

TÌM KIẾM HYDROGEN TỰ NHIÊN TRONG LÒNG ĐẤT - NGUỒN NĂNG LƯỢNG MỚI CHO TƯƠNG LAI

Nguyễn Anh Đức¹, Phan Ngọc Trung²

¹Tập đoàn Dầu khí Việt Nam

²Viện Dầu khí Việt Nam

Email: ducna@pvn.vn

<https://doi.org/10.47800/PVJ.2021.12-01>

Tóm tắt

Hydrogen chiếm 75% các vật chất thông thường theo khối lượng, trên 90% theo số lượng nguyên tử và là nguyên tố phổ biến thứ 3 trên bề mặt trái đất, chủ yếu là ở dạng hợp chất hóa học như nước và hydrocarbon. Hydrogen khi được đốt cháy tạo ra nhiệt và nước, không gây ô nhiễm môi trường và được dự báo là nguồn năng lượng sạch của tương lai.

Hiện nay, hydrogen chỉ được sản xuất công nghiệp chủ yếu thông qua quá trình nhiệt hóa các nguồn nguyên liệu hóa thạch như than, khí tự nhiên và sản xuất từ quá trình điện phân nước. Các phát hiện hydrogen tự nhiên được ghi nhận trên thế giới, đặc biệt là việc thăm dò và phát hiện các tầng chứa hydrogen tương đối tinh khiết, khai thác thử và sử dụng hydrogen để phát điện ở Bourakebougou (Mali) cho thấy khả năng tìm kiếm, khai thác hydrogen tự nhiên trong lòng đất. Bài báo giới thiệu các phát hiện hydrogen trong tự nhiên trên thế giới và đề xuất công tác tìm kiếm hydrogen tự nhiên trong lòng đất ở Việt Nam.

Từ khóa: Hydrogen tự nhiên, hệ thống hydrogen, chuyển dịch năng lượng.

1. Giới thiệu

Chuyển dịch năng lượng là xu hướng đang diễn ra mạnh mẽ trên thế giới với mục tiêu giảm tiêu thụ năng lượng hóa thạch, sử dụng năng lượng hiệu quả hơn, ít gây ảnh hưởng đến môi trường, biến đổi khí hậu, giảm phát thải khí nhà kính. Hydrogen kết hợp với oxygen không tạo ra khí carbonic, không tạo ra hydrocarbon mạch vòng, không tạo oxide lưu huỳnh, không tạo oxide nitrogen, không tạo ra ozone. Là nguồn nhiên liệu dễ cháy thân thiện với môi trường, cùng với việc sản xuất năng lượng hiệu quả, hydrogen giải quyết được nhiều vấn đề từ ô nhiễm không khí đến sự nóng lên toàn cầu [1].

Hydrogen đóng vai trò rất quan trọng trong chuyển dịch năng lượng. Để đạt được mục tiêu của Hội nghị lần thứ 26 các bên tham gia Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (COP26) nhằm giới hạn sự gia tăng nhiệt độ toàn cầu ở mức dưới 2 °C và cố gắng giới hạn ở mức dưới 1,5 °C trong thế kỷ XXI so với thời kỳ tiền công nghiệp. Mức phát thải CO₂ trên thế giới từ các hoạt

động năng lượng phải giảm khoảng 60% vào năm 2050 trong bối cảnh dân số thế giới có thể tăng thêm 2 tỷ người. Hydrogen có 7 vai trò chính trong sự chuyển dịch năng lượng gồm: i) Sản xuất điện năng và tích hợp năng lượng tái tạo quy mô lớn; ii) Truyền tải và phân phối năng lượng giữa các khu vực, lĩnh vực sử dụng năng lượng khác nhau; iii) Tích trữ năng lượng để nâng cao tính ổn định của hệ thống; iv) Khử carbon trong lĩnh vực giao thông vận tải; v) Khử carbon trong lĩnh vực sử dụng năng lượng trong công nghiệp; vi) Khử carbon trong lĩnh vực sử dụng năng lượng dân dụng; vii) Cung cấp nguyên liệu sạch cho các quá trình sản xuất công nghiệp.

Cho đến nay, hydrogen được sản xuất công nghiệp thông qua quá trình nhiệt hóa các nguyên liệu hóa thạch như: than, khí tự nhiên (grey hydrogen hay hydrogen “xám”), không tránh khỏi phát thải ra lượng lớn CO₂. Hydrogen “lam” (blue hydrogen) được sản xuất bằng phương pháp nhiệt hóa hydrocarbon kết hợp công nghệ thu gom và lưu trữ CO₂ (Carbon Capture and Storage - CCS) là giải pháp thay thế cho hydrogen “xám”. Tuy nhiên, việc bổ sung hệ thống thu gom và lưu trữ CO₂ sẽ làm tăng chi phí sản xuất hydrogen khoảng 1,5 lần. Hydrogen xanh (green hydrogen) là sản phẩm thu được từ quá trình điện



Ngày nhận bài: 21/9/2021. Ngày phản biện đánh giá và sửa chữa: 21 - 28/9/2021.

Ngày bài báo được duyệt đăng: 29/11/2021.

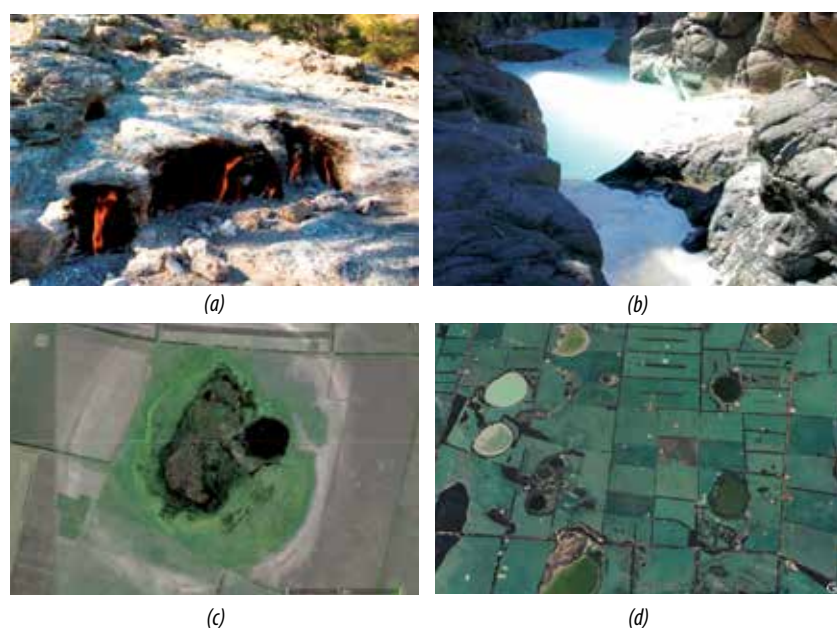
phân nước bằng năng lượng tái tạo thân thiện với môi trường. Điện phân nước thành khí H_2 và O_2 là phản ứng hoàn toàn không phát thải CO_2 nhưng có chi phí khá cao so với 2 phương pháp trên. Tuy nhiên, chi phí này đang có xu hướng giảm nhờ vào sự phát triển công nghệ điện phân và tận dụng năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện gió, điện mặt trời. Công nghệ sản xuất hydrogen từ các nguồn nguyên liệu sinh khối, tảo và các chuyển hóa sinh học vẫn đang trong quá trình nghiên cứu, thử nghiệm.

Hydrogen ở trạng thái phân tử (H_2) được coi là không tồn tại trong tự nhiên, ngoại trừ ở dạng vết. Là loại khí nhẹ nhất trong số các loại khí, hydrogen khuếch tán nhanh chóng trong không khí, cũng như các vật liệu khác nhau. Do đó, hydrogen nhanh chóng rời khỏi nơi phát sinh và không thể bị giữ tại các bẫy địa chất trong thời gian dài [2].

2. Phát hiện hydrogen tự nhiên trên thế giới

Định kiến “hydrogen tự do trong tự nhiên là rất hiếm” ảnh hưởng đến việc phân tích và lấy mẫu và thiết kế hệ thống phát hiện khí hydrogen trong tìm kiếm, thăm dò. Giếng khoan tìm kiếm, thăm dò dầu khí và các khoáng sản khác được khoan vào các bể trầm tích, nhưng đây không phải là nơi có nhiều hydrogen nhất. Mặt khác do tính chất khuếch tán nhanh chóng của hydrogen trong không khí, cũng như trong các vật liệu là khác nhau nên các mẫu có khí hydrogen cần được xử lý theo cách riêng. Hydrogen dễ phản ứng, khi kết hợp với oxygen tạo ra nước không để lại dấu vết tồn tại dưới dạng khí tự do; dễ bị vi sinh vật tiêu thụ/phân hủy [2].

