mối quan hệ giữa đặc điểm trầm tích và chuyển động kiến tạo có thể chia trầm tích Miocen bể Phú Khánh làm 3 chu kỳ thạch kiến tạo: chu kỳ Miocen sớm, chu kỳ Miocen giữa và chu kỳ Miocen muộn. Đây là mối quan hệ biện chứng có tính nhân-quả và tính hàm-biến. Trong đó, nguyên nhân là chuyển động kiến tạo còn kết quả là đặc điểm trầm tích. Nếu theo toán học thì trầm tích là hàm số còn chuyển động kiến tạo là biến số: TT = f (KT). Mỗi chu kỳ thạch-kiến tạo bao gồm 2 pha: (1) pha sụt lún gồm 3 quá trình nối tiếp nhau: quá trình đồng sinh, quá trình thành đá và quá trình hậu sinh (biến đổi của đá). Khi kết thúc pha sụt lún đá trầm tích chưa bị biến dạng, thế nằm của đá cơ bản vẫn nằm ngang; (2) pha nâng trồi tương ứng với quá trình biểu sinh. Trong quá trình này đá bị biến dạng như uốn nếp, đứt gãy, nén ép và oằn võng. Ba chu kỳ thạch - kiến tạo có sự lặp lại nhưng chu kỳ sau đạt trình độ cao hơn chu kỳ trước theo quy luật tiến hóa như sau: (1) chu kỳ thạch - kiến tạo Miocen sớm có thành phần lục nguyên đa khoáng, bể trầm tích dạng địa hào nội lục, sụt lún mạnh; (2) chu kỳ thạch - kiến tạo Miocen giữa có 2 kiểu phức hệ trầm tích là lục nguyên ít khoáng và carbonat ám tiêu, lấp đầy bể dạng ô van, kiến tạo bình ổn; (3) chu kỳ thạch - kiến tạo Miocen muộn có 3 kiểu phức hệ trầm tích: lục nguyên ít khoáng, lục nguyên chứa vụn sinh vật và carbonat ám tiêu lấp đầy bồn trũng nông mở rộng, kiến tạo bình ổn. Ranh giới giữa các chu kỳ thạch-kiến tạo là ranh giới bất chỉnh hợp góc, biểu hiện bằng bề mặt bào mòn do sông trong môi trường lục địa.*

Từ khóa: Chu kỳ thạch -kiến tạo, phức hệ tướng, đa khoáng, ít khoáng, lục nguyên, ám tiêu san hô.

1. Mở đầu

Bể Phú Khánh nằm ở khu vực thềm lục địa miền Trung Việt Nam (Hình 1) có một lịch sử phát triển địa chất lâu dài từ Oligocen đến Đệ tứ. Địa chất và địa chất dầu khí bể Phú Khánh đã có khá nhiều tác giả trong nước và nước ngoài quan tâm nghiên cứu. Trong đó về hướng kiến tạo địa động lực có thể nói là sôi động nhất. Về cơ chế thành tạo bể Phú Khánh hầu hết các tác giả nước ngoài đều cho rằng bể Phú Khánh và các bể Kainozoi trên thềm lục địa Việt Nam đều sụt lún và tách giãn theo cơ chế rift (Briais, et al.,1993; Longley ,1997; Lee and Watkins,1998; Ngợi và nnk, 2017). Tapponier, et al., 1982, 1986 cho rằng quá trình mở Biển Đông là liên quan đến mảng Ấn Độ va chạm với mảng Á -Âu. Đồng thời, sự va chạm đó đã tạo nên hiện tượng thúc trồi vỏ lục địa miền Trung Việt Nam về phía Đông. NHóm triển khai dự án ENRECA do sở Địa chất Đan Mạch chủ trì đã nghiên cứu sâu về tiến hóa địa chất và đánh giá triển vọng

dầu khí bể Phú Khánh. Các tác giả đã xác định các bề mặt bất chỉnh hợp, các đại phức tập (megasequence) và phân chia các phức hệ tướng hồ, ám tiêu san hô dựa trên các kiểu cấu tạo của trường sóng địa chấn. Đặc biệt, các tác giả thành lập một loạt các bản đồ tướng cho các giai đoạn từ Oligocen đến hiện đại. Tuy nhiên, việc phân tích tướng địa chấn và thành lập các bản đồ này còn rất nhiều điều phải bàn kể cả nguyên tắc thành lập, khoảng địa tầng được lựa chọn và các yếu tố cổ địa lý biểu diễn trên không gian một cách phác họa không dựa trên cơ sở tài liệu tin cậy nào (Fyhn, Lars, et al., 2009). Những công trình nghiên cứu gần đây đã có những phát hiện mới so với các công trình trước 2010. Quan điểm về cơ chế sụt lún nhiệt không tách giãn của các bể trầm tích Kainozoi thềm lục địa Việt Nam là những bước tiến mới có tính đột phá về nhận thức. Nhóm tác giả nghiên cứu theo hướng này đã ủng hộ mô hình về chu kỳ kiến tạo của Wilson (Savva, et al 2013; Trần Nghi và nnk 2014, 2018; Dung và nnk 2016, 2019; Dung, 2020).

Sự hình thành và phát triển các thành tạo địa chất trầm tích bể Phú Khánh gắn liền với 3 yếu tố chuyển động kiến tạo, sự thay đổi mực nước biển và quá trình trầm tích. Đó là mối quan hệ nhân quả diễn ra trong mọi nơi mọi lúc và tuân theo một quy luật là tiến hóa theo chu kỳ. Để hiểu được lịch sử kiến tạo phát triển theo chu kỳ và sự thay đổi mực nước biển toàn cầu cũng theo chu kỳ tất yếu phải nghiên cứu chu kỳ trầm tích. Bởi lẽ chu kỳ trầm tích là nhân chứng lịch sử và một kho nhật ký sinh động nhất ghi lại một cách trung thực và chi tiết từng pha kiến tạo và từng pha biển tiến và biển thoái. Nghiên cứu chu kỳ trầm tích phải tiếp cận từ phân tích tướng và quy luật cộng sinh tướng theo không gian và theo thời gian. Phân tích tướng sẽ chỉ ra một cách tường minh thành phần thạch học và môi trường lắng đọng các vật liệu trầm tích ban đầu. Phân tích cộng sinh tướng sẽ chỉ ra quy luật sắp xếp các phức hệ tướng theo phương thẳng đứng. Nếu các phức hệ tướng có sự lặp lại theo chu kỳ thì mới kết luận đó là chu kỳ trầm tích. Nếu chỉ mới căn cứu vào sự thay đổi thành phần độ hạt theo chu kỳ để kết luận đó là chu kỳ trầm tích thì căn cứ đó chưa đủ, chưa toàn diện và chưa đạt tiêu chí của trầm tích luận. Nội dung bài báo này sẽ trình bày mối quan hệ giữa chu kỳ trầm tích được phân tích theo tiêu chí cộng sinh tướng, quy luật thạch sinh và biến dạng và luôn luôn liên hệ với chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu và chu kỳ hoạt động kiến tạo. Sự trùng hợp của 3 chu kỳ trầm tích Miocen của bể Phú Khánh với 3 chu kỳ kiến tạo và 3 chu kỳ thay đổi mực nước biển toàn cầu là một quy luật hoàn hảo. Một chu kỳ trầm tích được cấu thành bởi 3 phức hệ tướng cơ bản: (1) phức hệ tướng cát bùn aluvi (SarLST), bùn cát châu thổ ($M_s$anhHST) và bùn biển nông ven bờ (MmrLST) thuộc miền hệ thống trầm tích biển thấp; (2) phức hệ tướng cát bãi triều ven biển (SamtTST) và bùn đầm lầy ven biển (MamtTST), bùn biển nông-vũng vịnh (MmtTST); (3) phức hệ tướng bùn cát châu thổ biển cao ($M_s$amhHST). Như vậy, nghiên cứu thành phần thạch học từ lát mỏng thạch học, chu kỳ tướng đá và địa tầng phân tập sẽ định dạng được môi trường trầm tích, xu thế thay đổi mực nước biển và tiến tới sẽ xác định được chu kỳ thay đổi mực nước biển tương đối chính xác. Nghiên cứu mức độ biến đổi thứ sinh từ lát mỏng thạch học lấy ở ví trí địa tầng khác nhau sẽ giúp dự đoán được độ sâu sụt lún của các pha kiến tạo. Nghiên cứu các kiểu bề mặt bào mòn của các ranh giới chu kỳ trầm tích và các kiểu cấu tạo biến dạng sẽ giúp luận giải cơ chế địa động lực của pha nghịch đảo kiến tạo.

2. Bối cảnh địa chất của bể Phú Khánh và khu vực kế cận

a. Cấu trúc địa chất phân dị là do sụt lún nhiệt lan tỏa và đứt gãy kiến tạo

Cấu trúc địa chất hiện tại của bể Phú Khánh có thể chia làm 5 đới: (1) Đới I: đới sụt lún yếu phía tây, cấu tạo thềm điển hình ít bị phân dị, bề mặt địa hình đáy biển đơn nghiêng về phía trung tâm bể (Hình 1; 5). (2) Đới II: đới đứt gãy sụt bậc 109^o-110^{o}E là một hệ thống đứt gãy kép: trượt bằng phải Bắc → Nam và đứt gãy thuận sụt bậc thang có tuổi bắt đầu từ Miocen muộn và hiện nay đang tái hoạt động. Điều đó được thể hiện bởi trầm tích Pleistocen bị biến dạng phá hủy và trên mặt trượt nghiêng dốc từ 5-15^o về phía Đông còn giữ lại nhiều khối trượt ngầm tuổi Holocen (Hình 5). (3) Đới III: đới sụt lún nhiệt trung tâm có địa hình oằn võng và nghiêng thoải về phía Đông. Địa hình đáy biển của đới này đạt độ sâu khá lớn thay đổi từ 500-2500m (Hình 6). (4) Đới IV: đới nâng ngoài phân dị mạnh: thực chất đới này được nâng lên một cách tương đối và phân dị trong bối cảnh chung là sụt lún mạnh dần về phía trung tâm Biển Đông. Các lớp đá trầm tích Miocen và trầm tích bở rời Pleistocen đều bị uốn nếp oằn võng chứng tỏ đới nâng này tái hoạt động vào Pleistocen muộn. (5) Đới V: đới tách giãn đáy Biển Đông. Địa hình đáy biển đới này đạt tới 3500m nước, trầm tích Pliocen -Đệ tứ tương đối bằng phẳng chứng tỏ chúng chưa bị biến dạng, tuy nhiên các trường sóng địa chấn biểu hiện có cấu tạo turbidit biển sâu.

b. Quá trình dịch chuyển trục tách giãn đáy Biển Đông

Trục tách giãn đáy Biển Đông thay đổi từ phương á vĩ tuyến (32-26 tr. năm BP) sang phương Đông Bắc -Tây Nam (hiện tại) (Hình 1). Có thể đây là hợp lực của 2 hệ thống đứt gãy: (1) hệ thống đứt gãy trượt bằng phải Bắc Nam đã đẩy cánh phía đông trôi trượt từ Bắc xuống Nam và (2) hệ thống đứt gãy trượt bằng phải Tuy Hòa đã đẩy cánh phía Tây Nam trôi trượt về hướng Đông Nam một góc 120^0. Hai hướng chuyển động này đã bẻ gãy trục của đuôi tách giãn đáy Biển Đông theo hướng Đông Bắc - Tây Nam. Vì vậy, từ Miocen đến nay theo hướng di chuyển của đuôi đới tách giãn Biển Đông các trũng ở khu vực thềm ngoài của bể Phú Khánh không đứng yên mà liên tục bị tác dụng bởi 2 nguồn lực đồng thời đó là sụt lún và di chuyển đi một cư ly nhất định từ Bắc Tây Bắc xuống Nam Đông Nam (Nghi, 2015; Nghi và nnk, 2014).

