

THÀNH PHẦN MACERAL CỦA MỘT SỐ MẪU THAN/TRẦM TÍCH MIOCEN TẠI GIẾNG KHOAN 102-CQ-1X BỂ TRẦM TÍCH SÔNG HỒNG

ThS. Lê Hoài Nga, KS. Phí Ngọc Đông, KS. Hồ Thị Thành, ThS. Hà Thu Hương
ThS. Nguyễn Thị Bích Hạnh, ThS. Nguyễn Thị Thanh
Viện Dầu khí Việt Nam

Tóm tắt

Việc nghiên cứu chi tiết thành phần hữu cơ trong than/trầm tích (thạch học hữu cơ) kết hợp với các nghiên cứu địa hóa truyền thống không những chỉ ra được khả năng sinh dầu, khí chính xác của than/trầm tích mà còn xác định được điều kiện hình thành/môi trường thành tạo trầm tích/than. Ngoài ra, việc nghiên cứu thành phần maceral còn chỉ ra nhân than/mức độ biến chất của than, góp phần xác định đặc tính công nghiệp của than và được ứng dụng trong nghiên cứu tìm kiếm thăm dò khí than.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu thử nghiệm xác định thành phần maceral trong than/trầm tích Miocen tại giếng khoan 102-CQ-1X (khu vực phía Bắc bể Sông Hồng) bằng kính Leica DMR đã được tiến hành tại phòng Địa hóa - Trung tâm Nghiên cứu Tìm kiếm Thăm dò và Khai thác Dầu khí - Viện Dầu khí Việt Nam. Bài báo trình bày kết quả và khả năng ứng dụng của nghiên cứu thạch học hữu cơ trong công tác nghiên cứu tìm kiếm thăm dò dầu khí.

1. Giới thiệu

Thạch học than/hữu cơ là ngành khoa học nghiên cứu, mô tả các thành phần vật chất hữu cơ trong than/trầm tích, từ đó đánh giá khả năng sử dụng, nguồn gốc và quá trình hình thành của than/trầm tích. Bản chất của thạch học hữu cơ là xác định các chất hữu cơ trong than/trầm tích bằng cách quan sát dưới kính hiển vi trong điều kiện chế độ ánh sáng trắng và ánh sáng huỳnh quang (phản xạ hoặc truyền qua).

Đối tượng nghiên cứu chính của thạch học than là "maceral". Thuật ngữ maceral được nhà khoa học người Anh - Marie Stopes đưa ra trong các tài liệu của mình những năm đầu thế kỷ XX để chỉ các thành phần tạo nên than xác định được dưới kính hiển vi, tương đương với các khoáng vật tạo nên đá. Theo các hệ thống phân loại hiện hành, maceral được phân thành 3 nhóm sau:

- Nhóm Huminite/Vitrinite bắt nguồn từ tàn tích thực vật humic bị than hóa, chủ yếu là lignin và cellulose. Dưới ánh sáng phản xạ, mảnh vitrinite có màu xám và dưới kích thích UV có thể có phát quang yếu [9, 11];

- Nhóm Liptinite bắt nguồn từ phần nhựa cây và sáp thực vật - tàn tích của thực vật giàu hydro như cutin, resin, chất béo, sáp và vỏ tế bào của bào tử, phấn hoa và tàn tích của vi khuẩn. Nhóm Maceral và Liptinite có hệ số phản xạ thấp nhất dưới ánh sáng trắng. Dưới kích thích UV, liptinite phát huỳnh quang trong đó màu huỳnh quang của bào tử được sử dụng như một thông số để xác định mức độ trưởng thành nhiệt;

- Nhóm Inertinite trong hầu hết trường hợp bao gồm các nguyên liệu thực vật giống vitrinite nhưng bị biến đổi thứ sinh hoặc bị oxy hóa trước và trong khi bị than hóa. Điểm đặc trưng của inertinite là mức độ phản xạ cao hơn so với các mảnh vitrinite trong mẫu và không có phát quang dưới kích thích UV [9].

Hệ thống phân loại thông dụng nhất hiện nay là hệ thống phân loại của ICCP (Bảng 1), thể hiện trong một số phiên bản "Sổ tay quốc tế của thạch học than" (International handbook of coal petrology - ICCP, 1963, 1971, 1975, 1993). Hệ thống này được điều chỉnh - bổ sung trong một số ấn phẩm của ICCP (1998, 2001), Sýkorová và nnk (2005) [9 - 11].