Khí hydrogen rò rỉ từ các hệ thống thủy nhiệt tự nhiên ở các rặng núi trong lòng đại dương được phát hiện từ những năm 70 của thế kỷ trước. Hydrogen cũng được quan sát thấy trên các lục địa ở các đới ophiolite như ở Oman, New Caledonia, Thổ Nhĩ Kỳ, Philippines (Hình 1). Các nghiên cứu của Viacheslav Zgonnik [2] và AFHYPAC [3] chứng minh hydrogen xuất hiện



Hình 1. a) Ngọn lửa vĩnh cửu Chimera ở Thổ Nhĩ Kỳ [2], b) Khu vực phát hiện khí có hydrogen màu xanh ở Oman [3], c) Khu vực phát hiện hydro ở hồ Podovoye - vùng Voronezh, Liên bang Nga [3], d) Đảo Kangaroo, Nam Australia nơi phát hiện hàm lượng hydrogen cao (84%) trong khí khoan [4].

trong nhiều đối tượng ở khắp nơi trên thế giới như:

- Trong các rặng núi giữa đại dương ở dạng chất lỏng nhiệt dịch giàu H_2 như ở rãnh Đông Thái Bình Dương (East Pacific Ridge) và rãnh giữa Đại Tây Dương (Mid-Atlantic Ridge) cũng như trong các hệ thống thủy nhiệt trên lục địa như ở Iceland;

- Trong các giếng khoan sâu và siêu sâu nghiên cứu cấu trúc ở độ sâu vài km tại Kola, Ural (Liên bang Nga), Kryvyi Rih (Ukraine);

- Trong khí của các núi lửa như: Etna (ở Sicily, Italy), Augustine và Trident (ở Alaska, Mỹ), Kliuchevskoi (ở Kamchatka, Liên bang Nga)...;

- Trong các khu vực nước có tính kiềm cao (hyperalkaline) liên quan các đới ophiolite-peridotite khác nhau như: Oman và Zambales (Philippines), phía Nam Thổ Nhĩ Kỳ...; trong các ống kimberlite ở Liên bang Nga;

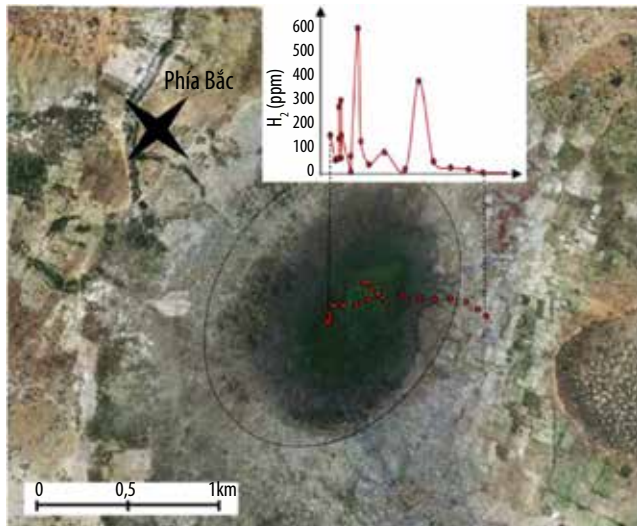
- Trong đới đứt gãy hoạt động lớn như: San Andreas (California, Mỹ), Antera (Nhật Bản);

- Ở nhiều mỏ quặng khác nhau như các mỏ quặng sắt, vàng, uranium, thủy ngân, nickel, đồng và đa kim như niobi-tantali và wolfram-molybdenum khác nhau, đặc biệt là ở Nam Phi và Liên bang Nga;

- Ở một số mỏ dầu khí, đặc biệt là ở Mỹ, Liên bang Nga, Belarus, Uzbekistan;

- Ở một số bể chứa than ở Liên bang Nga, Ukraine...; trong các thành tạo muối ở Đức, Liên bang Nga; các đá trầm tích ở Liên bang Nga, Latvia, New Zealand...; trong các đá magma ở Liên bang Nga; trong các đá biến chất ở Mỹ, Phần Lan, Liên bang Nga...;

- Ở dạng thể vùi (bao thể) trong các đá trầm tích, magma, biến chất, mẫu quặng, mẫu than, các thành tạo chứa muối nhiều nơi trên thế giới;



Hình 2. Địa hóa bề mặt trên một cấu trúc hình tròn ở Bourakebougou (Mali) [5].



Hình 3. Dấu hiệu phát thải H_2 (màu đỏ) và CH_4 có nguồn gốc từ phát thải H_2 (màu xanh) [6].

- Ở một số khu vực có các mạch nước tự phun (geysers), suối nước nóng (hot springs), núi lửa bùn (mud volcanoes) như ở Iceland, Liên bang Nga, Mỹ, Nhật Bản...

- Trong các mẫu nước ngầm, mẫu nước ở các mỏ dầu khí ở Liên bang Nga, Belarus...

Hàng trăm cấu trúc địa chất thải ra khí H_2 đã được tìm thấy ở Liên bang Nga, Bắc Carolina (Mỹ), Sao Francisco (Brazil), Azerbaijan, Latvia.... Những cấu trúc này thường có địa hình lõm nông, hình tròn, bán tròn, bề mặt có đường kính từ hàng trăm m đến vài km. Trung tâm là đầm lầy hoặc thậm chí hồ nước. Vùng ngoại vi của các cấu trúc này quan sát thấy sự bạc màu của đất kết hợp với thảm thực vật phát triển bất thường. Các phát hiện chủ yếu có các điều kiện giống nhau: Đi kèm với các khu vực lõm hình tròn đến bán tròn; nằm trong các khu vực có đá móng magma, biến chất tiền Cambrian giàu sắt, nơi có thể xảy ra quá trình oxy hóa Fe^{2+} và khử H_2O [2].

Thông tin về các phát hiện hydrogen tự nhiên được thể hiện ở Bảng 1. Tổng hợp theo số liệu thống kê của Viacheslav Zgonnik [2], hàm lượng hydrogen trung bình cao hơn cả (từ 45 - 66%) ở nhóm các phát hiện hydrogen tự nhiên bao gồm: hydrogen dạng thể vùi trong các đá nguồn gốc magma (66,1%), hydrogen đi cùng các đới tách giãn (rift zones) (62,8%), hydrogen dạng thể

vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu đá siêu bazơ (ultrabasic rocks) (55,1%), hydrogen dạng thể vùi trong các mẫu quặng (54%), hydrogen đi cùng các đá magma (53,6%), hydrogen dạng thể vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu đá cổ tiền Cambrian (53,1%), hydrogen trong các ống kimberlite (51,9%), hydrogen đi cùng các đá tiền Cambrian (50,3%), hydrogen đi cùng các thể ophiolite (48,4%), hydrogen đi cùng các đá trầm tích (48,3%), hydrogen dạng thể vùi/bao thể (inclusions) trong các đá trầm tích hay đá biến chất (45%). Hydrogen tự nhiên đi cùng các mỏ dầu khí thuộc nhóm có hàm lượng thấp nhất, trung bình chỉ khoảng 25,5%. Bản đồ vị trí các dấu hiệu phát thải hydrogen và methane có nguồn gốc từ phát thải hydrogen đã được đề cập trong nghiên cứu của Isabelle Moretti, M.E. Webber [6] (Hình 3).

Sự hiện diện của hydrogen trong tự nhiên cho đến nay vẫn được coi là "bí ẩn địa chất". Việc thăm dò và phát hiện các tầng chứa hydrogen tương đối tinh khiết, khai thác thử và sử dụng hydrogen để phát điện từ năm 2020 ở Bourakebougou (Mali) cho thấy khả năng khai thác hydrogen tự nhiên. Kết quả quan trắc trên một cấu trúc hình tròn cho thấy sự rò rỉ hydrogen đều theo hướng lên trên. Hydrogen sinh ra được cho là có nguồn gốc từ tầng móng, vì lượng tương đối lớn helium và argon (gây phóng xạ) đi cùng với hydrogen.