3. Cơ sở tài liệu và phương pháp nghiên cứu

a. Cơ sở tài liệu

Công tác tìm kiếm, thăm dò dầu khí bể Phú Khánh trong 60 năm qua diễn ra khá sôi nổi, nhiều cuộc khảo sát của các nhà địa chất - địa vật lý Pháp, Mỹ, Đức, Nhật, Việt Nam, Trung Quốc,... đã được tiến hành. Năm 1989 công ty BHP của Úc (Australia) đã tiến hành thu nổ địa chấn 2D chi tiết ở 2 lô này với tổng số là 7.243 km tuyến. Năm 1993, Tổng công ty Dầu khí Việt Nam đã kết hợp với công ty NOPEC

thu nổ địa chấn với mạng lưới 15 x 30 x 50 km từ vĩ tuyến 100° đến 150°, tổng số là 3.317 km. Năm 2003, PVEP với mục đích đan dày vào giữa mạng lưới tuyến do NOPEC thu nổ năm 1993, đã tiến hành thu nổ địa chấn 2D với khối lượng 7.268 km tuyến, tài liệu thu nổ này được xử lý tại liên doanh xử lý Golden Pacific tại Thành phố Hồ Chí Minh và Viện Dầu khí. Bài báo này đã lựa chọn minh giải chi tiết 5 mặt cắt địa chấn đặc trưng, sử dụng 20 mẫu thạch học, tài liệu giếng khoan trong khuôn khổ các đề tài nghiên cứu của Bộ Khoa học Công nghệ KC.09.20/11-15, KC.09.03/11-15 và 2 đề tài hợp tác giữa Tập đoàn Dầu khí Việt Nam với Trường Đại học Khoa học Tự nhiên. Các kết quả minh giải đó đã phục vụ cho nhiều mục tiêu khác nhau. Riêng để minh họa cho nội dung bài báo này tác giả chỉ lựa chọn những mặt cắt địa chấn và các lát mỏng thạch học tiêu biểu (Hình 1).

b. Phương pháp nghiên cứu

✓ *Phương pháp luận*

Nghiên cứu chu kỳ trầm tích Miocen bể Phú Khánh trong mối quan hệ với sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo sẽ có 2 hướng tiếp cận cơ bản:

- Tiếp cận hệ thống: theo không gian và thời gian trầm tích Miocen bể Phú Khánh có tính hệ thống từ thấp đến cao. Mỗi đơn vị trầm tích đóng vai trò như một mắt xích trong hệ thống đó. Mỗi đơn vị trầm tích đó được biểu hiện bởi một hay nhiều tướng trầm tích. Vì vậy, nghiên cứu đặc điểm tướng trầm tích và sự cộng sinh tướng theo không gian và thời gian sẽ tái hiện được toàn bộ bức tranh của hệ thống trầm tích.

- Tiếp cận tiến hóa theo chu kỳ thạch-kiến tạo: chu kỳ thạch -kiến tạo là khái niệm mở rộng của chu kỳ trầm tích có tích hợp thêm các yếu tố kiến tạo. Vì vậy, chu kỳ thạch - kiến tạo cũng là sự lặp đi lặp lại của các bể thứ cấp theo phương thẳng đứng.

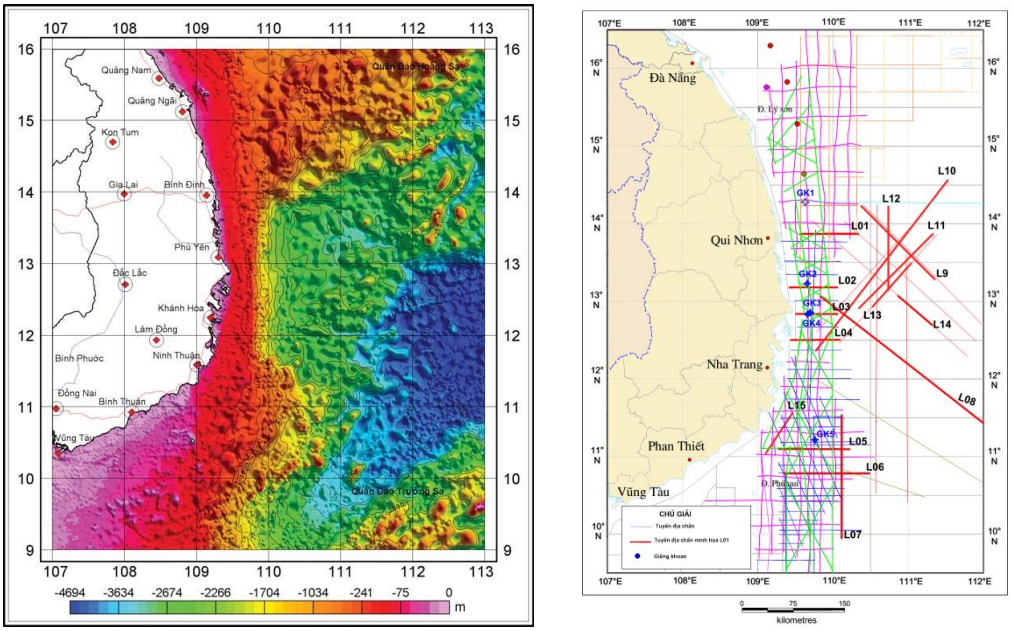
Nếu phát biểu theo quy luật toán học thì giữa đặc điểm trầm tích với sự thay đổi mực nước biển toàn cầu và chuyển động kiến tạo là mối quan hệ hàm-biến, trong đó trầm tích là hàm số còn mực nước biển và kiến tạo là biến số: TT = f (MNB, KT).

✓ *Phương pháp nghiên cứu*

1) Phương pháp minh giải mặt cắt địa chấn

2) Phương pháp phân tích lát mỏng thạch học

Đối với nghiên cứu trầm tích luận phân tích lát mỏng thạch học là phương pháp quan trọng nhất, đặc biệt đối với phân tích tướng trầm tích và phân tích tổ hợp thạch kiến tạo: (1) Phân tích



Hình 1. *Vị trí, địa hình đáy biển và vị trí các tuyến địa chấn, giếng khoan khu vực bể Phú Khánh và lân cận (Hiệp, 2017; Nghi, 2013; Dung, 2020)*

tướng bằng lát mỏng thạch học sẽ xác định được thành phần khoáng vật và tên đá theo biểu đồ phân loại của Pettijohn (1973): khi hàm lượng matrix và xi măng hóa học (Li) <15% sẽ xếp vào nhóm arkos; khi Li>15% thì sẽ xếp vào nhóm grauwack. (2) Xác định môi trường trầm tích dựa trên các tham số định lượng như: kích thước các cấp hạt trung bình (Md), hệ số chọn lọc (So), hệ số bất đối xứng (Sk), hệ số mài tròn (Ro), hệ số cầu (Sf); (3) Xác định môi trường trầm tích dựa trên các khoáng vật tại sinh chỉ thị môi trường biển như calcit, siderit, dolomit, glauconit.

3) Phương pháp xác định môi trường trầm tích dựa trên các tham số địa hóa môi trường: (1) Chỉ số axit-kiềm (pH): pH = -lgH^+; khi pH<7 là môi trường lục địa; pH = 7: môi trường chuyển tiếp; pH > 7: môi trường biển; (2) Chỉ số Kation trao đổi (Kt) (thứ nguyên là mgd/100g mẫu): Kt = $K^+ + Na^+/Ca^{+2} + Mg^{+2}$. Khi Kt < 0.5: môi trường lục địa; Kt = 1: môi trường chuyển tiếp; Kt >1: môi trường biển. (3) Chỉ số thế năng oxy hóa -khử (Eh) (thứ nguyên là mV): khi Eh < 0: môi trường khử; Eh = 0 môi trường trung tính; Eh > 0: môi trường oxi hóa.

4) Phương pháp phân tích tướng đá- chu kỳ (Trần Nghi, 2018)

Đây là phương pháp nghiên cứu mang tính tích hợp cao mối quan hệ giữa quy luật cộng sinh tướng và chu kỳ trầm tích. Mỗi chu kỳ trầm tích tương ứng với một phức tập vì vậy chúng cũng được cấu thành bởi 3 miền hệ thống và có thể biểu diễn bởi 3 công thức tổng quát như sau:

- Li_{LST} = SarLST + $M_s$amrLST + MmrLST
- Li_{TST} = SatTST + $M_s$amtTST + mtTST
- Li_{HST} = SahHST + MsamhHST+ mhHST

5) Phương pháp phân tích chu kỳ thạch - kiến tạo (Trần Nghi, 2018)

Phân tích thạch học- kiến tạo là phương pháp tích hợp giữa đặc điểm thạch học và các bối cảnh kiến tạo khác nhau trong lịch sử phát triển các chu kỳ trầm tích. Đặc điểm thạch học liên tục thay đổi từ khi bắt đầu hình thành một bể trầm tích thứ cấp đến khi kết thúc bể để tạo ra ranh giới với bể thứ cấp tiếp theo.