Bảng 1. Hệ thống phân loại maceral của ICCP

Than lignite á bitum			Than bitum và anthracite			
Nhóm	Phụ nhóm	Maceral	Maceral	Phụ nhóm	Nhóm	
Huminite	Telohuminite	Textinite	Telinite	Telovitrinite	Vitrinite	
		Uminite	Collotelinite			
	Detrohuminite	Attrinite	Vitrodetrinite	Detrovitrinite		
		Densinite	Collodetrinite			
	Gelohuminite	Gelinite	Gelinite	Gelinite		Gelovitrinite
			Corpohuminite			
Liptinite		Sporinite	Sporinite	Liptinite		
		Cutinite	Cutinite			
		Resinite	Resinite			
		Alginite	Alginite			
	Liptodetrinite	Liptodetrinite				
	Suberinite					
	Chlorophyllinite					
	Exsudatinite					
Bituminite						
Inertinite	Telo-inertinite	Fusinite	Fusinite	Telo-inertinite	Inertinite	
		Semifusinite	Semifusinite			
	Funginite	Funginite				
	Secretinite	Secretinite				
	Inertodetrinite	Inertodetrinite				
	Detro-inertinite	Macrinite	Macrinite	Detro-inertinite		
		Micrinite	Micrinite			
	Gelo-inertinite			Gelo-inertinite		

than và được ứng dụng trong nghiên cứu tìm kiếm thăm dò khí than.

Trên cơ sở đó, nhóm tác giả đã nghiên cứu xây dựng quy trình phân tích thành phần maceral trong than/trầm tích; ứng dụng nghiên cứu, xác định thành phần maceral trong than và trầm tích Miocen khu vực phía Bắc bể Sông Hồng, từ đó nêu ra khả năng ứng dụng của việc nghiên cứu thành phần maceral trong công tác nghiên cứu tìm kiếm thăm dò dầu khí.

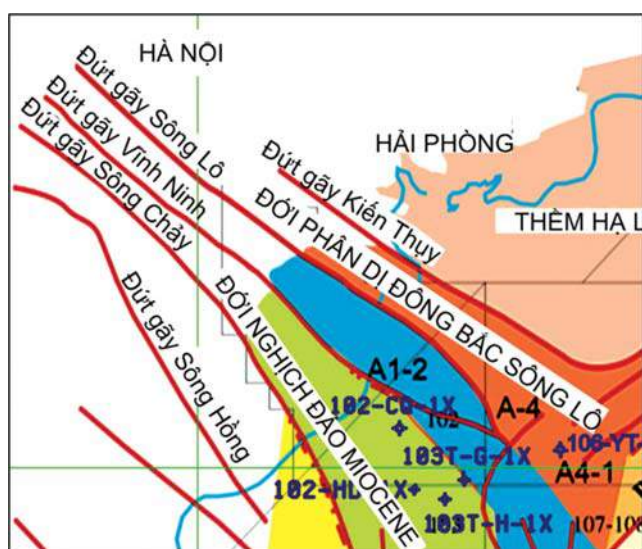
2. Bối cảnh địa chất và phương pháp nghiên cứu

Giếng khoan 102-CQ-1X được Idemitsu khoan năm 1994 tại cấu tạo Cây Quất, khu vực Lô 102 phía Bắc bể trầm tích Sông Hồng (Hình

1), giếng khoan gặp đầy đủ các phân vị của trầm tích Miocen; thành tạo chủ yếu trong môi trường đồng bằng châu thổ; thành phần chủ yếu là cát kết, bột kết chứa than.

Nhóm tác giả chọn 8 mẫu than và 7 mẫu trầm tích tại giếng khoan 102-CQ-1X thu thập từ độ sâu 1.750 - 3.010m để tiến hành phân tích thành phần maceral. Mẫu trầm tích được tách và làm giàu kerogen bằng cách xử lý qua dung dịch HF, HCl đậm đặc và dung dịch nặng. Kerogen sau khi tách để khô tự nhiên và đúc trong khuôn nhựa. Mẫu than làm nhỏ đến cỡ hạt từ 850 - 1.000µm để đổ khuôn (đường kính 30mm) với hỗn hợp nhựa epoxy và chất đóng rắn (pha theo tỷ lệ gợi ý của nhà sản xuất). Khuôn mẫu sau khi đóng rắn hoàn toàn được mài và đánh bóng trên hệ thống thiết bị mài Struers Tergra với chất mài mòn DP Suspension cỡ hạt 1µm và 1/4µm và dung dịch mài DP Lubricant Blue.

Mẫu sau khi đạt độ bóng cần thiết được phân tích thành phần maceral trên hệ thống kính Leica DMR với vật kính có độ phóng đại 20, 50 và 100 lần trong dầu nhúng, sử dụng ánh sáng phản xạ trắng và ánh sáng huỳnh quang. Số lượt đếm tối thiểu cho một mẫu là 500 điểm.