3. Phân loại và nguồn gốc các phát hiện hydrogen tự nhiên

Không kể các phát hiện hydrogen trong các mẫu từ các rặng núi và các vị trí khác giữa đại dương, các phát hiện hydrogen được báo cáo chia thành 3 loại chính: hydrogen ở dạng khí tự do, hydrogen ở dạng vật chất trong đá (thể vùi/bao thể - inclusions) và hydrogen là khí hòa tan trong nước [2]. Tuy nhiên trong nhiều trường hợp, rất khó để phân loại rạch ròi.

Hydrogen tự nhiên dạng khí tự do: được phát hiện sớm nhất đều liên quan đến ophiolite ở Chimaera, gần Antalya - Thổ Nhĩ Kỳ từ hơn 2500 năm qua và "Los Fuegos Eternos" (ngọn lửa vĩnh cửu) - Philippines từ khoảng 25 năm trước đây. Hydrogen ở dạng khí tự do còn được phát hiện trong hoặc liên quan đến nhiều đối tượng khác như: các loại đá cổ có tuổi tiền Cambrian; giếng khoan siêu sâu (đến 5 km hoặc sâu hơn) nghiên cứu cấu trúc như Kola, Ural (Liên bang Nga)...; trong khí núi lửa; trong các mạch nước phun (geysers), suối nước nóng (hot springs) và hệ thống thủy nhiệt liên quan đến hoạt động của núi lửa như núi lửa bùn (mud volcanoes); các ống kimberlite; mỏ quặng sắt, vàng, uranium, thủy ngân, nickel, đồng và

đa kim như niobi-tantali và wolfram-molybdenum khác nhau; mỏ dầu và khí đốt; bể than; các bể trầm tích; trong các tích tụ muối.

Hydrogen ở dạng dòng chảy khuếch tán (diffusive flow): Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng hydrogen khuếch tán qua vỏ trái đất để đến bề mặt [2, 7, 8]. Các phép đo khí đất trên bề mặt cho thấy một vùng có nồng độ hydrogen cao bất thường (lên tới 6.000 ppm hay 0,6%) rộng hơn 7.000 km² kéo dài tới 85 km về phía tây của một số giếng khoan thăm dò giàu hydrogen ở Kansas, Mỹ. Khu vực có nồng độ hydrogen cao bất thường trong khí đất dường như có liên quan với các dị thường trọng lực và từ tính xác định Hệ thống tách giãn giữa lục địa Bắc Mỹ (North American Mid - Continent Rift System) [2, 9]. Các nghiên cứu gần đây đã xác định được hàng nghìn địa điểm có dòng hydrogen thoát ra ở miền Đông Liên bang Nga [10], dọc theo đồng bằng ven biển Đại Tây Dương của Mỹ [11], Brazil [12], Mali [2], Oman [13], ở dãy núi Alps phía Tây của Pháp và Italy [14].

Hydrogen liên quan đến các đứt gãy và các khí trơ: Các đứt gãy chính là kênh dẫn tự nhiên của các lưu thể. Nghiên cứu thực hiện tại hệ thống đứt gãy San Andreas (California) và Duchesne (Utah) ở Mỹ cho thấy nồng độ hydrogen và helium trong đất có mối liên hệ với các đới đứt gãy sâu [15]. Lấy mẫu địa hóa nghiên cứu hydrogen ở Mỹ đã được sử dụng để lập bản đồ đứt gãy liên quan đến các mỏ khoáng sản trong hệ thống đứt gãy Trans - Challis ở Idaho và Carlin Trend ở Nevada. Dữ liệu hydrogen từ hàng trăm phép đo khí đất ở Bắc trung tâm Kansas, Mỹ cho thấy các khe nứt như các đường dẫn cho hydrogen di chuyển thẳng đứng [16]. Nghiên cứu địa vật lý ở khu vực Moscow (Liên bang Nga) cho thấy tương quan giữa nồng độ hydrogen quan sát được và đứt gãy sâu [17].

Hydrogen ở dạng các chất vùi (bao thể - inclusions): Hydrogen đã được phát hiện là khí chủ yếu (bị kẹp bên trong đá ở dạng thể vùi/bao thể hoặc ở dạng hấp phụ) trong nhiều loại đá khác nhau như: các mẫu đá cổ tiền Cambrian; các mẫu đá có nguồn gốc magma; các mẫu đá phun trào; các mẫu quặng; các mẫu lấy ở các mỏ than; đá trầm tích, các đá biến chất; mẫu lấy ở các thành tạo muối. Mỗi loại đá giải phóng khí với thành phần đặc trưng.

Hydrogen hòa tan trong nước ngầm: Một số lượng đáng kể các trường hợp hydrogen tự nhiên dưới dạng khí hòa tan trong nước ngầm đã được quan sát thấy. Các nghiên cứu ở Liên bang Nga và Liên Xô cũ [18] cho thấy nồng độ hydrogen cao hơn đã được quan sát thấy trong nước ngầm ở nhiều khu vực/đối tượng như: khu vực liên quan đến hoạt động kiến tạo trẻ; miệng núi lửa; liên quan đến các đứt gãy sâu và các khu vực tách giãn. Nồng độ

hydrogen cao tìm thấy trong nước ngầm được lấy mẫu từ đá nứt nẻ ở 24 giếng khoan thăm dò ở Nam Phi [19].

Các nhà nghiên cứu khoa học đã đưa ra nhiều giả thuyết về quá trình thành tạo và nguồn gốc của hydrogen trong vỏ trái đất [2], bao gồm:

- Thoát khí hydrogen nằm sâu trong nhân và lớp (quyển) manti của trái đất (hydrogen trong các mẫu tăng lên theo độ sâu ở các giếng khoan sâu và siêu sâu nghiên cứu cấu trúc. Các mẫu khí từ dự án khoan siêu sâu Kola ở Liên bang Nga, giếng khoan sâu nhất thế giới, rất giàu hydrogen);

- Phản ứng của nước với đá siêu bazơ hoặc serpentinite hóa (nhiều vị trí đã được ghi nhận rõ ràng giàu hydrogen liên quan đến các điểm lộ ophiolite. Phần lớn các nguồn hydrogen địa chất hiện được coi là phản ứng của nước với các khoáng chất được suy đoán là nguồn duy nhất tạo ra hydrogen tự nhiên thông qua quá trình serpentinite hóa hoặc các phản ứng khác);

- Sự tương tác của nước với bề mặt đá tươi bị lộ ra (hydrogen có thể hình thành trong đá từ phản ứng của nước với bề mặt đá tươi dọc theo các đới đứt gãy đang hoạt động hoặc phản ứng giữa các gốc tự do trên bề mặt đá tươi với nước);

- Sự phân hủy các hydroxyl trong cấu trúc mạng tinh thể của khoáng chất (nước tiếp xúc và phản ứng với các khoáng chất chứa Fe (II));

- Phóng xạ tự nhiên của nước (liên quan đến sự phân rã phóng xạ của các nguyên tố có liên quan đến sự thay đổi hóa trị của nguyên tử);

- Phân hủy chất hữu cơ (phân hủy kỵ khí chất hữu cơ, lên men);

- Hoạt động sinh học (phân hủy bởi vi khuẩn cố định nitrogen - nitrogen fixing bacteria, hoạt động của các cộng đồng vi sinh vật có khả năng sinh hydrogen nằm ở độ sâu lớn trong đại dương và trong các vết đứt gãy trong vỏ trái đất...);

- Các hoạt động do con người tạo ra (khí thải ô tô sử dụng nhiên liệu hóa thạch, hydrogen được phát hiện trong các giếng khoan do phản ứng của nước với ống chống, thiết bị khai thác bằng sắt thép...);

- Hydrogen trong khí quyển (do con người, sinh học và phân hóa nước do ánh sáng (water photolysis), cũng như quá trình oxy hóa methane và các hydrocarbon khác);

- Hydrogen hình thành ở các núi lửa và các hệ thống thủy nhiệt (chất thải ra từ núi lửa kể cả hydrogen từ các hệ

thống thủy nhiệt ở các rặng núi giữa đại dương có nguồn gốc núi lửa).

Một số nghiên cứu đã đề xuất nguồn gốc hỗn hợp của hydrogen là sự kết hợp của các yếu tố khác nhau. Sở dĩ có nhiều các giải thích về nguồn gốc của hydrogen là do sự phổ biến của hydrogen, sự hiểu biết chưa đầy đủ về “bản chất và hành vi” của hydrogen. Hydrogen là nguyên tố chính trong phân tử nước, trong nhiều loại khoáng chất, trong cơ thể sống, chất hữu cơ và hydrocarbon.