4. Kết quả nghiên cứu

Khái quát: Ba chu kỳ thạch - kiến tạo của Miocen tương ứng với 3 bể thứ cấp: Miocen sớm, Miocen giữa và Miocen muộn. Mỗi bể thứ cấp trải qua 2 bối cảnh kiến tạo nối tiếp nhau: (1) Bối cảnh kiến tạo sụt lún nhiệt tạo địa hào nội lục do lò nhiệt của manti làm nóng chảy vát mỏng bề mặt đáy của vỏ lục địa cứng đã cố kết (trước Cenozoi). Kết quả phần trên của vỏ lục địa trước Cenozoi bị sụt lún dạng địa hào để bù vào phần khuyết ở dưới. Đồng thời, kéo theo 2 hệ thống đứt gãy đồng trầm tích đối xứng qua trục của địa hào. Trầm tích lấp đầy địa hào có thành phần lục nguyên đa khoáng tướng cát sạn aluvi lục địa, bùn cát châu thổ ven biển và bùn biển nông ven bờ. Bối cảnh kiến tạo sụt lún nhiệt tiếp tục nhấn chìm phức hệ trầm tích bở rời xuống một độ sâu lớn nhiệt độ và áp suất tăng cao gây tác dụng thành đá biến trầm tích bở rời thành đá trầm tích. Sau đó vẫn tiếp tục sụt lún sâu đá trầm tích dưới tác dụng của nhiệt độ và áp suất tăng cao bị biến đổi sang giai đoạn hậu sinh. (2) Bối cảnh kiến tạo nghịch đảo: các tầng đá trầm tích vừa trải qua giai đoạn hậu sinh được nâng lên và chịu quá trình biến đổi biểu sinh (quá trình thạch sinh giật lùi) làm biến dạng các đá dưới tác dụng các nguồn lực: uốn nếp, nâng trồi móng và đứt gãy. Kết quả tầng nóc của các bể thứ cấp nâng lên khỏi mực nước biển và bị bào mòn cắt xén do hoạt động của lòng sông. Bề mặt địa hình trở nên gồ ghề, lồi lõm. Trong đó, bề mặt ranh giới giữa Miocen sớm và Miocen giữa là bề mặt của một bất chỉnh hợp góc rõ nét.

a. Đặc điểm chu kỳ thạch-kiến tạo Miocen sớm (N_1^1)

Mối quan hệ giữa quá trình thạch sinh (lithogenesis) với các pha hoạt động kiến tạo:

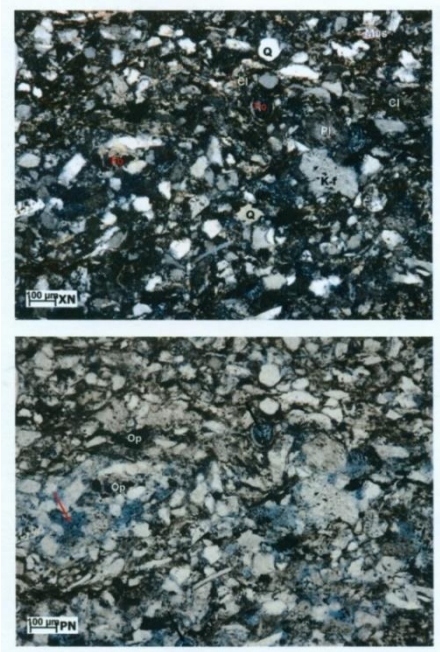
1) Quá trình đồng sinh (syngenesis): tương ứng với pha đầu sụt lún nhiệt. Bể trầm tích có dạng địa hào nội lục nông và hẹp xuất hiện 2 hệ thống đứt gãy thuận đồng trầm tích đối xứng (Hình 15). Trầm tích lấp đầy bể Miocen sớm chỉ có trầm tích lục nguyên, gồm 3 phức hệ tướng cộng sinh từ dưới lên trên như sau: (1) tướng cát bùn aluvi ($S_m$arLSTN_1^1) (Hình 2); tướng cát chứa dolomit tại sinh biển nông biển tiến (SmtTSTN_1^1) (Hình 3); tướng bùn cát châu thổ ($M_s$amhHSTN_1^1), tướng bùn cát nón quạt cửa sông ($S_m$amhHSTN_1^1), tướng bùn biển ven bờ (MmhHSTN_1^1). Theo các giai đoạn biến đổi thạch sinh (lithogenesis) thì trầm tích ở giai đoạn đồng sinh nhiệt độ và áp suất môi trường trầm tích bình thường. Trầm tích đang tồn tại 3 trạng thái: rắn, lỏng và khí chưa cân bằng về điều kiện nhiệt động.

2) *Quá trình thành đá (diagenesis):* tương ứng với pha sụt lún tương đối sâu (thường đạt tới trên 3000m) nhiệt độ gradien địa nhiệt và áp suất thủy tĩnh tăng cao (T≥100^{o}C, P≥500atm) trầm tích trải qua giai đoạn thành đá (diagenesis). Trầm tích bở rời biến thành đá gắn kết chắc dưới tác dụng của 4 quá trình diễn ra

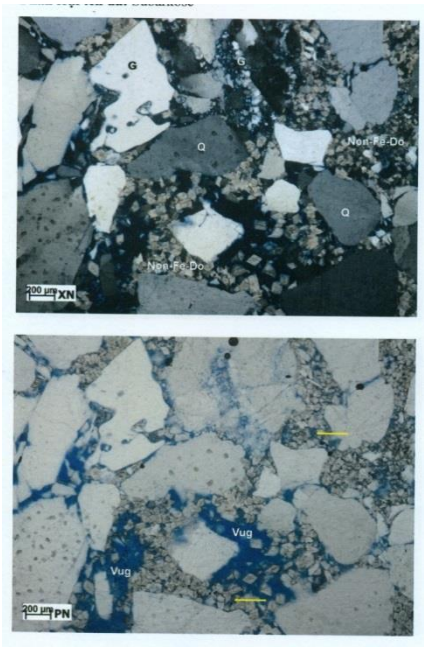
đồng thời: nén ép, mất nước, gắn kết và thành tạo khoáng vật mới. Từ 3 trạng thái trầm tích biến thành một trạng thái (trạng thái rắn) bền vững hơn trong điều kiện mới.

3) Quá trình hậu sinh (catagenesis)): tương ứng với pha sụt lún sâu (thường đạt tới trên 5000m). Thời kỳ này nhiệt độ tăng cao trên 200^{o}C và áp suất cũng vượt quá 1000atm, đá trầm tích biến đổi cả về kiến trúc và thành phần khoáng vật. Nhiều hạt thạch anh tắt làn sóng hặc bị hóa hạt nhẹ. Ranh giới tiếp xúc giữa các hạt thạch anh có dạng đường cong, hệ số biến đổi thứ sinh trung bình (Itb) đạt 0,7 (Hình 2).

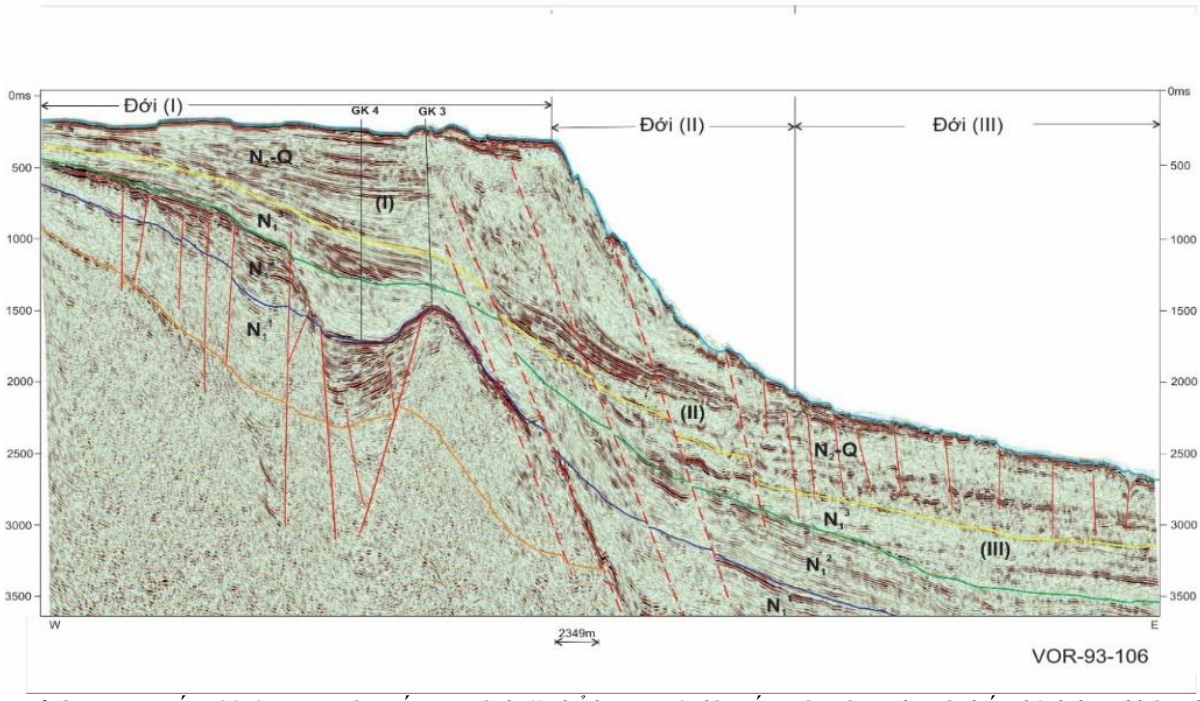
4) Quá trình biểu sinh (hypergenesis): thời kỳ biểu sinh hay còn gọi là thời kỳ thạch sinh giật lùi tương ứng với pha nghịch đảo kiến tạo. Thời kỳ này diễn ra đồng thời các quá trình sau: (1) Nâng trồi, nén ép, uốn nếp, oằn võng các lớp đá trầm tích đã bị biến đổi đến mức độ hậu sinh; (2) Đứt gãy sau trầm tích: đứt gãy nghịch, đứt gãy trượt bằng và đứt gãy listric (đứt gãy võng xếp chồng lùi); (3) Tạo bề mặt bất chỉnh hợp. Bề mặt này có 3 dạng: (a) dạng bất chỉnh hợp góc rất rõ nét do nóc của trầm tích Miocen sớm nâng lên khỏi mặt biển biến thành vùng xâm thực, môi trường lục địa và bị bào mòn cắt xén (truncation) bởi lòng sông và các dòng chảy tạm thời; (b) dạng bất chỉnh hợp địa tầng: ranh giới nằm giữa 2 lớp trầm tích Miocen sớm và Miocen giữa chạy song song với nhau và có thành phần thạch học và độ hạt khác nhau. Ranh giới này được hình thành trên môi trường lục địa, nóc trầm tích Miocen không bị uốn nếp và bị bào mòn yếu; (c) dạng chỉnh hợp tương đương là ranh giới hình thành trong môi trường nước nằm giữa 2 lớp đá trầm tích song song với nhau nhưng có thành phần thạch học và độ hạt chuyển tiếp đột ngột do thay đổi độ sâu đáy biển nhanh chóng. (Hình 4; 5; 14).