Hình 1. Sơ đồ vùng nghiên cứu

Việc nghiên cứu chi tiết thành phần hữu cơ trong than/trầm tích (thạch học hữu cơ) kết hợp với các nghiên cứu địa hóa truyền thống không những chỉ ra được khả năng sinh dầu, khí chính xác của than/trầm tích mà còn xác định được điều kiện hình thành/môi trường thành tạo trầm tích/than. Ngoài ra, việc nghiên cứu thành phần maceral còn chỉ ra nhân than/mức độ biến chất của than, góp phần xác định đặc tính công nghiệp của

Bảng 2. Thành phần maceral trong các mẫu than, trầm tích

TT	Tên giếng khoan	Độ sâu (m)	Loại mẫu	Huminite (Vitrinite) (%)	Liptinite (%)	Inertinite (%)	Khoáng vật (%)
1	102-CQ-1X	1.750 - 1.760	Than	85,00	5,90	7,10	2,00
2	102-CQ-1X	1.990 - 2.000	Than	82,20	9,80	7,00	1,00
3	102-CQ-1X	2.060 - 2.070	Than	77,50	12,60	5,00	5,10
4	102-CQ-1X	2.080 - 2.090	Than	74,10	9,60	9,40	6,90
5	102-CQ-1X	2.150 - 2.160	Trầm tích	84,26	4,24	5,10	6,40
6	102-CQ-1X	2.150 - 2.160	Than	83,80	9,80	5,00	1,40
7	102-CQ-1X	2.240 - 2.250	Trầm tích	75,27	9,96	6,37	8,40
8	102-CQ-1X	2.310 - 2.320	Trầm tích	76,74	3,87	9,30	10,09
9	102-CQ-1X	2.580 - 2.590	Trầm tích	82,21	8,30	3,16	6,33
10	102-CQ-1X	2.590 - 2.600	Trầm tích	75,60	6,40	2,80	15,20
11	102-CQ-1X	2.660 - 2.670	Trầm tích	73,50	3,95	7,52	15,03
12	102-CQ-1X	2.680 - 2.690	Than	69,60	16,60	9,60	4,20
13	102-CQ-1X	3.000 - 3010	Than	79,10	7,60	10,30	3,00

3. Kết quả và thảo luận

Thành phần maceral của than và trầm tích Miocen trong giếng khoan 102-CQ-1X được thể hiện trong Bảng 2; kết quả trên ghi nhận cả lượng khoáng vật trong mẫu.

3.1. Mẫu kerogen

Thành phần maceral trong kerogen chủ yếu là vitrinite (chiếm trên 75%); liptinite và inertinite không chiếm quá 10% mỗi loại còn lại là khoáng vật (pyrite, carbonate và khoáng vật sét) (Ảnh 1 - 5).

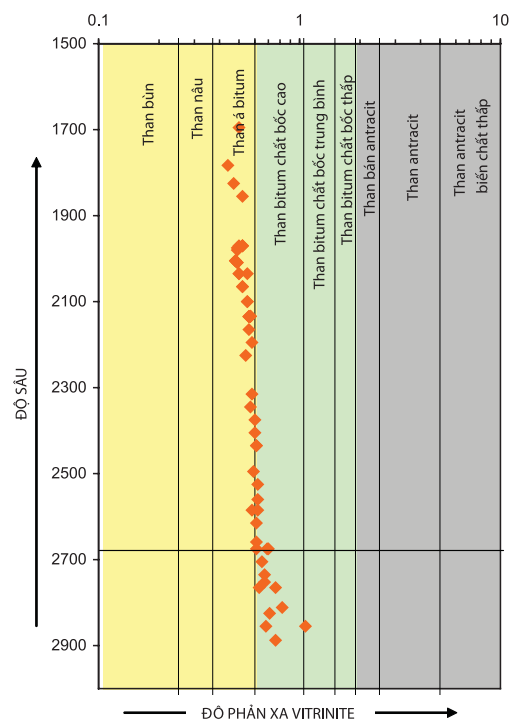
Vitrinite maceral trong mẫu chủ yếu là collotelinite, tellinite và collodetrinite, mức độ bảo tồn không tốt, bị khoáng vật lấp đầy. Liptinite maceral gồm chủ yếu là resinite màu nâu đỏ đến nâu sẫm, phát quang yếu và sporinite phân bố xâm tán trên nền vitrinite. Thành phần cutinite và suberinite quan sát được trong các mẫu ở độ sâu 2.150 - 2.160m và 2.580 - 2.590m. Alginite có mặt trong mẫu với lượng không đáng kể. Maceral nhóm Inertinite chủ yếu là fusinite, semifusinite và các mảnh vụn của inertinite (inertodetrinite) (Ảnh 1 - 5).

3.2. Mẫu than

3.2.1. Maceral nhóm Huminite/Vitrinite

Trong các mẫu than từ độ sâu 1.750 - 2.250m của giếng khoan 102-CQ-1X, thành phần của huminite chiếm trên 80%, trong đó chủ yếu là ulminite (U), densinite (D), corpohuminite (Co) và ít gelinite với những tỷ lệ hợp phần khác nhau.