Ước tính lượng hydrogen tự nhiên phát thải từ các nguồn khác nhau khoảng 1.145 tỷ m³/năm, trong đó quá trình oxy hóa của methane và các hydrocarbon khác là các nguồn phát thải lớn nhất. Lượng hydrogen tự nhiên khoảng 1.138 tỷ m³/năm cũng bị hấp thụ bởi nhiều yếu tố, trong đó lòng đất là nguồn hấp thụ hydrogen tự nhiên lớn nhất (Hình 4).

4. Phát hiện tích tụ hydrogen tự nhiên ở Bourakebougou

Hydrogen tự nhiên được Hydroma Inc. phát hiện ở vùng Bourakébougou (cách Bamako - thủ đô của Mali khoảng 50 km về phía Tây Bắc) vào năm 1987. Hydroma

Inc. (trước đây là Petroma Inc.) - chuyên nghiên cứu, phát triển và khai thác hydrogen tự nhiên, dầu và khí. Hydroma Inc. nắm giữ 100% quyền lợi trong Lô 25 ở Mali có diện tích 43.174 km² và có giấy phép hoạt động thăm dò hydrogen trong diện tích 1.264 km². Đây là phát hiện hydrogen tự nhiên lớn đầu tiên trên thế giới, đã khai thác thử hydrogen từ 1 giếng khoan để sản xuất điện cung cấp cho làng Bourakébougou ở Mali mà không phát thải CO₂.

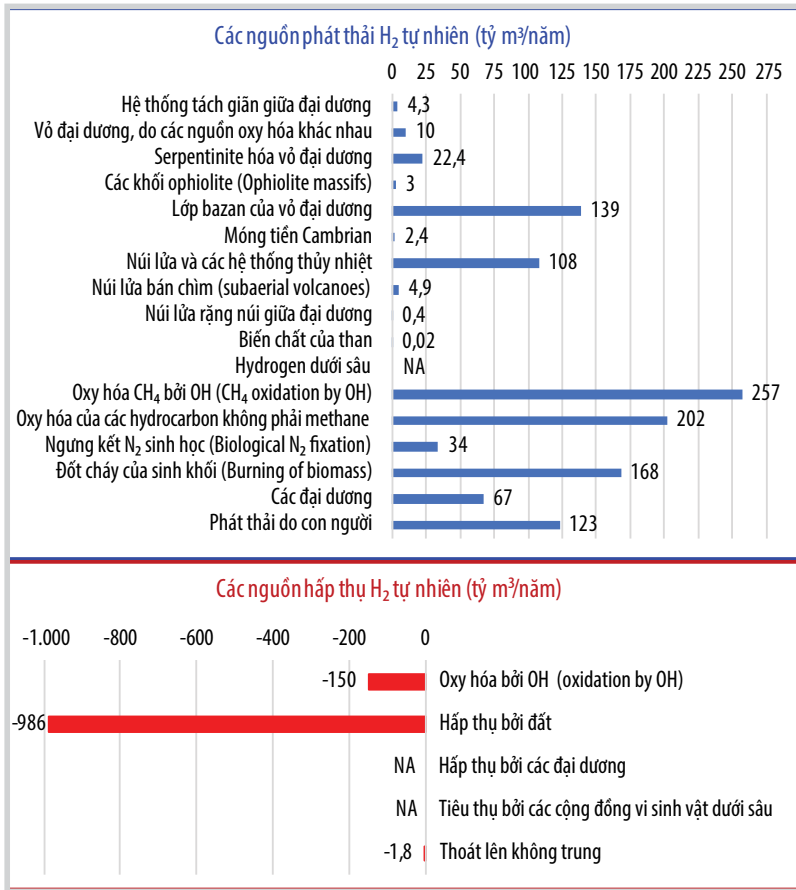
Về phát hiện tích tụ hydrogen tự nhiên ở Bourakebougou (Mali) [5], giếng thăm dò nước Bourakebougou đầu tiên (“Bougou-1”) được khoan năm 1987 trong các thành tạo trầm tích Proterozoic, xen kẹp với các đá dolerite thể bàn (sill) tuổi Triassic. Sự hiện diện của khí hydrogen đáng kể trong tất cả các giếng thăm dò cho thấy sự tồn tại của hệ thống hydrogen tự nhiên lớn. Khí thu được ở độ sâu khoảng 112 m trong giếng khoan Bougou-1 chứa 98% hydrogen (hydrogen gần như tinh khiết) với các dấu vết của nitrogen và methane (1% nitrogen và 1% methane). Hình 5 cho thấy hàm lượng khí có tỷ lệ hydrogen cao nhất trong giếng Bougou-1 (ở Mali), trong khi các điểm rò rỉ hydrogen khác khá lớn trên

Bảng 1. Tổng hợp các phát hiện hydrogen tự nhiên [2]

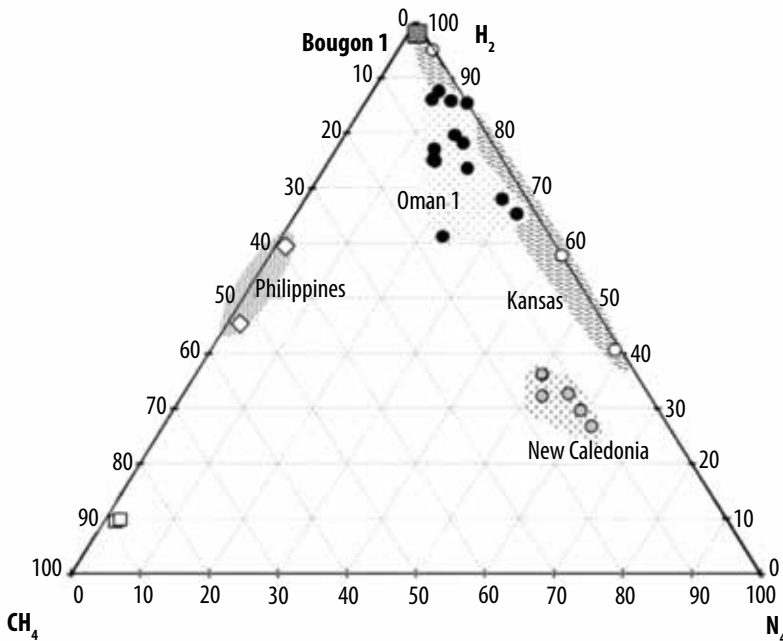
TT	Loại phát hiện	Tổng số lượng phát hiện	Độ sâu (m) từ - đến	Hàm lượng H ₂ (%) từ - đến/trung bình	Nguồn gốc (số lượng phát hiện)
1	Các phát hiện hydrogen đi cùng các thể ophiolite	16 (Oman - 5, Philippines - 4, Mỹ - 3, Thổ Nhĩ Kỳ - 2, New Caledonia - 1, Bosnia Herzegovina - 1)		7,5 - 99/48,4%	1. Serpentine hóa? (14) 2. Hỗn hợp khí sinh nhiệt hữu cơ và khí gây dị ứng? (1) 3. Oxy hóa Fe ²⁺ bởi nước? (1)
2	Các phát hiện hydrogen đi cùng các đới tách giãn (rift zones)	4 (Mỹ - 2, Iceland - 2)		33,7 - 96,3/62,8%	4. Đi cùng hệ thống tách giãn giữa lục địa? (2) 18. Chưa rõ (2)
3	Các phát hiện hydrogen đi cùng các đá tiền Cambrian	10 (Mỹ - 4, Phần Lan - 2, Liên bang Nga - 2, Australia - 2)	290 - 2.300 m	3,9 - 91,8/50,3%	1. Serpentine hóa? (3) 5. Hỗn hợp? (3) 6. Tác động giữa nước và các hợp chất sắt hay đá magma? (1) 18. Chưa rõ (3)
4	Các phát hiện hydrogen đi cùng các đá magma	5 (Liên bang Nga - 5)	40,6 - 3.770 m	20,6 - 80,5/53,6%	5. Hỗn hợp, chủ yếu là vô cơ? (1) 18. Chưa rõ (4)
5	Các phát hiện hydrogen đi cùng các khí do phun trào núi lửa	17 (Iceland - 5, Liên bang Nga - 4, Mỹ - 3, Nhật Bản - 3, Italy - 1, Congo - 1)		6 - 93/38,3%	4. Đi cùng hệ thống tách giãn giữa lục địa? (1) 7. H ₂ S tác dụng với nước? (1) 18. Chưa rõ (15)
6	Các phát hiện hydrogen đi cùng các khí từ mạch nước phun (geysers), suối nước nóng (hot springs), núi lửa bùn (mud volcanoes) và các rò rỉ độc lập (standalone seeps)	10 (Iceland - 4, Mỹ - 1, Nhật Bản - 1, Trung Quốc - 1, Pháp - 1, Azerbaijan - 1, El Salvado - 1)		2,4 - 51,4/24,9%	18. Chưa rõ (6)
7	Các phát hiện hydrogen trong các ống kimberlite	2 (Liên bang Nga - 2)	365 - 370 m	48,8 - 58,9/51,9%	18. Chưa rõ (2)