Hình 2. *GK2; độ sâu 2546m; tuổi N_1^1; N+; Cát kết thạch anh – litic hạt nhỏ. Hàm lượng thạch anh chiếm 75% chủ yếu là thạch anh đơn tinh thể (Qm). Độ chọn lọc kém (So = 2,6; Sk>1), giàu matrix, hàm lượng cấp hạt nhỏ hơn 0,063mm khá cao, đỉnh cực đại của đường cong phân bố độ hạt lệch về bên phải. Độ mài tròn kém (Rotb = 0,35). Tướng trầm tích: tướng cát lòng sông đồng bằng thuộc miền hệ thống trầm tích biển thấp (biển thoái thấp) ($SarLSTN_1^1$). Đá biến đổi thứ sinh đạt trình độ hậu sinh sớm (Itb= 0,7).*

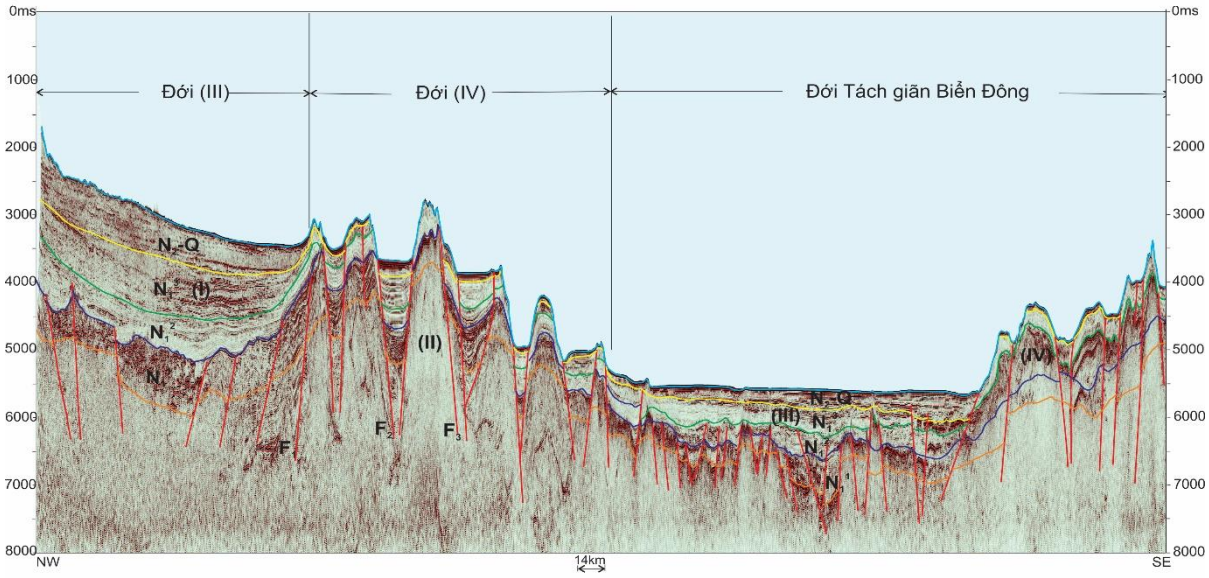


Hình 3. *Cát kết thạch anh – litic hạt trung, hàm lượng thạch anh đơn tinh thể (Qm) chiếm 85%, xi măng dolomit tại sinh vi hạt tự hình; tướng cát vũng vịnh nông ($SmtTSTN_1^1$); môi trường vũng vịnh biển tiến, thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến (TST), độ chọn lọc trung bình (So=1,8), độ mài tròn trung bình trung bình (Rotb=0,5), độ rỗng cao (Me = 15%), GK2, sâu 2585,50m, N^+, x40, tuổi N_1^1. Biến đổi thứ sinh: hậu sinh sớm (catagenesis).*



Hình 4. *Mặt cắt L03 (xem vị trí tuyến tại Hình 1) thể hiện rõ 3 đới cấu trúc và ranh giới bất chỉnh hợp khác nhau của 3 chu kỳ trầm tích N_1^1, N_1^2, N_1^3 của bể Phú Khánh:*

1) *Cấu trúc địa chất hiện tại gồm 3 đới khác nhau từ ven rìa ra trung tâm bể như sau: (1) Đới I: Cấu trúc thềm trong. Đáy biển nghiêng thoải về phí đông; (2) Đới II: Đới đứt gãy thuận sụt bậc thang và đứt gãy trượt bằng phải nằm trong khoảng kinh tuyến 109°-110°E; (3) Đới III: Đới sụt lún trung tâm, ngăn cách với trung tâm Biển Đông bởi đới nâng ngoài phân dị;*
2) *Nóc N_1^1 là bề mặt bào mòn cắt xẻ do lòng sông khá rõ nét tương ứng với giai đoạn kết thúc pha tách giãn đáy Biển Đông (16 Tr.n BP).*



Hình 5. *Mặt cắt địa chấn tuyến L08 (xem vị trí tuyến tại hình 1) cắt qua đuôi tách giãn đáy Biển Đông thấy rõ: - 3 đới cấu trúc (từ trái sang phải): (1) Đới sụt lún trung tâm (đới III); (2) Đới sụt lún yếu phân dị (đới IV); (3) Đới sụt lún mạnh đuôi đới tách giãn Biển Đông)*

- Ranh giới giữa Miocen sớm và Miocen giữa là ranh giới bất chỉnh hợp góc: (1) Bề mặt phản xạ rõ, đậm nét tương ứng với giai đoạn kết thúc pha tách giãn Biển Đông (16 triệu năm BP); (2) Đáy bể được nâng lên khỏi mực nước biển do một pha nén ép kiến tạo phân dị mạnh mẽ; (3) Bề mặt địa hình N_1^1 gồ ghề, bị bào mòn cắt xẻ của lòng sông, môi trường lục địa; (4) Trầm tích phủ trên bề mặt bào mòn là tướng cát bùn aluvi phần đáy của Miocen giữa.

- Đới nâng ngoài có tuổi từ Oligocen muộn đến Pleistocen. Chúng hoạt động có tính kế thừa và có tính chu kỳ.

b. Đặc điểm chu kỳ thạch - kiến tạo Miocen giữa (N_1^2)

Mối quan hệ giữa quá trình thạch sinh (lithogenesis) với các pha hoạt động kiến tạo xảy ra như sau:

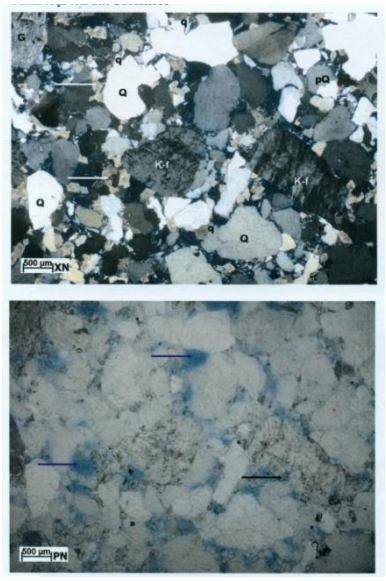
1) Thời kỳ đầu Miocen giữa: Móng Miocen sớm bị nâng lên, uốn nếp và đứt gãy. Địa hình bị phân dị mạnh tạo nên nhiều cấu trúc dạng địa hào và địa lũy.

2) Thời kỳ sụt lún hình thành các thủy vực vũng vịnh xen kẽ các khối nâng đóng vai trò là quần đảo ngầm bắt đầu hình thành và phát triển san hô ám tiêu trên quần đảo ngầm này.

3) Quá trình đồng sinh xảy ra tương ứng với pha đầu sụt lún nhiệt. Bể trầm tích thứ cấp Miocen giữa có dạng địa hào ven rìa nông và rộng dạng ô van xuất hiện 2 hệ thống đứt gãy thuận đồng trầm tích đối xứng (Hình 15). Trầm tích lấp đầy bể Miocen giữa ngoài trầm tích lục nguyên còn xuất hiện phức hệ tướng ám tiêu san hô phát triển trên quần đảo ngầm.

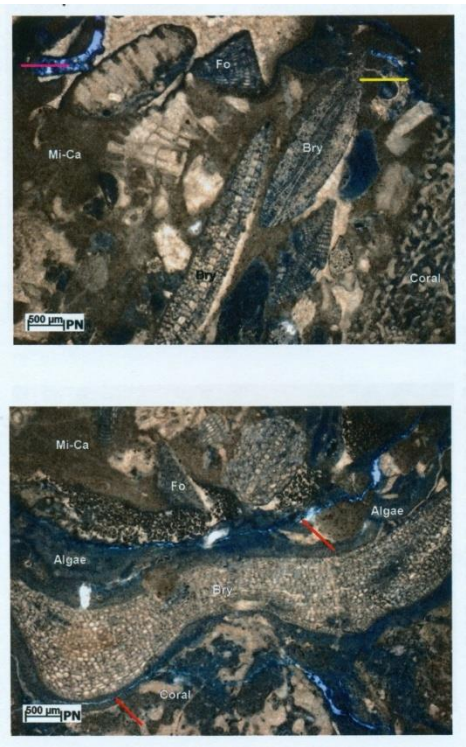
Phức hệ tướng lục nguyên cộng sinh từ dưới lên trên như sau: (1) tướng cát bùn aluvi biển thấp ($S_m$arLSTN$_1^2$); tướng cát thạch anh-litic bãi triều độ chọn lọc và mài tròn tốt biển thấp (SamrLSTN$_1^2$) (Hình 6); tướng cát bãi triều biển tiến (SamtTSTN$_1^2$) và tướng bùn đầm lầy ven biển biển tiến (MamtTST); tướng ám tiêu san hô biển tiến (CoRTSTN$_1^2$); tướng bùn biển nông-vũng vịnh đồng bằng ngập lụt biển tiến cực đại (MmtTSTN$_1^2$) (Hình 7; 8; 9; 11; 12). Tướng bùn cát châu thổ ($M_s$amhHSTN$_1^2$), tướng bùn cát nón quạt cửa sông ($S_m$amhHSTN$_1^2$), tướng bùn biển ven bờ (MmhHSTN$_1^2$). Nhiệt độ và áp suất tăng cao trầm tích bở rời bị tác dụng thành đá (diagenesis) biến thành đá trầm tích. Từ 3 trạng thái trầm tích biến thành một trạng thái (trạng thái rắn) bền vững hơn trong điều kiện nhiệt động mới.