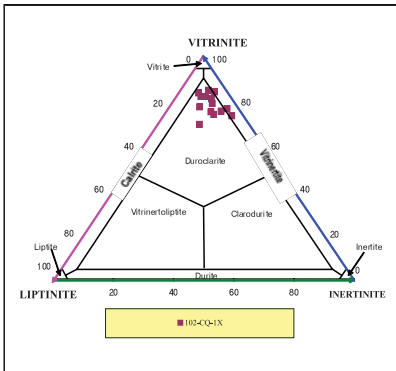
Ulminite là maceral thuộc phụ nhóm Telohuminite - nhóm Huminite, có nguồn gốc từ các tế bào mô bần và tế bào mô gỗ của rễ cây, cành cây và lá cây. Đây là nhóm mà cấu trúc tế bào thực vật được bảo tồn gần như nguyên vẹn



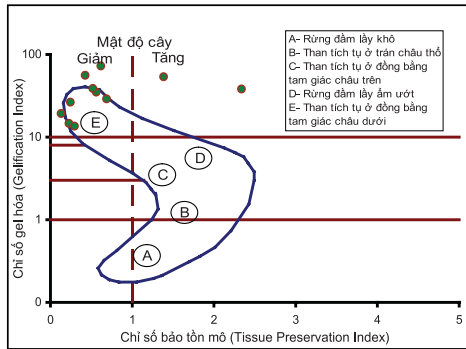
Hình 2. Nhân than theo tài liệu Vitrinite tại giếng khoan 102-CQ-1X

và dễ dàng quan sát được dưới kính hiển vi. Sự phong phú của thành phần huminite trong mẫu là chỉ thị cho điều kiện bảo tồn cấu trúc tế bào rất cao, môi trường thành tạo có độ pH thấp như các đầm lầy trong rừng hoặc vùng nước tù đọng (Ảnh 8).

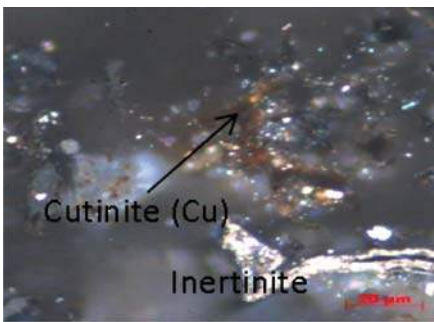
Corpohuminite (Co) là maceral thuộc phụ nhóm Gelohuminite - nhóm Huminite, có dạng hình cầu, trái xoan (oval) hoặc kéo dài; phi cấu trúc và khá đồng nhất. Corpohuminite có nguồn gốc từ dịch tế bào, tannin, hay hỗn hợp của các hợp chất thơm. Khả năng bảo tồn của corpohuminite trong điều kiện phân hủy tự nhiên khá tốt, nó cũng không tan trong dung môi phân cực, không phân cực và hydroxide nóng. Trong các mẫu



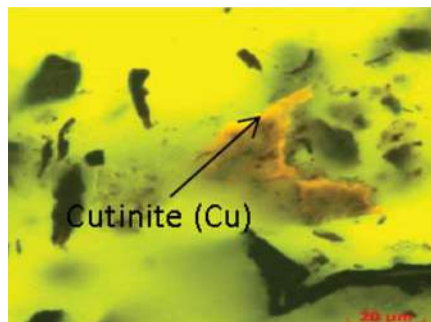
Hình 3. Vi tướng thạch học than



Hình 4. Môi trường tích tụ trầm tích chứa than (theo Diessel và McHugh, 1986)

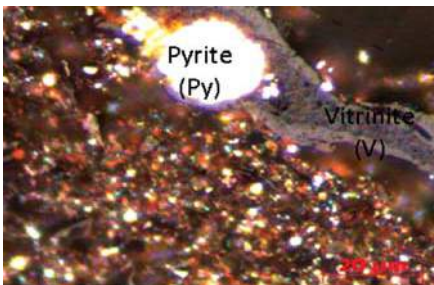


(a)

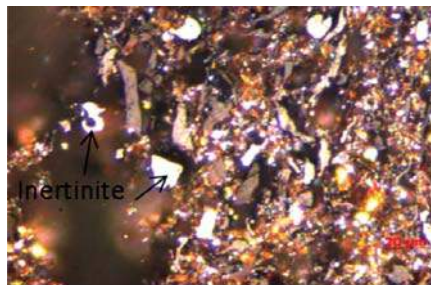


(b)

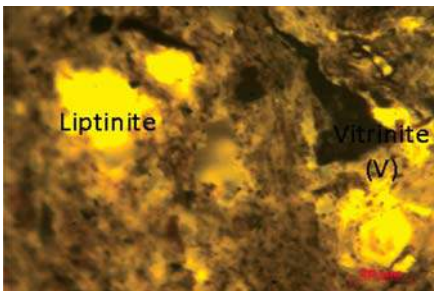
Ảnh 1. Cutinite và Inertinite trong mẫu trầm tích độ sâu 2.580 - 2.590m dưới ánh sáng trắng (a) và ánh sáng huỳnh quang (b) (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



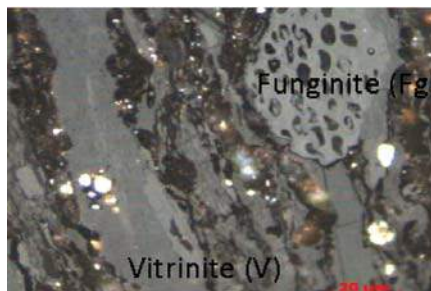
Ảnh 2. Vitrinite và khoáng vật pyrite trong mẫu trầm tích độ sâu 2.310 - 2.320m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 3. Inertodetrinite, vitrinite và khoáng vật trong mẫu trầm tích độ sâu 2.310 - 2.320m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 4. Liptinite và vitrinite trong mẫu trầm tích độ sâu 2.240 - 2.250m dưới ánh sáng huỳnh quang (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