Bảng 1. Tổng hợp các phát hiện hydrogen tự nhiên [2] (tiếp)

TT	Loại phát hiện	Tổng số lượng phát hiện	Độ sâu (m) từ - đến	Hàm lượng H ₂ (%) từ - đến/trung bình	Nguồn gốc (số lượng phát hiện)
8	Các phát hiện hydrogen đi cùng các thân quặng	27 (Liên bang Nga - 19, Nam Phi - 4, Ukraine - 2, Uzbekistan - 1, Kazakhstan - 1)	53 - 2.192 m	7,1 - 98,5/42,8%	8. Phản ứng của dòng H ₂ trong sét kết (1) 9. Magma? (2) 10. Từ dưới sâu? (1) 18. Chưa rõ (23)
9	Các phát hiện hydrogen đi cùng các mỏ dầu khí	16 (Liên bang Nga - 7, Mỹ - 5, Uzbekistan - 1, Azerbaijan - 1, Estonia - 1, Belorussia - 1)	27 - 2.589 m	6 - 95,2/25,5%	5. Hỗn hợp, chủ yếu là vô cơ? (1) 18. Chưa rõ (15)
10	Các phát hiện hydrogen đi cùng các bể chứa than	8 (Liên bang Nga - 5, Ukraine - 2, Kazakhstan - 1)		10 - 95,4/38,9%	18. Chưa rõ (6)
11	Các phát hiện hydrogen đi cùng các đá trầm tích	26 (Liên bang Nga - 15, Latvia - 2, Mỹ - 2, Kyzgystan - 2, Uzbekistan - 1, Kazakhstan - 1, Ba Lan - 1, New Zealand - 1, Mali - 1)	109 - 5.500 m	4,2 - 98/48,3%	5. Hỗn hợp, chủ yếu là vô cơ? (1) 10. Từ dưới sâu? (3) 11. Sinh học? (1) 18. Chưa rõ (21)
12	Các phát hiện hydrogen đi cùng các thành tạo muối	12 (Đức - 7, Liên bang Nga - 3, Pháp - 1, Đan Mạch - 1)		8,4 - 93/33,4%	5. Hỗn hợp, chủ yếu là vô cơ? (1) 12. Vật chất hữu cơ? (1) 18. Chưa rõ (10)
13	Các phát hiện hydrogen đi cùng đứt gãy	3 (Mỹ - 2, Nhật Bản - 1)		9,4 - 70/30,9%	13. Do các phản ứng của nước với đất đá (các khe nứt còn tươi mới - fresh fractures)? (2) 14. Do các phân tách của Fe(OH) ₂ ? (1)
14	Hydrogen dạng thể vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu đá siêu bazơ	3 (Liên bang Nga - 3)		15 - 100/55,1%	18. Chưa rõ (3)
15	Hydrogen dạng thể vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu đá cổ tiền Cambrian	10 (Liên bang Nga - 6, Greenland - 4)		8 - 97,8/53,1%	18. Chưa rõ (10)
16	Hydrogen dạng thể vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu đá có nguồn gốc magma	23 (Liên bang Nga - 20, Gruzia - 1, Canada - 1, Kazakhstan - 1)		5,1 - 100/66,1%	10. Từ dưới sâu? (1) 15. Từ các thể plutonic (xâm nhập sâu)? (3) 18. Chưa rõ (19)
17	Hydrogen dạng thể vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu đá phun trào	7 (Liên bang Nga - 7)		19 - 90,4/36,1%	18. Chưa rõ (7)
18	Hydrogen dạng thể vùi (inclusions) phát hiện trong các mẫu quặng	20 (Nga-11, Canada-2, Uzbekistan-2, Kazakhstan-2, Ukraine-1, Cyprus-1, Gabon-1)		3 - 100/54%	16. Phóng xạ (radiolysis)? (3) 18. Chưa rõ (17)
19	Hydrogen phát hiện trong mẫu lấy ở các mỏ than	11 (Nga-9, Ukraine-1, Kazakhstan-1)		11,4 - 1/29,8%	18. Chưa rõ (11)
20	Hydrogen dạng thể vùi/bao thể (inclusions) trong các đá trầm tích hay đá biến chất	3 (Nga-2, Ukraine-1)		5,2 - 66,6/45%	17. Nội sinh (endogenic)? (2) 18. Chưa rõ (1)
21	Hydrogen dạng thể vùi/bao thể (inclusions) trong các mẫu lấy ở các thành tạo chứa muối	6 (Nga-2, Kazakhstan-2, Ukraine-1, Belarus-1)		1,1 - 34,6/23,2%	18. Chưa rõ (6)
22	Hydrogen phát hiện trong các mẫu nước	54 (Nga-41, Australia-3, Ukraine-3, Canada-2, USA-2, Nam Phi-1, Kazakhstan-1, Ba Lan-1)	407 - 3.350 m	1,8 - 76/20,6%	1. Serpentinite hóa? (2) 5. Hỗn hợp, chủ yếu vô cơ? (1) 10. Dưới sâu? (6) 16. Phóng xạ (radiolysis)? (2) 18. Chưa rõ (43)
23	Hydrogen phát hiện trong mẫu nước thu được ở các mỏ dầu khí	14 (Nga-9, Belarus-4, Kazakhstan-1)	534 - 3.500 m	5,1 - 98/27,9%	18. Chưa rõ (14)



Hình 4. Các nguồn phát thải (trên) và hấp thụ (dưới) H₂ tự nhiên [2].



Hình 5. Biểu đồ tam giác với tỷ lệ tương đối của hydrogen, methane và nitrogen, cho các mẫu khí chứa hydrogen tự nhiên trên thế giới: Oman, Philippines, New Caledonia, Thổ Nhĩ Kỳ (vỏ rì khí); Kansas - Mỹ (thử via giếng khai thác khí) [5].

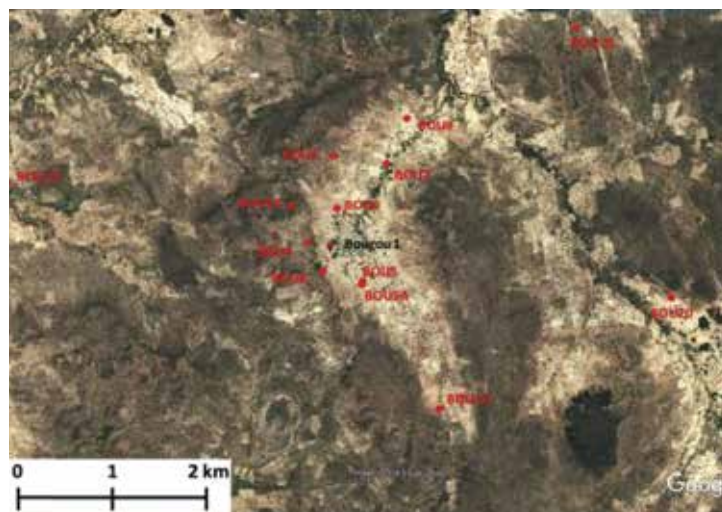
bề mặt trái đất (Oman, Thổ Nhĩ Kỳ, New Caledonia, Philippines) luôn có tỷ lệ methane và nitrogen cao hơn. Dữ liệu địa hóa không cho thấy đã mẹ có tiềm năng dầu khí trong khu vực này.

Chiến dịch thăm dò năm 2017 - 2018 ở Bourakébougou hoàn thành 24 giếng nằm trong bán kính 8 km với độ sâu của các giếng từ 105 - 1807,4 m. Tổng chiều dài lấy mẫu lõi đạt 5,4 km. Những giếng này (Hình 6) có thể ước tính diện tích trữ lượng khí hydrogen xác minh rộng tới 780 km².