4) Thời kỳ hậu sinh (catagenesis): tương ứng với pha sụt lún sâu (thường đạt tới trên 5000m). Thời kỳ này nhiệt độ tăng cao trên 200^{o}C và áp suất cũng vượt quá 1000atm, đá trầm tích biến đổi cả về kiến trúc và thành phần khoáng vật.

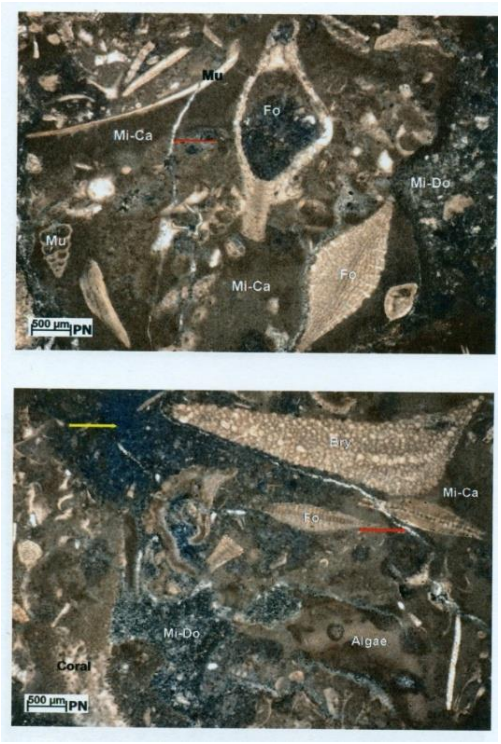


2 nicol vuông góc (N+) 1 nicol (N-)

Hình 6. *Mẫu cát kết arko hạt trung; GK2; độ sâu 2485,50m; tuổi N_1^2; N^+ ; x40. Thạch anh chiếm 78%, chủ yếu là thạch anh đơn tinh thể, plagiocla axit chiếm 3%, felspat kali chiếm 7%; mảnh đá quarzit chiếm 5%. Độ mài tròn tương đối tốt (Rotb=0,6); độ chọn lọc tốt (So=1,5). Môi trường thành tạo: bãi triều ven biển biển tiến (SamtTSTN$_1^2$) có sóng tương đối mạnh. Biến đổi thứ sinh: hậu sinh sớm, Hệ số biến đổi thứ sinh trung bình (Itb) là 0,6. Tiếp xúc giữa các hạt vụn thạch anh có dạng đường cong và răng cưa. Kiến trúc và thành phần khoáng vật của đá bị biến đổi trong quá trình sụt lún sau thành đá và cả trong quá trình biểu sinh (nghịch đảo kiến tạo).*



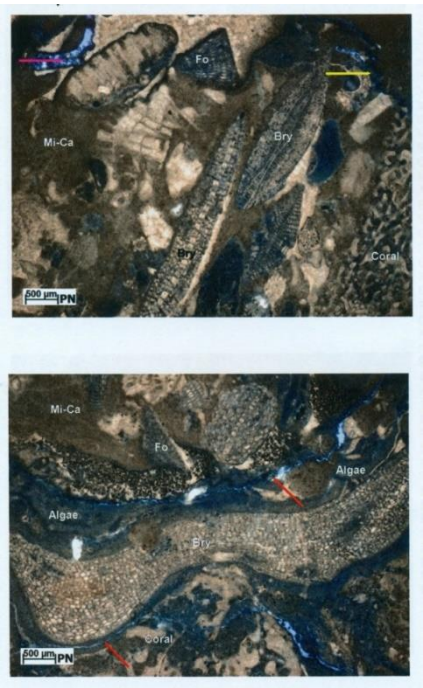
Hình 7. *Đá vôi sinh vật. Đá vôi có thành phần chủ yếu là vỏ sinh vật Bryozoa, foraminifera, mảnh san hô được gắn kết bởi nền calcit và dolomit vi hạt, vật chất hữu cơ hạ đẳng (rong tảo). Môi trường vũng vịnh biển tiến (MmtTSTN$_1^2$). LK GK2, Bể Phú Khánh.*



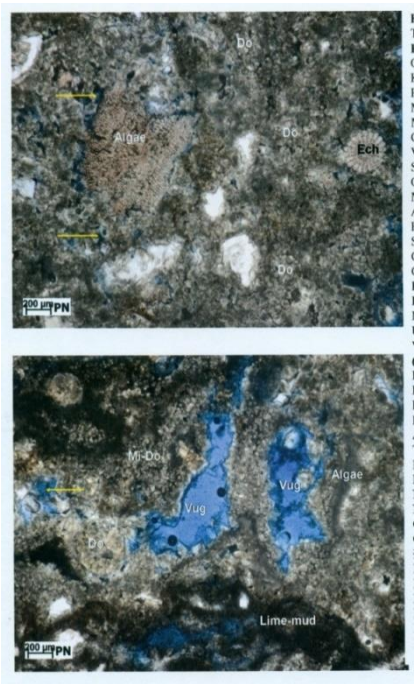
Hình 8. *Đá vôi đolomit vi hạt chứa foram, vỏ molusca bảo tồn tốt, vật chất hữu cơ hạ đẳng, tướng bùn vôi vũng vịnh, thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến (MmtTSTN$_1^2$); GK2; độ sâu 2255,50m.*

Thạch anh chiếm 70-78%, chủ yếu là thạch anh đơn tinh thể, plagiocla axit chiếm 3-8%, felspat kali chiếm 7-10%; mảnh đá quarzit chiếm 5-10%. Độ mài tròn tương đối tốt (Rotb=0.6); độ chọn lọc tốt (So=1,5). Hệ số biến đổi thứ sinh trung bình (Itb) là 0,6. Tiếp xúc giữa các hạt vụn thạch anh có dạng đường cong và răng cưa. Kiến trúc và thành phần khoáng vật của đá bị biến đổi trong quá trình sụt lún sau thành đá và cả trong quá trình biểu sinh (nghịch đảo kiến tạo).

5) Thời kỳ biểu sinh (hypergenesis): tương ứng với thời kỳ nghịch đảo kiến tạo còn gọi là thời kỳ thạch sinh giật lùi. Thời kỳ này diễn ra đồng thời các quá trình sau: (1) Nâng trồi, nén ép, uốn nếp, oằn võng và đứt gãy các lớp đá trầm tích đã bị biến đổi đến mức độ hậu sinh; (2) Đứt gãy sau trầm tích: đứt gãy nghịch, đứt gãy trượt bằng và đứt gãy listric (đứt gãy võng xếp chồng lùi); (3) Tạo bề mặt bất chỉnh hợp. Bề mặt này có 3 dạng: (a) dạng bất chỉnh hợp góc rất rõ nét do nóc của trầm tích Miocen sớm nâng lên khỏi mặt biển biến thành vùng xâm thực thuộc môi trường lục địa và bị bào mòn, cắt xén (truncation) bởi lòng sông và các dòng chảy tạm thời; (b) dạng bất chỉnh hợp địa tầng: ranh giới nằm giữa 2 lớp trầm tích Miocen sớm và Miocen giữa chạy song song với nhau và có thành phần thạch học và độ hạt khác nhau. Ranh giới này được hình thành trên môi trường lục địa, nóc trầm tích Miocen không bị uốn nếp và bị bào mòn yếu; (c) dạng chỉnh hợp tương đương là ranh giới hình thành trong môi trường nước nằm giữa 2 lớp đá trầm tích song song với nhau nhưng có thành phần thạch học và độ hạt chuyển tiếp đột ngột do thay đổi độ sâu đáy biển nhanh chóng (Hình 4; 5; 14).



Hình 9. *Mẫu đá vôi sinh vật (Bryozoa, foram); GK2; độ sâu 2283,00m; tuổi N_1^2. Đá vôi có thành phần chủ yếu là vỏ sinh vật Bryozoa, foraminifera, mảnh san hô được gắn kết bởi nền calcit và dolomit vi hạt, vật chất hữu cơ hạ đẳng (rong tảo). Môi trường vũng vịnh biển tiến ($MmtTSTN_1^2$).*



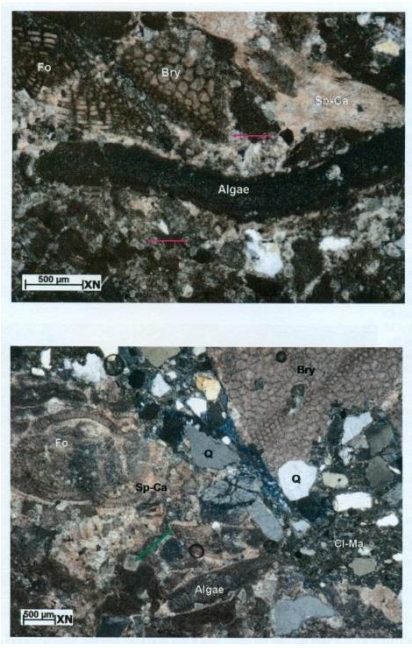
Hình 10. *Đá vôi ám tiêu chứa dolomit, tảo và sinh vật. GK2; độ sâu 2453,00m; x40; N+ ; tướng bùn vôi vũng vịnh thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến ($MmtTSTN_1^2$). Biến đổi thứ sinh: hậu sinh sớm.*

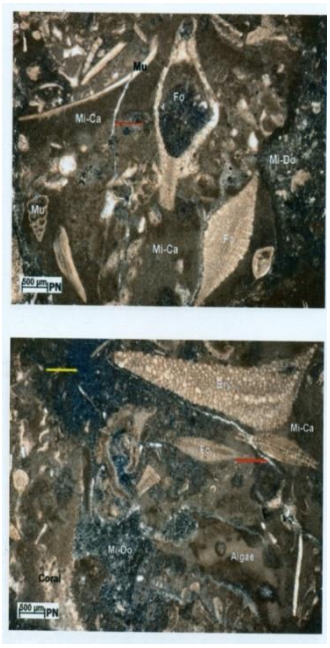
c. Đặc điểm chu kỳ thạch -kiến tạo Miocen muộn (N_1^3)

Mối quan hệ giữa quá trình thạch sinh (lithogenesis) với các pha hoạt động kiến tạo:

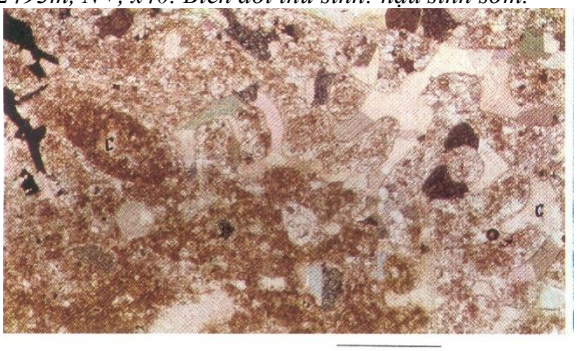
1) Thời kỳ đầu Miocen muộn: tầng đá trầm tích thuộc nóc của Miocen giữa tức móng của Miocen muộn bị nâng lên và biến dạng mạnh mẽ: uốn nếp, đứt gãy. Địa hình đáy của Miocen muộn bị phân dị mạnh tạo nên nhiều trũng hẹp dạng vũng vịnh xen kẽ da báo với các khối nâng đóng vai trò là vùng xâm thực.