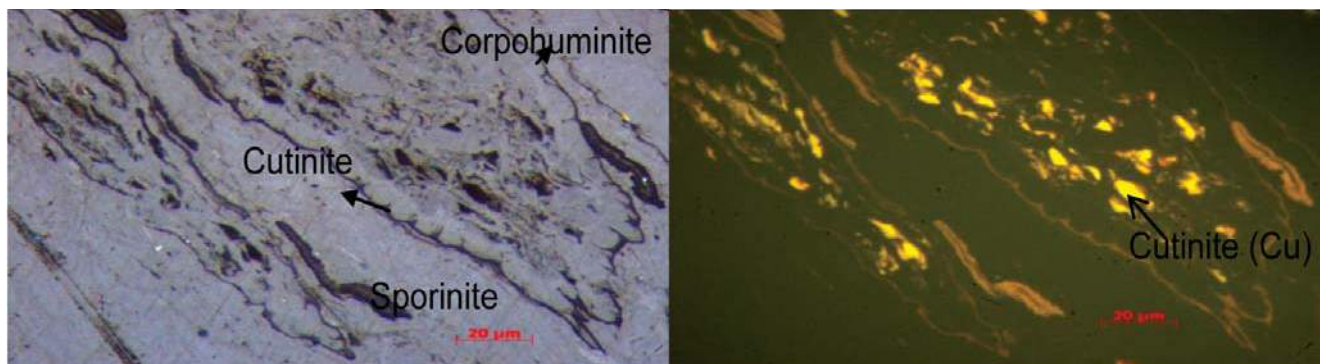
Ảnh 5. Funginite, Vitrinite và Pyrite (đốm sáng tròn) trong mẫu trầm tích độ sâu 2.150 - 2.160m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)

phân tích, corphuminite chủ yếu ở dạng lấp đầy trong cấu trúc của suberinite (Su) tạo thành dạng hình thái rất đặc trưng và dễ nhận biết (Ảnh 6, 7), có màu xám đến xám sáng, không phát quang dưới ánh sáng huỳnh quang. Ngoài ra, còn một phần nhỏ gelinite với tỷ lệ không đáng kể.

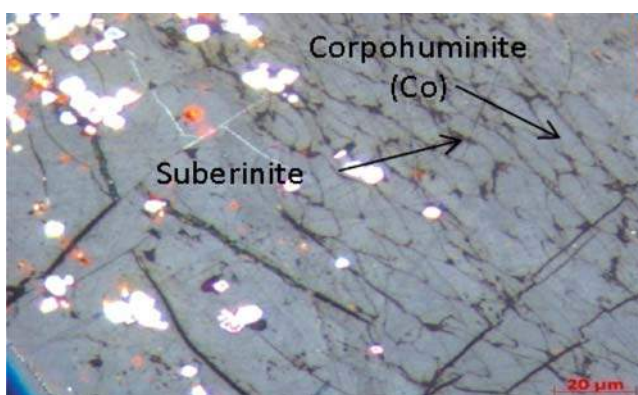
Các mẫu từ độ sâu 2.680 - 2.690m và 3.000 - 3.010m, thành phần vitrinite chủ yếu là collotelinite, collodetrinite và corpogelinite. Tiền thân của collotelinite (Ct) là ulminite, đó là các thể tương đối đồng nhất, hầu như không có cấu trúc. Giá trị phản xạ của nó thường được dùng để xác định nhân than. Nhìn chung, mức độ bảo tồn của các maceral này trong hai mẫu trên không cao, bị gặm mòn và lấp đầy bởi khoáng vật; khe nứt trong các mảnh phát triển là điều kiện để lưu giữ hydrocarbon (Ảnh 9).

3.2.2. Maceral nhóm Liptinite

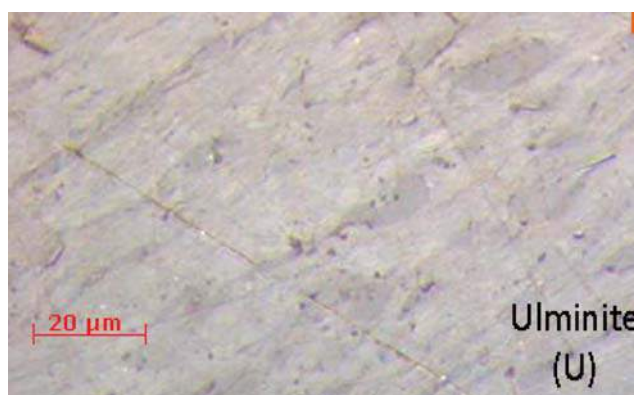
Thành phần liptinite trong mẫu than ở khoảng độ sâu từ 1.750 - 2.160m chủ yếu là sporinite, resinite và cutinite (Ảnh 11 - 13). Sporinite có nguồn gốc chủ yếu từ vỏ bào tử và phấn hoa. Trong các mẫu trên, maceral này phần lớn ở dạng micro-sporinite, phân bố cả ở dạng đơn lẻ và dạng đám trên nền vitrinite; mức độ bảo tồn khá tốt. Cấu trúc mô của suberinite cũng được bảo tồn khá tốt và bị lấp đầy bởi corpogelinite (Ảnh 14). Cutinite quan sát được rất rõ trong mẫu do có kích thước khá lớn, độ bảo tồn tốt, độ nổi không cao (Ảnh 13b).