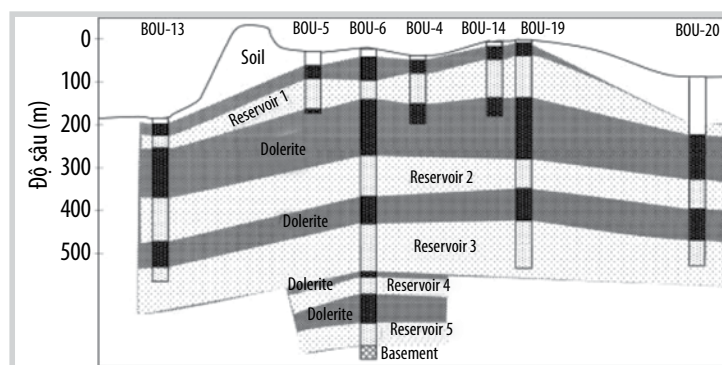
Các trầm tích Neo-Proterozoic đặc trưng bởi đá cát kết, đá sét vôi (marl), bột kết, cuội kết và đá vôi. Nghiên cứu tương đá cho thấy đá carbonate được tạo thành từ calcite, dolomite và siderite. Chỉ có 1 giếng khoan đến tầng móng (Bougou-6) gặp đá móng là đá xâm nhập sâu (plutonic) bao gồm: đá granite, granodiorite, diorite, syenite và aplite. Thành phần khoáng vật gồm các khoáng vật có chứa sắt như magnetite, hematite, pyrite, chalcopyrite.

Các giếng khoan thăm dò ở Mali xác nhận dòng hydrogen trong khu vực này. Khí liên tục được phát hiện trong khi khoan các giếng thăm dò với H₂ chiếm ưu thế, tỷ lệ methane thay đổi trong tất cả các giếng khoan thăm dò. Tỷ lệ H₂/CH₄ nằm trong khoảng từ 10 - 500 (giếng Bougou-1, tỷ lệ là 98). Dấu vết của H₂S và CO (cả 2 nồng độ trên 1.000 ppm) đã được xác định trong một số giếng thăm dò. Nguồn gốc khí H₂S được cho là liên quan đến tương tác giữa lưu huỳnh và các hợp chất khác (H₂, H₂O) có thể được tạo ra thông qua hoạt động sinh học ở khu vực nông.

Trên mặt cắt qua các giếng khoan thăm dò đã xác định được ít nhất 5 tầng chứa giàu hydrogen xếp chồng lên nhau trong khu vực (nông nhất là gần 100 m) được phân cách bằng các đá dolerite thể bàn (sills) (Hình 7). Đá chứa chính ở khu vực này là đá carbonate mặc dù hydrogen cũng có mặt trong cát kết và các loại đá khác. Tích tụ hydrogen được quan sát thấy trong tất cả các giếng mới khoan cho thấy phần mở rộng của khu vực là khá lớn (khoảng 8 km). Có thể thấy rằng hệ thống hydrogen đang hoạt động ở khu vực này tạo ra lượng khí đáng kể. Nước được ghi nhận chảy ra từ một số giếng thăm dò với 2 giếng có nước artezi (nước ngầm có áp suất) trào lên bề



Hình 6. Vị trí và số hiệu giếng khoan thăm dò khu vực Bourakebouougou (Mali) [5].



Hình 7. Mặt cắt qua các giếng khoan thăm dò ở mỏ khí H₂ Bourakebouougou [5].

mặt với các bọt khí. Nước dâng lên có thể do sự tích tụ áp suất với khí hòa tan liên kết ở bề mặt. Các tầng chắn là những tập dolerite thể bàn và dăm kết (breccias), mặc dù dăm kết có độ rỗng cao (Hình 8). Độ hòa tan của hydrogen trong nước rất thấp cho thấy bản thân nước là môi trường không thấm (chắn hydrogen).

Tích tụ hydrogen tự nhiên đã chứng minh hoạt động của “Hệ thống hydrogen” rõ ràng ở Mali, mở ra con đường khai thác công nghiệp. Chi phí khai thác 1 kg hydrogen tự nhiên ước tính thấp hơn từ 2 - 10 lần so với chi phí hydrogen được sản xuất công nghiệp, khiến nguồn năng lượng mới này khá hấp dẫn đối với tương lai tiêu thụ năng lượng [5].

Hệ thống hydrogen tự nhiên phát hiện ở Mali được phác thảo và có thể tóm tắt:

- Việc sinh ra hydrogen được cho là xảy ra sâu hơn độ sâu của các tầng chứa hiện tại và chủ yếu có thể được sinh ra từ tầng móng, điều này được chứng minh với sự xuất hiện của lượng lớn helium và argon gây phóng xạ, liên quan đến nitrogen dưới sâu.

- Tích tụ hydrogen ở Mali có thể được giải thích là do sự hiện diện của nhiều tầng chắn là đá dolerite thể bàn (sills). Tuy nhiên, mực nước dường như cũng đóng vai trò như rào chắn, H₂ không hòa tan trong nước ở các tầng nằm nông.

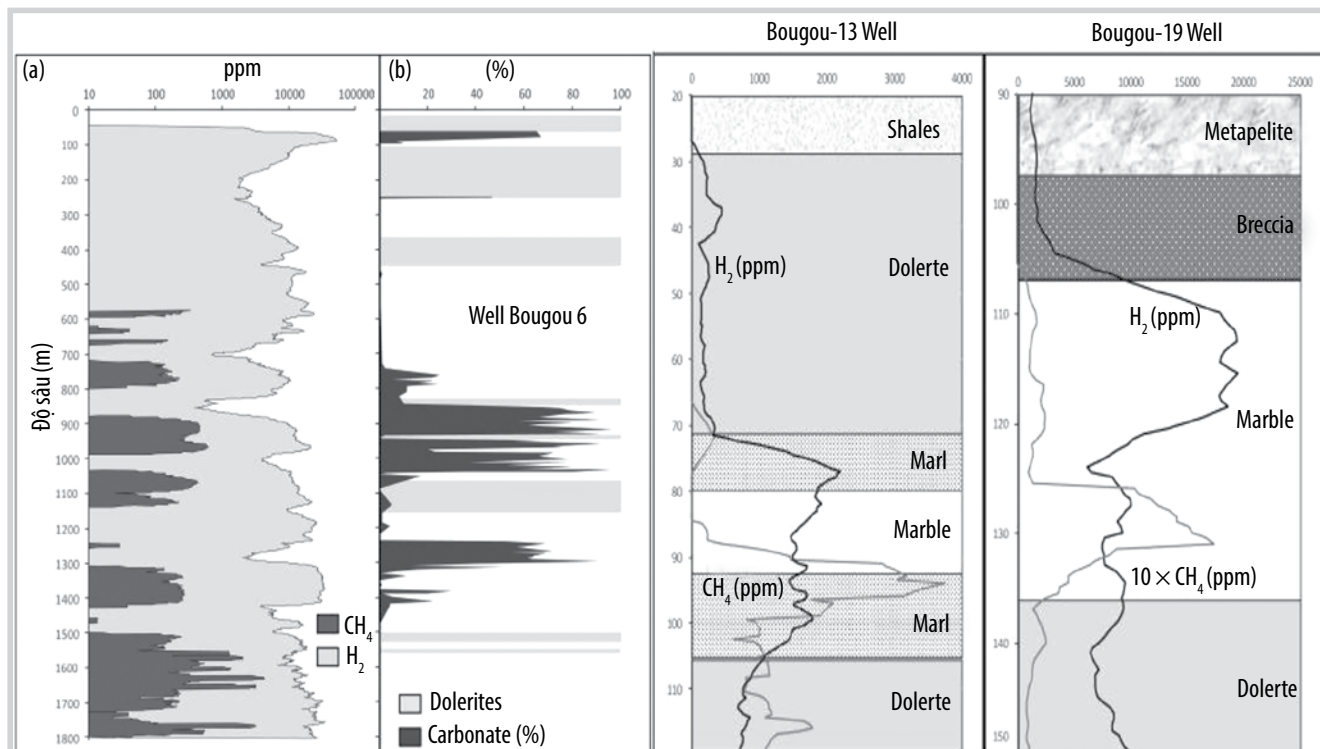
- Một số giếng thăm dò gần đây có cơ chế dòng nước “artezian”, được làm giàu bằng khí hydrogen. Động lực “mạch nước phun” này có thể là do quá trình “thổi khí” (gas lift) và/hoặc áp suất quá cao trong chất lỏng dưới lòng đất. Điều này làm cho nguồn sinh hydrogen tự nhiên trở thành nguồn năng lượng bền vững (không giống như sự tích lũy hydrocarbon hàng triệu năm).