2) Thời kỳ sụt lún hình thành các thủy vực vũng vịnh xen kẽ các khối nâng đóng vai trò là quần đảo ngầm bắt đầu hình thành và phát triển san hô ám tiêu trên quần đảo ngầm này.

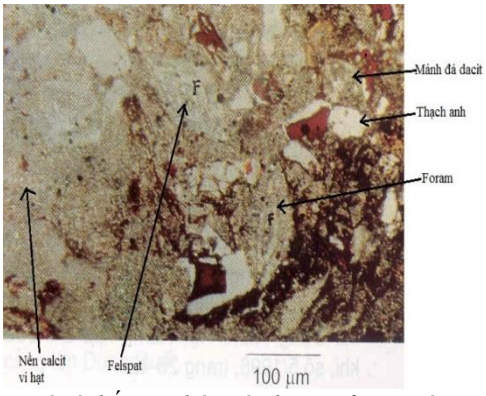




Hình 11. *Đá vôi dolomit vi hạt chứa sinh vật và bitum (phân hủy từ tảo), môi trường vũng vịnh thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến (TST); tướng bùn vôi-dolomit biển tiến ($MmtTSTN_1^2$). GK 2,độ sâu 2493m, N+, x40. Biến đổi thứ sinh: hậu sinh sớm.*

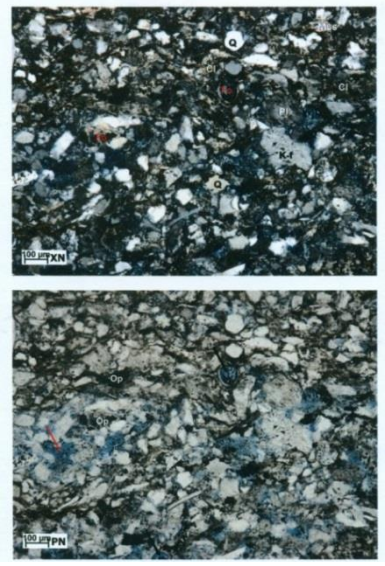


Hình 12. *Đá vôi dolomit chứa sinh vật (foram., Bryzo., Molus.), nền calcit ẩn tinh và dolomit vi hạt, môi trường vũng vịnh biển tiến cực đại; tướng bùn vôi - dolomit vũng vịnh biển tiến ($MmtTSTN_1^2$). GK2, độ sâu 2255,5m.*



Hình 13. *LKPV94-2X; 1014m; N+; x40. Đá vôi vụn sinh vật chứa bitum, foram, mảnh vụn lục nguyên (thạch anh, mảnh đá andesit), mảnh vụn kết vón laterit ($MsmtTSTN_1^3$). Mảnh vụn sinh vật bao gồm san hô, vỏ molusca. Độ chọn lọc kém mài tròn các hạt vụn lục nguyên từ trung bình đến tốt (Rotb=0,6). Môi trường vũng vịnh thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến (TST)*

Hình 14. *Đá sét kết vôi chứa cát, bitum, foram và vụn sinh vậ ($MsmtTSTN_1^3$). Các hạt vụn của cát bao gồm: thạch anh, felspat kali, mảnh đá dacit, mảnh vụn kết vón laterit. Đá thuộc nhóm hỗn hợp giữa vụn cơ học và hóa học được thành tạo trong quá trình biển tiến môi trường vũng vịnh nông. Giai đoạn đầu lắng đọng các hạt vụn lục nguyên lẫn các mảnh vụn kết vón laterit và mảnh vụn vỏ sinh vật môi trường bãi triều ven biển. Giai đoạn sau biển tiến (thuộc miền hệ thống trầm tích biển tiến môi trường chuyển thành biển nông vũng vịnh độ pH >8.5 thích hợp lắng đọng bùn vôi và xuất hiện mẫu ở độ sâu 1160 m; N_1^3; N-; x 125; GK PV -2X TC-VM.*



Hình 15. *Cát kết thạch anh – litic, hạt nhỏ, chọn lọc tốt (So=1,5), mài tròn trung bình (Rtb=0,5), môi trường: châu thổ ngầm, thuộc HST, độ sâu 2540m, tuổi N_1^3; N^-, x40. Biến đổi thứ sinh: catagenesis.*

Quá trình đồng sinh xảy ra tương ứng với pha đầu sụt lún nhiệt. Bể trầm tích thứ cấp Miocen giữa có dạng địa hào ven rìa nông và rộng dạng ô van xuất hiện 2 hệ thống đứt gãy thuận đồng trầm tích đối xứng (Hình 17). Trầm tích lấp đầy bể Miocen giữa ngoài trầm tích lục nguyên thuần khiết còn xuất hiện phức hệ tướng trầm tích hỗn hợp lục nguyên và vụn sinh vật và ám tiêu san hô phát triển trên quần đảo ngầm. Trong đó đại đa số nguyên là các đảo và quần đảo ngầm ám tiêu san hô bị nâng trồi lên khỏi mặt nước biến thành những vùng xâm thực rộng lớn cung cấp vật liệu vụn sinh vật lắng đọng cùng với vật liệu lục nguyên. Trên các mặt cắt địa chấn thấy rõ các trường sóng của Miocen muộn có phản xạ trắng đặc trưng (Hình 4; 5). Trên lát mỏng thạch học thấy rõ sự pha trộn của 2 loại vật liệu có nguồn gốc khác nhau: vụn sinh vật được phá hủy từ rạn san hô và vụn lục nguyên phá hủy từ đá gốc (Hình 13; 14).

Phức hệ tướng lục nguyên cộng sinh từ dưới lên trên như sau: (1) tướng cát bùn aluvi ($S_m arLSTN_1^3$); tướng bùn cát châu thổ ($M_s amhHSTN_1^2$), tướng bùn cát nón quạt cửa sông ($S_m amhHSTN_1^3$), tướng bùn biển ven bờ ($MmhHSTN_1^3$).

3) Quá trình thành đá: Nhiệt độ và áp suất tăng cao trầm tích bở rời bị tác dụng thành đá (diagenesis) biến thành đá trầm tích. Từ 3 trạng thái trầm tích biến thành một trạng thái (trạng thái rắn) bền vững hơn trong điều kiện mới.

*4) Quá trình hậu sinh: t*ương ứng với pha sụt lún sâu (thường đạt tới trên 5000m). Thời kỳ này nhiệt độ tăng cao trên 200^{o}C và áp suất cũng vượt quá 1000atm, đá trầm tích biến đổi cả về kiến trúc và thành phần khoáng vật chiếm 3-8%, felspat kali chiếm 7-10%; mảnh đá quarzit chiếm 5-10%. Độ mài tròn tương đối tốt (Rotb=0,6); độ chọn lọc tốt (So=1,5). Hệ số biến đổi thứ sinh trung bình (Itb) là 0,6. Tiếp xúc giữa các hạt vụn thạch anh có dạng đường cong và răng cưa. Kiến trúc và thành phần khoáng vật của đá bị biến đổi trong quá trình sụt lún sau thành đá và cả trong quá trình biểu sinh (nghịch đảo kiến tạo).

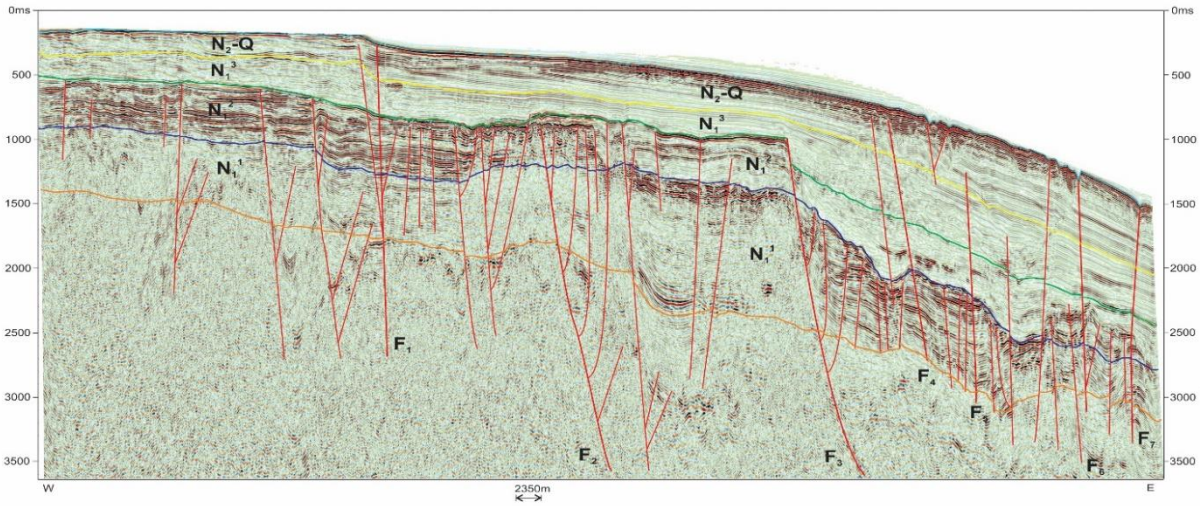
5) Quá trình biểu sinh: tương ứng với thời kỳ nghịch đảo kiến tạo. Thời kỳ này diễn ra đồng thời các quá trình sau: (1) Nâng trồi, nén ép, uốn nếp, oằn võng làm biến dạng các lớp đá trầm tích đã bị biến đổi đến mức độ hậu sinh; (2) Đứt gãy sau trầm tích: đứt gãy nghịch, đứt gãy trượt bằng và đứt gãy listric (đứt gãy võng xếp chồng lùi); (3) Tạo bề mặt bất chỉnh hợp. Bề mặt này có 3 dạng: (a) dạng bất chỉnh hợp góc rất rõ nét do nóc của trầm tích Miocen sớm nâng lên khỏi mặt biển biến thành vùng xâm thực, môi trường lục địa và bị bào mòn cắt xén (truncation) bởi lòng sông và các dòng chảy tạm thời; (b) dạng bất chỉnh hợp địa tầng: ranh giới nằm giữa 2 lớp trầm tích Miocen sớm và Miocen giữa chạy song song với nhau và có thành phần thạch học và độ hạt khác nhau. Ranh giới này được hình thành trên môi trường lục địa, nóc trầm tích Miocen không bị uốn nếp và bị bào mòn yếu; (c) dạng chỉnh hợp tương đương là ranh giới hình thành trong môi trường nước nằm giữa 2 lớp đá trầm tích song song với nhau nhưng có thành phần thạch học và độ hạt chuyển tiếp đột ngột do thay đổi độ sâu đáy biển nhanh chóng (Hình 4; 5; 14).