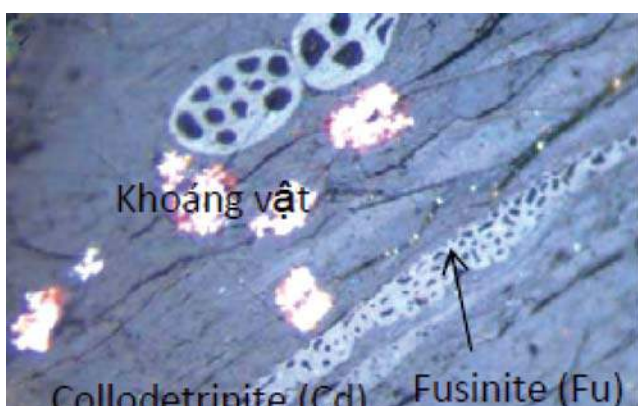
Ảnh 6. Corpohuminite, Resinite lấp đầy trong các ô rỗng của Cutinite trong mẫu than độ sâu 2.060 - 2.070m dưới ánh sáng trắng phản xạ và ánh sáng huỳnh quang (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



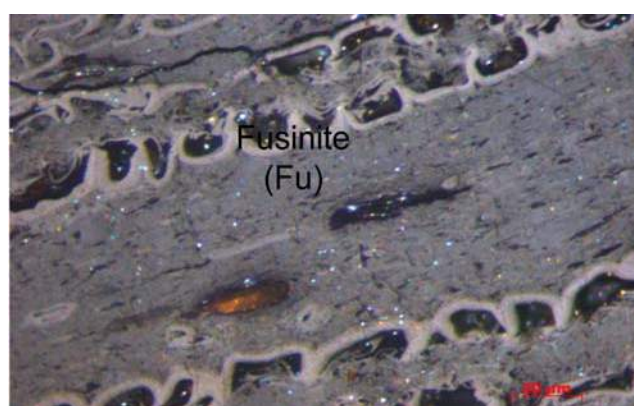
Ảnh 7. Corpohuminite lấp đầy trong các ô rỗng cấu trúc của suberinite trong mẫu than độ sâu 2.150 - 2.160m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 8. Ulminite trong mẫu than độ sâu 2.060 - 2.070m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 9. Vitrite trong mẫu than độ sâu 2.680 - 2.690m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



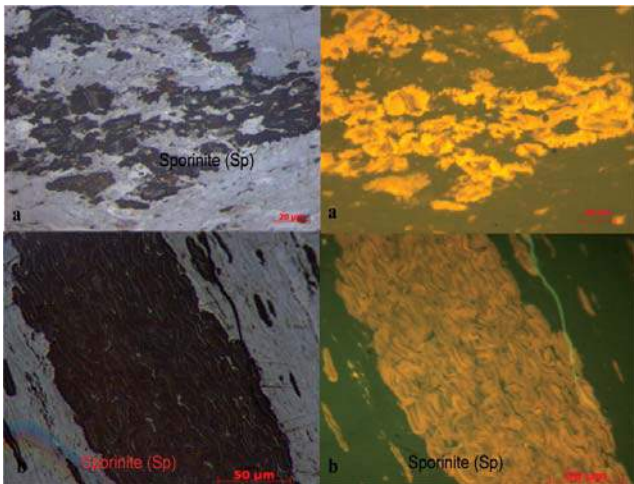
Ảnh 10. Fusinite trong mẫu than độ sâu 1.750 - 1.760m dưới ánh sáng trắng phản xạ (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)

Thành phần liptinite trong mẫu than độ sâu 2.680 - 2.690m, lên đến trên 16,6% trong đó chủ yếu là sporinite, cutinite và suberinite. Exudatinites - loại maceral thứ sinh có nguồn gốc từ quá trình sinh dầu của vật chất hữu cơ lấp đầy trong khe nứt của mảnh vitrine (Ảnh 12).