5. Khả năng tìm kiếm hydrogen tự nhiên trong lòng đất ở Việt Nam

Việc thiếu số liệu hydrogen có thể là do các kỹ thuật và quy trình phân tích không phù hợp, chưa phát triển các thiết bị đo, lấy mẫu, bảo quản, phân tích mẫu khí (riêng cho hydrogen). Các giếng khoan thăm dò dầu khí và các khoáng sản khác chủ yếu được khoan trong các bể trầm tích, tuy nhiên đây không phải là khu vực “thuận lợi” cho việc sinh, thoát khí hydrogen. Vấn đề gây khó khăn trong việc phát hiện hydrogen là tính chất khuếch tán và hóa học của hydrogen. Là loại khí nhẹ nhất trong số các loại khí, hydrogen khuếch tán nhanh trong không khí, cũng như trong các vật liệu khác nhau. Do đó, hydrogen nhanh chóng rời khỏi nơi phát sinh và không thể bị giữ lại trong các bẫy địa chất trong thời gian dài. Hydrogen rất dễ phản ứng, khi kết hợp với oxygen tạo ra nước, không để lại dấu vết nào về việc nó đã ở đó ngay từ đầu dưới dạng khí tự do. Vì lý do này, các mẫu có khí hydrogen cần được xử lý theo cách cụ thể. Hơn nữa, hydrogen còn bị vi sinh vật tiêu thụ nhanh chóng. Không có quy luật rõ ràng nào về sự phân bố hydrogen ngay cả trong 1 giếng khoan.

Hoạt động tìm kiếm, thăm dò, khai thác dầu khí ở Việt Nam trải rộng trên toàn bộ vùng biển và thềm lục địa Việt Nam kể cả các lô ở vùng nước sâu (trên 500 m nước), xa bờ. Dầu khí đang được khai thác ở 39 mỏ, cụm mỏ thuộc 4 bể trầm tích: Cửu Long, Nam Côn Sơn, Malay - Thổ Chu và Sông Hồng. Hiện chưa thấy mỏ nào có số liệu khí hydrogen. Giống như tình trạng chung của thế giới, công tác thăm dò dầu khí cũng như các khoáng sản khác ở Việt Nam từ trước đến nay chưa có trang thiết bị tìm kiếm hydrogen, chưa chủ định tìm kiếm hydrogen (có thể gọi là bỏ qua hydrogen).

Đối chiếu với dấu hiệu, đặc điểm các phát hiện hydrogen tự nhiên trên thế giới, Việt Nam có các khu vực/đối tượng có thể có các điều kiện để



Hình 8. Trái - Tài liệu đo khí (a) và khoáng vật (b) ở giếng khoan sâu nhất Bougou-6 Phải - Đo khí ở các giếng Bougou-13 và 19: hydrogen (đậm) và methane (nhạt) [5].

đánh giá, tìm kiếm hydrogen. Ở ngoài khơi đó là các khu vực dọc theo đới tách giãn Biển Đông hoặc các bể trầm tích có các hoạt động magma xâm nhập, núi lửa trẻ như các bể trầm tích Phú Khánh, bể Cửu Long. Trên đất liền có nhiều khu vực địa hình "lõm" (khá giống như ở các phát hiện hydrogen tự nhiên trên thế giới) xung quang thành phố Pleiku - Núi lửa Chư Đăng Ya (Gia Lai), Plei Roih (Gia Lai), đảo Lý Sơn (Quảng Ngãi) (Hình 9 - 11).

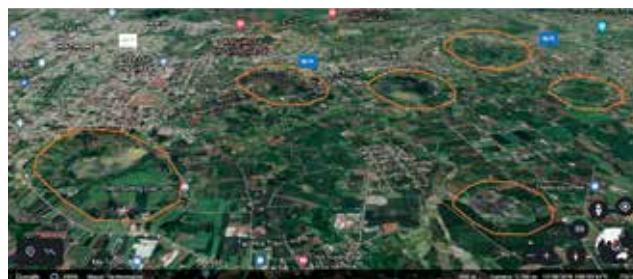
Ngoài ra, ở Việt Nam cũng có nhiều khu vực/đối tượng có thể có tiềm năng nghiên cứu để tìm kiếm hydrogen tương tự các phát hiện hydrogen trên thế giới như: i) các đai (belts) ophiolite cổ (Cao Bằng - Thái Nguyên, Vị Xuyên - Bắc Hà - Mường Khương, Sông Đà, Sông Mã, Dakrong - Đà Nẵng, Tam Kỳ - Phước Sơn, Đông Nam Bộ [20]); ii) các khu vực có các thành tạo biến chất cổ (Địa khối Kon Tum, Fansipan); iii) các mỏ khoáng sản (mỏ sắt Thạch Khê - Hà Tĩnh, mỏ sắt Quý Xa - Lào Cai, mỏ chromite Cổ Định - Thanh Hóa, mỏ vàng Bồng Miêu - Quảng Nam...); iv) các bể than (Quảng Ninh, Thái Nguyên, Na Dương - Lạng Sơn, Đồng bằng sông Hồng...); v) các khu vực có suối khoáng nóng (Kim Bôi - Hòa Bình, Quang Hanh - Quảng Ninh, Kênh Gà - Ninh Bình, Bình Châu - Bà Rịa - Vũng Tàu...).

6. Kết luận và đề xuất

Hydrogen có vai trò quan trọng trong chuyển dịch năng lượng và tìm kiếm, thăm dò hydrogen tự nhiên trong lòng đất là lĩnh vực mới trên thế giới. Kiến thức về "hệ thống



Hình 9. Các khu vực địa hình "lõm" ở khu vực Pleiku - Núi lửa Chư Đăng Ya (Gia Lai).



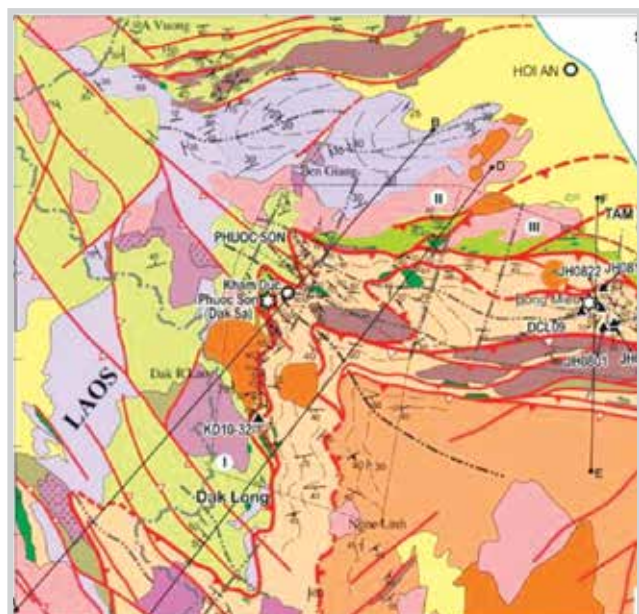
Hình 10. Các khu vực địa hình "lõm" ở Plei Roih (Gia Lai).

hydrogen" đang ở giai đoạn sơ khai, cần được nghiên cứu để tìm hiểu về cơ chế của các quá trình sinh, lưu trữ, dịch chuyển, hiệu quả bẫy, khả năng tích tụ tự nhiên của H₂ trong các đá chứa rỗng thấm và khả năng chặn để ngăn chặn hiệu quả hydrogen thoát ra khỏi đá chứa.

Ở Việt Nam có các khu vực, đối tượng địa chất cả ngoài khơi, trên đất liền có dấu hiệu, đặc điểm tương tự như các khu vực, đối tượng đã có phát hiện hydrogen tự nhiên trong lòng đất trên thế giới. Đây là tiền đề thuận



Hình 11. Các khu vực địa hình "lôm" - miệng núi lửa ở đảo Lý Sơn (Quảng Ngãi).



Hình 12. Đới cắt trượt (shear zone) Tam Kỳ - Phước Sơn [21].

lợi để có thể triển khai tìm kiếm hydrogen tự nhiên trong lòng đất ở Việt Nam trong thời gian tới.