5. Thảo luận

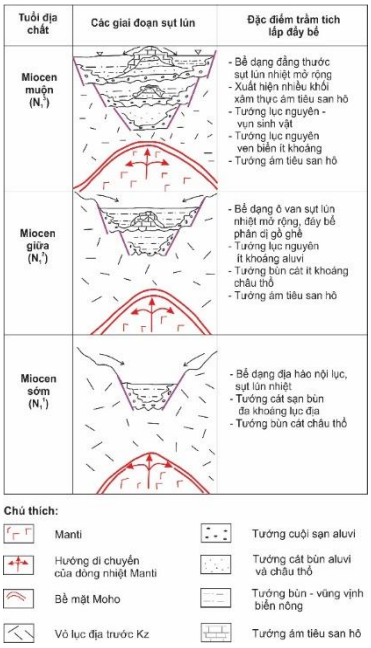
1) Nghiên cứu các chu kỳ thạch-kiến tạo đã góp phần làm sáng tỏ lịch sử địa chất của Miocen bể Phú Khánh: quá trình địa chất trầm tích Miocen bể Phú Khánh diễn ra theo 3 chu kỳ thạch-kiến tạo. Trong mỗi chu kỳ đều có 2 pha: pha sụt lún và pha nâng trồi:

(a) Pha sụt lún nhiệt xảy ra vào nửa đầu chu kỳ gồm 3 quá trình xảy ra nối tiếp nhau: đồng sinh, thành đá và hậu sinh. Quá trình đồng sinh xảy ra ngay sau khi mới lắng đọng, trầm tích còn ở trạng thái bở rời. Quá trình thành đá là biến trầm tích bở rời thành đá trầm tích. Khi kiến tạo tiếp tục sụt lún trầm tích bở rời bị nhấn chìm xuống một độ sâu lớn thời gian phải qua hàng triệu năm. Quá trình hậu sinh làm biến đổi đá trầm tích cả về kiến trúc và thành phần khoáng vật. Hệ số biến đổi thứ sinh (I) đạt tới trên 0,7. Sự biến đổi mạnh mẽ đó liên quan đến điều kiện nhiệt động tăng lên đá trầm tích phải thay đổi để thích ứng với điều kiện nhiệt độ và áp suất mới. Khi đá trầm tích Miocen sụt lún xuống độ sâu trên 3000 m, nhiệt độ gradien địa nhiệt tăng lên hơn 100^{0}C, áp suất thủy tĩnh đạt trên 500atm, 3 quá trình xảy ra đồng thời: quá trình hòa tan rìa hạt vụn, quá trình nén ép và quá trình tái kết tinh. Kết quả đã làm thay đổi hình dạng tiếp xúc giữa các hạt vụn với nhau từ tiếp xúc điểm và đường thẳng trong giai đoạn thành đá đến tiếp xúc đường cong và răng cưa trong giai đoạn hậu sinh (Hình 2; 6).

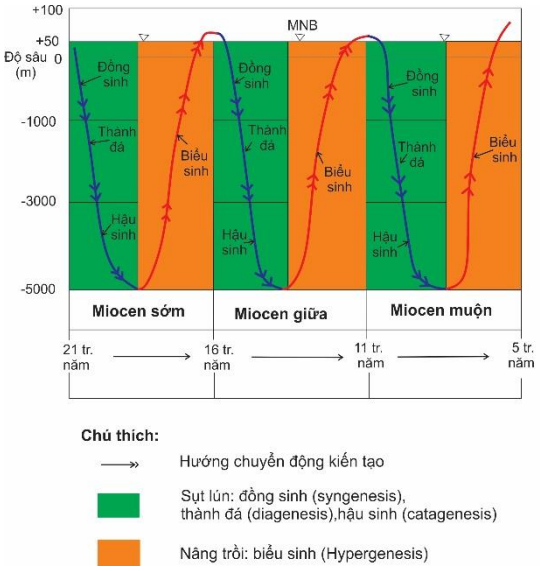
(b) Pha nâng trồi (giai đoạn nghịch đảo kiến tạo): theo Trần Nghi (2014) các lớp đá trầm tích bị nâng lên dần chịu biến đổi của quá trình biểu sinh (hypergenesis), thế nằm của đá bị biến dạng (uốn nếp, oằn võng, đứt gãy). Nóc của bể thứ cấp bị nâng cao trên mực nước biển và bị bào mòn xâm thực để biến thành ranh giới bất chỉnh hợp góc. Sự có mặt các ranh giới bất chỉnh hợp góc giữa Miocen dưới và Miocen giữa (N_1^2/N_1^1) và giữa Miocen giữa và Miocen trên (N_1^3/N_1^2) là minh chứng cho bề mặt bào mòn do lòng sông trên lục địa. Nói cách khác các chu kỳ thạch- kiến tạo xảy ra một cách nhịp nhàng trong phông chung là sụt lún. Pha sụt lún nhiệt tạo bể trầm tích thứ cấp và pha nâng trồi dẫn đến bào mòn gián đoạn trầm tích là thực hiện trọn vẹn một chu kỳ thạch sinh-kiến tạo bắt đầu từ đồng sinh đến thành đá, hậu sinh và cuối cùng là biểu sinh (Hình 17; 18; Bảng 1). Tóm lại, mỗi lớp đá hay mỗi khoáng vật dù đó là một hạt vụn thạch anh tha sinh trong cát kết thạch anh-lithic của Miocen sớm hay một khoáng vật calcit tại sinh trong trong đá vôi của Miocen muộn đều trải qua một chu kỳ thạch - kiến tạo. Vì vậy, chúng là những nhân chứng lịch sử tin cậy nhất được sử dụng để phân tích lịch sử tiến hóa của trầm tích.



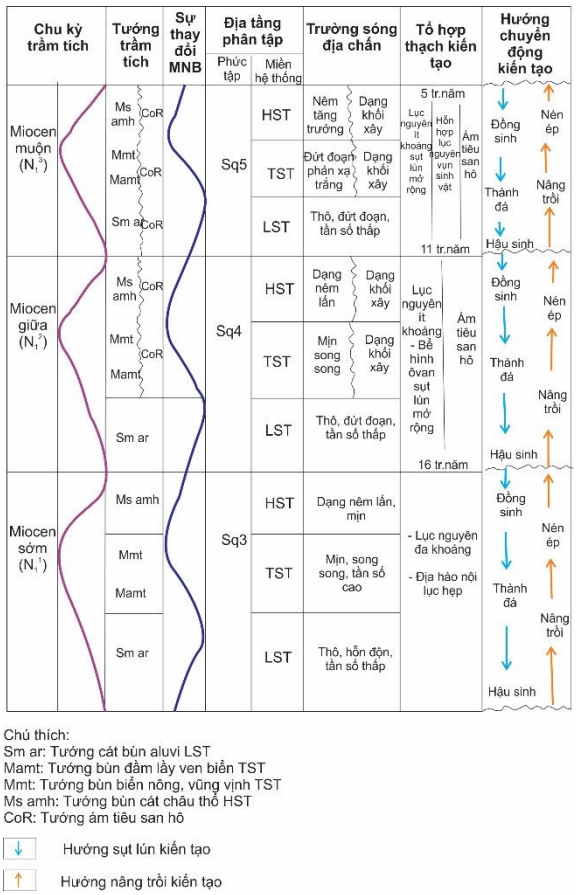
Hình 16. *Mặt cắt L05 (xem vị trí tuyến tại hình 1), cắt qua đới đứt gãy Tuy Hòa tây bắc - đông nam thấy rõ hệ thống đứt gãy trượt bằng phải. Trong đó đứt gãy F3 là đứt gãy cấp 2 sau trầm tích từ Oligocen đến kết thúc N_1^2 và đóng vai trò đứt gãy đồng trầm tích của N_1^3 và N_2-Q làm tăng bề dày đột biến của 2 hệ tầng này về phía đông bắc của bể. Ranh giới của N_1^1 và N_1^2 là ranh giới bất chỉnh hợp góc, với bề mặt bào mòn cắt xẻ gồ ghề do lòng sông.*



Hình 17. *Mô hình tiến hóa các bể thứ cấp Miocen bể Phú Khánh theo 3 chu kỳ*



Hình 18. *Mối quan hệ giữa chu kỳ thạch sinh (lithogenesis) và chu kỳ kiến tạo trong Miocen bể PK*



Bảng 1. Mối quan hệ giữa tướng trầm tích, sự thay đổi mực nước biển và chuyển động kiến tạo kiến lập nên 3 chu kỳ trầm tích của Miocen bể Phú Khánh

2) Chu kỳ thạch-kiến tạo gắn liền với hệ thống dầu khí: Nghiên cứu 3 chu kỳ thạch - kiến tạo trong Miocen đã giúp chi tiết hóa hệ thống dầu khí và xây dựng các tiền đề tìm kiếm và thăm dò dầu khí. Khi pha sụt lún mạnh đá Miocen sớm và Miocen giữa đạt đến giai đoạn biến đổi hậu sinh là khẳng định đã vượt qua cửa sổ tạo dầu, đồng thời dầu đã di chuyển và nạp bẫy. Quá trình biểu sinh tương ứng với nửa sau của cả 3 chu kỳ thạch-kiến tạo trong Miocen đều liên quan đến quá trình biến dạng của đá trầm tích. Quá trình uốn nếp và đứt gãy đã tạo bẫy hỗn hợp trong cả 3 chu kỳ, bẫy ám tiêu san hô trong Miocen giữa và Miocen muộn. Pha sụt lún nhiệt tương ứng với pha kết thúc tách giãn đáy Biển Đông của cuối Miocen sớm đã tạo nên cấu trúc oằn võng trung tâm và hệ thống đứt gãy listric ven rìa. Đây là các bẫy cấu trúc có ý nghĩa lớn, trong đó mặt đứt gãy là màn chắn.