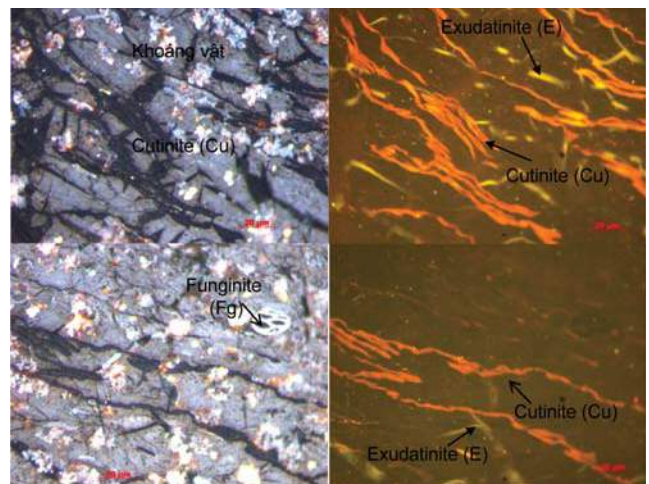
3.2.3. Maceral nhóm Inertinite

Thành phần maceral trong nhóm Inertinite tại giếng khoan 102-CQ-1X chủ yếu là fusinite, semifusinite (Sf) và funginite (Fu). Khả năng bảo tồn cấu trúc của các maceral này khá tốt (Ảnh 1, 3, 5, 9, 10).

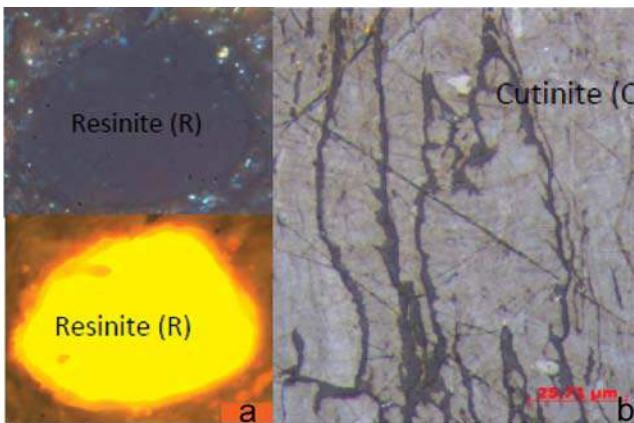
Thành phần khoáng vật trong mẫu chủ yếu là carbonate lấp đầy trong các ô rỗng tế bào, kết hạch siderit và pyrite (Ảnh 2, 7, 9).



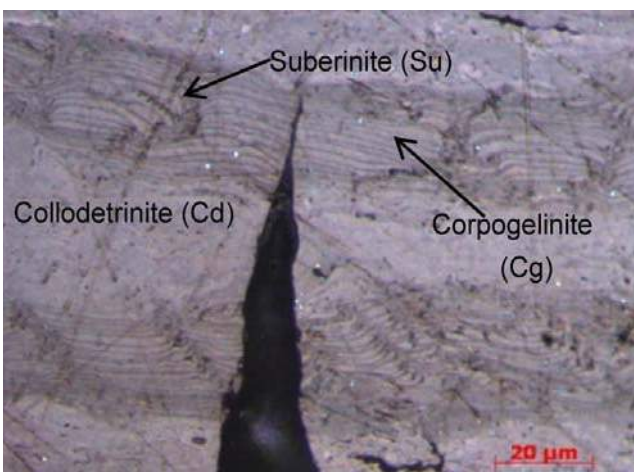
Ảnh 11. Sporinite phân bố thành từng đám trên nền vitrinite trong mẫu than độ sâu 1.990 - 2.000m (a) và 2.240 - 2.250m (b) dưới ánh sáng trắng và huỳnh quang (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 12. Exudatinite phân bố trong khe nứt của vitrinite và cutinite trong mẫu than độ sâu 2.680 - 2.690m dưới ánh sáng trắng và huỳnh quang (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 13. Resinite (a) trong mẫu than độ sâu 2.080 - 2.090m (ánh sáng trắng phân xạ và ánh sáng huỳnh quang). Cutinite (b) trong mẫu than độ sâu 2.150 - 2.160m (ảnh chụp trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)



Ảnh 14. Suberinite bị lấp đầy bởi corpogelinite trong mẫu than độ sâu 3.000 - 3.010 (ảnh chụp dưới ánh sáng trắng phân xạ trong dầu nhúng, phóng đại 50 lần)

3.3. Nhân than, tương thạch học và môi trường thành tạo

Trong giếng khoan 102-CQ-1X, so sánh sự thay đổi thành phần maceral từ nhóm Huminite sang nhóm Vitrinite theo độ sâu với kết quả độ phân xạ vitrinite (Hình 2) đã công bố trước đó cho thấy có sự tương đồng; mẫu từ khoảng độ sâu 1.750 - 2.670m có mức độ biến chất ở mức than bùn đến giai đoạn đầu của á bitum; mẫu từ khoảng độ sâu 2.680 - 3.010m là á bitum đến than bitum chất bốc cao. Chỉ thị exudatinite trong các khe nứt của mẫu than độ sâu 2.680 - 2.690m (102-CQ-1X) cho thấy mẫu đã trải qua quá trình sinh dầu [12, 13].