Nhóm tác giả đề xuất cần tiến hành nghiên cứu, đánh giá, lựa chọn các khu vực có đặc điểm địa chất, địa hình - địa mạo phù hợp cho quá trình sinh, tích tụ hydrogen. Các khu vực có tiền đề, dấu hiệu hydrogen tự nhiên như: i) ở ngoài khơi dọc theo đới tách giãn Biển Đông hoặc các bể trầm tích có các hoạt động magma xâm nhập, núi lửa trẻ như các bể trầm tích Phú Khánh, Cửu Long; ii) ở trên đất liền là các khu vực Nam Trung Bộ, Tây Nguyên, Tây Bắc nơi có các hoạt động kiến tạo mạnh mẽ, hệ thống đứt gãy phức tạp, các khu vực có các mỏ khoáng sản kim loại và đá kim... Đồng thời, cần xem xét các tài liệu địa chất chi tiết, các kết quả nghiên cứu địa chất, khoan, phân tích mẫu, đánh giá khả năng tồn tại dấu hiệu hydrogen tự nhiên... từ đó có các hướng triển khai tiếp theo.

Tài liệu tham khảo

[1] Eric C. Gaucher, "New perspectives in the industrial exploration for native hydrogen", *Elements*, Vol. 16, No. 1, pp. 8 - 9, 2020. DOI: 10.2138/gselements.16.1.8.

[2] Viacheslav Zgonnik, "The occurrence and geoscience of natural hydrogen: A comprehensive review", *Earth-Science Reviews*, Vol. 203, 2020. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103140.

[3] AFHYPAC, "Natural resources research "L'Hydrogene naturel". [Online]. Available: <https://eosys.fr/wp-content/uploads/2019/10/HYDROGENE-NATUREL.pdf>.

[4] Reza Rezaee, "Natural hydrogen system in Western Australia?", *Preprints*, 2020. DOI: 10.20944/preprints202010.0589.v1.

[5] Alain Prinzhofer, Cheick Sidy Tahara Cissé, and Aliou Boubacar Diallo, "Discovery of a large accumulation of natural hydrogen in Bourakebougou (Mali)", *International Journal of Hydrogen Energy*; Vol. 43, No. 42, pp. 19315 - 19326, 2018. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.08.193.

[6] Isabelle Moretti and M.E. Webber, "Natural hydrogen: a geological curiosity or the primary source for a low-carbon future?", *Renewable Matter*, 2021.

[7] J. Guélard, V. Beaumont, V. Rouchon, F. Guyot, D. Pillot, D. Jézéquel, M. Ader, K.D. Newell, and E. Deville, "Natural H₂ in Kansas: Deep or shallow origin?", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 18, No. 5, pp. 1841 - 1865, 2017. DOI: 10.1002/2016GC006544.

[8] Barbara Sherwood Lollar, T.C. Onstott, G. Lacrampe-Couloume, and C.J. Ballentine, "The contribution of the Precambrian continental lithosphere to global H₂ production", *Nature*, Vol. 516, pp. 379 - 382, 2014. DOI: 10.1038/nature14017.

[9] S.K. Johnsgard, "The fracture pattern of North-Central Kansas and its relation to hydrogen soil gas anomalies over the Mid-continental Rift System", *Kansas Geological Survey (KGS) Open-file Report 88-25*, 1988. https://www.kgs.ku.edu/Publications/OFR/1988/OFR88_25/ofr88-25.pdf.

[10] Nikolay V. Larin, Viacheslav Zgonnik, S.N. Rodina, Eric Philippe Deville, Alain Prinzhofer, and Vladimir N. Larin, "Natural molecular hydrogen seepage associated with surficial, rounded depressions on the European craton in Russia", *Natural Resources Research*, Vol. 24, No. 3, pp. 369 - 383, 2014. DOI: 10.1007/s11053-014-9257-5.

[11] Viacheslav Zgonnik, Valérie Beaumont, Eric Deville, Nikolay Larin, Daniel Pillot, and Kathleen M. Farrell, "Evidence for natural molecular hydrogen seepage associated with Carolina bays (surficial, ovoid depressions on the Atlantic Coastal Plain, Province of the USA)",

Progress in Earth and Planetary Science, Vol. 2, No. 31, 2015. DOI: 10.1186/s40645-015-0062-5.

[12] Alain Prinzhofer, Isabelle Moretti, Joao Françolin, Cleuton Pacheco, Angélique D'Agostino, Julien Werly, and Fabian Rupin, "Natural hydrogen continuous emission from sedimentary basins: The example of a Brazilian H₂-emitting structure", *International Journal Hydrogen Energy*, Vol. 44, No. 12, pp. 5676 - 5685, 2019. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2019.01.119.

[13] Viacheslav Zgonnik, Beaumont Valérie, Nikolay V. Larin, Pillot Daniel, and Eric Philippe Deville, "Diffused flow of molecular hydrogen through the Western Hajar mountains, Northern Oman", *Arabian Journal Geosciences*, Vol. 12, No. 3, 2019. DOI: 10.1007/s12517-019-4242-2.

[14] Elza Dugamin, Laurent Truche, and Frederic Victor Donze, "Natural hydrogen exploration guide", 2019.

[15] V.T. Jones and R.J. Pirkle, "Helium and hydrogen soil gas anomalies associated with deep or active faults", *American Chemical Society (ACS), Atlanta, Georgia, 29 March - 3 April, 1981*.

[16] J.H. McCarthy and T.H. Kiilsgaard, "Soil gas studies along the Trans-Challis fault system near Idaho city, Boise county, Idaho", *U.S. Geological Survey Bulletin 2064-LL*, 2001. DOI: 10.3133/b2064LL.

[17] E.A. Rogozhin, A.V. Gorbatikov, N.V. Larin, and M.Yu Stepanova, "Deep structure of the Moscow

Aulacogene in the western part of Moscow", *Izvetstiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, Vol. 46, pp. 973 - 981, 2010. DOI: 10.1134/S0001433810080062.

[18] A.V. Shcherbakov and N.D. Kozlova, "Occurrence of hydrogen in subsurface fluids and the relationship of anomalous concentrations to deep faults in the USSR", *Geotectonics*, Vol. 20, pp. 120 - 128, 1986.

[19] Li-Hung Lin, James Hall, Johanna Lippmann-Pipke, Julie A. Ward, Barbara Sherwood Lollar, Mary F. Deflaun, Randi Rothmel, Duane P. Moser, Thomas M. Gihring, Bianca Mislowack, and T.C. Onstott, "Radiolytic H₂ in continental crust: nuclear power for deep subsurface microbial communities", *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, Vol. 6, No. 7, pp. 1 - 13, 2005. DOI: 10.1029/2004GC000907.

[20] Văn Đức Chương, Văn Đức Tùng và Trần Văn Thắng, "Các thành tạo mafic - siêu mafic trong các đai ophiolit ở Việt Nam", *Tạp chí các khoa học về trái đất*, Tập 23, Số 3, trang 231 - 238, 2001. DOI: 10.15625/0866-7187/23/3/11336.

[21] Hai Thanh Tran, KhinZaw, Jacqueline A. Halpin, Takayuki Manaka, Sebastien Meffre, Chun-KitLai, Youjin Lee, Hai Van Le, and Sang Dinh, "The Tam Ky - Phuoc Son shear zone in Central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications", *Goldwana Research*, Vol. 26, No. 1, pp. 144 - 164, 2014. DOI: 10.1016/j.gr.2013.04.008.

PROSPECTING FOR UNDERGROUND NATURAL HYDROGEN - NEW ENERGY FOR THE FUTURE

Nguyen Anh Duc¹, Phan Ngoc Trung²

¹Vietnam Oil and Gas Group

²Vietnam Petroleum Institute

Email: ducna@pvn.vn

Summary

Hydrogen, accounting for 75% of ordinary matter by mass and over 90% by atomic number, is the third most abundant element on the Earth's surface, mainly in the form of chemical compounds such as water and hydrocarbons. When burned, hydrogen gas (H₂) produces heat and water without causing environmental pollution, thus it is expected to be one of the clean energy sources for the future.

Industrial hydrogen has so far been mainly produced by thermochemical processes of fossil fuels such as coal and natural gas, and insignificantly by electrolysis of water. Recent natural hydrogen discoveries recorded in the world, especially the exploration and discovery of relatively pure underground hydrogen which was extracted and used as fuel for a local power generator in Bourakebougou (Mali), show the possibility of prospecting for underground natural hydrogen. The article provides an overview of natural hydrogen discoveries over the world and gives recommendations on the prospecting for underground natural hydrogen in Vietnam.

Key words: Natural hydrogen, hydrogen system, energy transition.