6. Kết luận

1. Trầm tích Miocen bể Phú Khánh có 3 chu kỳ thạch-kiến tạo: chu kỳ Miocen sớm, chu kỳ Miocen giữa và chu kỳ Miocen muộn. Mỗi chu kỳ thạch – kiến tạo có 2 pha kiến tạo và các quá trình thạch sinh tương ứng xảy ra: (1) Pha sụt lún có 3 quá trình thạch sinh tương ứng: quá trình đồng sinh, quá trình thành đá và quá trình hậu sinh; (2) Pha nâng trồi xảy ra quá trình biểu sinh. Đây là thời kỳ cuối cùng của quá trình thạch sinh làm biến dạng các đá trầm tích như sau: uốn nếp, đứt gãy và oằn võng.

2. Chu kỳ thạch - kiến tạo Miocen sớm có 3 phức hệ tướng tiêu biểu (từ dưới lên): (1) Phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp ($S_marLST\ N_1^1$); (2) Phức hệ tướng bùn cát ven biển ($M_samtTSTN_1^1$) và bùn biển nông - vũng vịnh biển tiến ($MmtTSTN_1^1$); phức hệ tướng bùn cát châu thổ biển cao ($M_samhHSTN_1^1$).

3. Chu kỳ thạch – kiến tạo Miocen giữa có 4 phức hệ tướng tiêu biểu: (1) Phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp ($S_marLSTN_1^2$); (2) Phức hệ tướng bùn đầm lầy ven biển biển tiến ($MamtTSTN_1^2$); (3) Phức hệ tướng bùn biển nông-vũng vịnh ($MmtTSTN_1^2$); (4) Phức hệ tướng ám tiêu san hô ($CoRTSTN_1^2$).

4. Chu kỳ thạch – kiến tạo Miocen muộn có 4 phức hệ tướng tiêu biểu: (1) Phức hệ tướng cát bùn aluvi biển thấp ($S_marLSTN_1^3$); (2) Phức hệ tướng bùn đầm lầy ven biển ($MamtTSTN_1^3$); (3) Phức hệ tướng cát bùn hỗn hợp lục nguyên và vụn sinh vật biển nông ven bờ ($SmmtTSTN_1^3$). Trên mặt cắt địa chấn trầm tích Miocen muộn các trường sóng phản xạ trắng; (4) Phức hệ tướng ám tiêu san hô ($CoRTSTN_1^3$).

5. Trầm tích Miocen sớm và Miocen giữa đã trải qua giai đoạn hậu sinh tức đã vượt ngưỡng cửa sổ tạo dầu và kết thúc quá trình biểu sinh cũng đồng thời kết thúc pha nghịch đảo kiến tạo. Hàng loạt các bẫy cấu tạo, hỗn hợp và ám tiêu san hô được hình thành.

***Lời cảm ơn**:* Kết quả nghiên cứu của bài báo là một bước phát triển mới sâu hơn trên cơ sở tích hợp một số số liệu và kết quả luận án của Trần Thị Dung (2020). Trong quá trình thực hiện nội dung bài báo tập thể tác giả luôn nhận được sự động viên khích lệ của tạp chí Địa chất thuộc Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam. Nhân dịp này tập thể tác giả xin được bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc.

Văn liệu

Nguyễn Hiệp (Chủ biên), 2007. Địa chất và tài nguyên dầu khí Việt Nam, *Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.*

Trần Nghi (Chủ trì), 2013. Báo cáo tổng kết đề tài cấp ngành Nghiên cứu cơ chế kiến tạo hình thành các bể trầm tích vùng nước sâu Nam Biển Đông và mối liên quan đến triển vọng Dầu Kh. *Tập đoàn dầu khí Việt Nam, Hà Nội*.

Chu Văn Ngợi (Chủ trì), 2015. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước Nghiên cứu kiến tạo - địa động lực, cơ chế hình thành và phát triển các bể Kainozoi Phú Khánh, Nam Côn Sơn, Tư Chính - Vũng Mây dưới ảnh hưởng của tách giãn biển Đông và bối cảnh kiến tạo - địa động lực các vùng kế cận, phục vụ điều tra, đánh giá tiềm năng khoáng sản, dầu khí, mã số*: KC 09.20/11-15, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Hà Nội.*

Briais A., et al, 1993. Updated interpretation of magnetic anomalies and seafloor spreading stages in the South China Sea: implications for Tertiary tectonics of SE Asia. *Journal Geophys. Res., Vol.98, pp.6299-6328.*

Longley Ian. M., 1997. The Tectonostratigraphic Evolution of S.E.Asia. *Petroleum Geology of SE.Asia.*

Lee, G.H., Watkins, J.S., 1998. Seismic stratigraphy and hydrocarbon potential of the Phu Khanh Basin, offshore Central Vietnam, South China Sea. *AAPG Bulletin V.82, N0. 9, pp. 1711–1735.*

Tapponier P., Peltzer G., et al, 1982. Propagating extrusion tectonics in Asia: new insights from simple experiments with plasticine. *Geology vol. 10 , pp. 611-619.*

Tapponier P., Peltzer G., et al, 1986. On the mechanics of collision between India and Asia. In: Coward M.P. and Ries A.C. (eds.). *Collision tectonics. Blackwell, Oxford. pp.115-157.*

Michale B.W Fyhn, Lars Nielsen, L.O.Boldreel, Le.D.Thang, Jorgen Bojensen-Koefoed, Henrik I.Petersen, Nguyen T. Huyen, Nguyen A. Duc, Nguyen T. Dau, Andres Mathiesen, Ian Reid, Dang T. Huong, Hoang A. Tuan, Le V. Hien, Hans P. Nytolft, Ioannis Abtzis, 2009. Geological evolution, regional perspectives and hydrocarbon potential of the northwest Phu Khanh basin, offshore central Vietnam. *Marien and Petroleum geology, pp.1-24. (268).*

Michale B.W Fyhn, Boldreel, L.O., Nielsen, L.H., 2009. Geological development of the Central and South Vietnamese margin: Implications for the establishment of the South China Sea, Indochinese escape tectonics and Cenozoic volcanism. *Tectonophysics 478, pp. 184-214.*

Michael B.W. Fyhn, Lars O. Boldreel, Lars H. Nielsen, Tran C. Giang, Le H. Nga, Nguyen T.M. Hong, Nguyen D. Nguyen and Ioannis Abatzis, 2013. Carbonate platform growth and demise offshore Central Vietnam: Effects of Early Miocene transgression and subsequent onshore uplift. *Journal of Asian Earth Sciences 76 (2013) 152–168.*

Savva, D., Meresse, F., Pubellier, M., Chamot-Rooke, N., Lavier, L., Po, K. Wong, Franke, D., Steuer, S., Sapin, F., Auxietre, J.L., Lamy, G., 2013. Seismic evidence of hyper-stretched crust and mantle exhumation offshore Vietnam. *Tectonophysics, doi: 10.1016/j.tecto.2013.07.010.*

Trần Nghi, Trần H. Thân, Chu V. Ngợi, Đinh X. Thành, Trần T.T. Nhàn, Nguyễn

T.H. Trang, Nguyễn D.Tuấn, Nguyễn V. Kiểu, Trần T. Dung, Nguyễn T.P. Thảo, Phạm T.T. Hằng, Trần V. Sơn 2013. Tiến hóa trầm tích Kainozoi bể Phú Khánh trong mối quan hệ với hoạt động địa động lực. *Tạp chí Địa chất, Cục địa chất và khoáng sản Việt Nam, Loạt A số 334- ngày 3-4/2013. ISSN 0866-7381, tr.28 – 36.*

Trần Nghi, Trần H. Thân, Chu V. Ngợi, Đinh X. Thành, Trần T.T. Nhàn, Nguyễn D. Tuấn, Trần T. Dung, Nguyễn T.P. Thảo, Phạm T.T. Hằng, Nguyễn T. Tuyến, 2014. Biến dạng các bể thứ cấp trong Kainozoi khu vực bể Phú Khánh và triển vọng dầu khí liên quan. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tập 30, Số 2S (2014) 1-11.*

Trần Nghi, Chu V. Ngợi, Nguyễn T. Tín, Cao Đ. Triều, 2014. Kiến tạo các bể trầm tích Kainozoi vùng biển nước sâu thềm lục địa Việt Nam. *Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 279 tr*.

Tran T. Dung, Tran Nghi, Nguyen T. Hung, Dinh X. Thanh, Pham B. Ngọc, Nguyen T.Tuyen, Tran T.T. Nhan, Nguyễn T. H.Trang, 2018. The Miocene Depositional Geological Evolution of Phu Khanh, Nam Con Son and Tu Chinh - Vung May Basins in Vietnam Continental Shelf. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 34, No. 1 (2018) 112-135.*

Trần T. Dung, Chu V. Ngợi, 2016. Cơ chế hình thành bể Phú Khánh. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường, Tập 32, Số 2S (2016) 59-68.*

Trần T. Dung, Trần Nghi, Chu V. Ngợi, Nguyễn T. Hùng, Nguyễn T.H. Trang, 2019. Tiến hóa cấu trúc địa chất và môi trường trầm tích Miocen khu vực bể Phú Khánh. *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái đất và Môi trường*, Tập 35 (1), tr. 71-93.

Trần T. Dung, 2020. Nghiên cứu lịch sử phát triển địa chất trong Miocen bể Phú Khánh và ý nghĩa dầu khí. *Luận án tiến sỹ địa chất, Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội.*