Các mẫu phân tích chủ yếu có tương duroclarit (Hình 3). Phân tích mối tương quan của chỉ số bảo tồn mô TPI (Tissue Presevation Index) và chỉ hóa gel hóa GI (Gelification Index) của các mẫu than trong giếng khoan cho thấy chúng chủ yếu thành tạo trong môi trường đồng bằng tam giác châu dưới (Hình 4).

Chỉ số TPI (Diesel, 1986) thể hiện mối tương quan giữa các maceral có cấu trúc của nhóm Huminite + Inertinite và các maceral phi cấu trúc của nhóm Humodetrinite + Humocollinite + Inertodetrinite [14 - 16] và thể hiện mức độ humic hóa của maceral là tiền thân. Chỉ số gel hóa GI cho thấy mức độ tương đối của độ ẩm trong môi trường thành tạo than bùn; giá trị GI được tính theo công thức $GI = \text{huminite/inertinite}$ (Diesel, 1986; Diesel, 1992) [14 - 16]. Kết quả trên khá phù hợp với các nghiên cứu trước đó về tương môi trường trầm tích khu vực bể Sông Hồng.

4. Kết luận

1. Thành phần maceral trong mẫu than/trầm tích khu vực này chủ yếu là huminite/vitrinite; phần lớn là than lignite, vi tướng duroclarit;
2. Mức độ biến chất của maceral trong than/trầm thấp; mức độ bảo tồn tương đối tốt;
3. Môi trường thành tạo than/trầm tích là môi trường đồng bằng tam giác châu;
4. Chỉ thị exsudatinitic trong mẫu có độ sâu lớn hơn 2.600m tại giếng khoan 102-CQ-1X và tỷ lệ liptinite cao trong mẫu (16,6%) cho thấy mẫu có khả năng sinh hydrocarbon lỏng và đã trải qua giai đoạn tạo dầu.

Tài liệu tham khảo

1. Isabel Suárez - Ruiz, John C. Crelling. *Applied coal petrology - The role of petrology in coal utilization*. Elsevier Ltd. 2008.
2. Erich Stach, Duncan Murchison. *Stach's textbook of coal petrology*. The second edition. Gerbuder Borntraeger Printer. 1982.
3. ASTM D 2798-09a. *Standard test method for microscopical determination of the vitrinite reflectance of coal*. 2005.
4. ASTM D 2799-05a. *Standard test method for microscopical determination of the maceral composition of coal*. 2005.
5. ГОСТ 9414-74. *Угли бурые, каменные и антрациты. Метод определения петрографического состава*. Взамен ГОСТ 9414-60; введ. 1976-01-01. М.: Изд-во стандартов. 1987: с. 23.
6. ГОСТ 9414.1-94 (ИСО 7404-1-84). *Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 1: Словарь терминов*. Введ. 1996-01-01. Минск: Изд-во стандартов. 1995: с.23.
7. ГОСТ 9414.2-93 (ИСО 7404-2-85). *Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 2: Метод подготовки образцов угля*. Введ. 1995-01-01. Минск: Изд-во стандартов. 1995: с. 18.
8. ГОСТ 9414.3-93 (ИСО 7404-3-84). *Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 3: Метод определения групп мацералов*. Введ. 1995-01-01. Минск: Изд-во стандартов. 1995: с. 12.
9. ICCP. *The new vitrinite classification (ICCP system 1994)*. Fuel, Elsevier. 1998; 77: p. 349 - 358.
10. ICCP. *The new Inertinite classification (ICCP System 1994)*. Fuel, Elsevier. 2001; 80: p. 459 - 471.
11. I.Sýkorová, W.Pickel, K.Christanis, M.Wolf, G.H.Taylor, D.Flores. *Classification of huminite - ICCP system 1994*. International Journal of Coal Geology, Elsevier. 2005; 62: p. 85 - 106.
12. Judith Potter, Lavern D. Stasiuk, Alexander R. Cameron. *A petrographic Atlas of coal macerals and dispersed organic matter*. Canadian Society for coal science and organic petrology, geological survey of Canada (Calgary), Canmet Energy Technology Centre. 1998.
13. Isabel Suárez-Ruiz, Deolinda Flores, João Graciano Mendonça Filho, Paul C. Hackley. *Review and update of the applications of organic petrology: Part 1. Geological applications*. International Journal of Coal Geology. 2012; 99: p.54 - 112.
14. Monica Kurkova, Zdenek Klila, Petr Martinec, Jaroslava Pegrimocova. *Composition of bituminous coal in dependence on environment and temperature of alteration*. Bulletin of the Czech geological survey. 2003; 78(1): p. 23 - 34.
15. Andreas Georgakopoulos, Sevdalina Valceva. *Petrographic characteristics of Neogene lignites from the ptolemis and servia basins, Northern Greece*. Energy sources. 2000; 22, p. 587 - 602.
16. Alexander Zdravkov, Jordan Kortenski. *Maceral composition and depositional environment of the coals from Beli Breg basin, Bulgari*. Review of the Bulgarian geological society. 2004; 65(1 - 3): p.157 - 166.