

ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ CAO TRONG TÌM KIẾM, THĂM DÒ, KHAI THÁC KHOÁNG SẢN BIỂN: THỰC TRẠNG, KINH NGHIỆM QUỐC TẾ VÀ KHUYẾN NGHỊ CHO VIỆT NAM

Nguyễn Bảo Linh^{1,*}, Vũ Kim Hùng², Lưu Thành Trung³, Nguyễn Văn Tuấn⁴,
Lê Hồng Sơn⁵, Hoàng Thị Bích Ngọc⁶

¹ Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim; 79 An Trạch, Hà Nội, Việt Nam

² Vụ Đánh giá và Thẩm định công nghệ, Bộ Khoa học và Công nghệ, 113 Trần Duy Hưng, Hà Nội, Việt Nam

³ Bộ Nông nghiệp và Môi trường, 10 Tôn Thất Thuyết, Hà Nội, Việt Nam.

⁴ Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 67 Chiến Thắng, Hà Nội, Việt Nam

⁵ Hội Khoa học Kỹ thuật Đức - Luyện kim, 91 Láng Hạ, Hà Nội, Việt Nam

⁶ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41 Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam.

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 30/5/2026

Ngày nhận bài sửa: 28/6/2026

Ngày chấp nhận đăng: 03/7/2026

^{1,*}Tác giả liên hệ:

Email: mineralvimluki@gmail.com

TÓM TẮT

Bài báo trình bày tổng quan thực trạng công nghệ trong tìm kiếm, thăm dò, khai thác khoáng sản rắn biển tại Việt Nam và trên thế giới. Tại Việt Nam, các hoạt động này hiện còn manh mún, phụ thuộc vào công nghệ nhập khẩu, thiếu hệ thống thiết bị chuyên dụng cho khảo sát biển sâu và chưa có cơ sở dữ liệu tích hợp phục vụ nghiên cứu - quản lý. Một số quốc gia trên thế giới đã triển khai hiệu quả nhiều công nghệ cao như thiết bị dưới nước không người lái UUV, hệ thống cảm biến đáy biển, mô hình số 3D địa tầng, bản sao số, ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) trong phân tích dữ liệu và hệ thống khai thác - chế biến tích hợp theo thời gian thực.

Bài viết tổng hợp kinh nghiệm quốc tế về ứng dụng các công nghệ hiện đại chưa được phổ biến tại Việt Nam. Đây là cơ sở cho việc định hướng lựa chọn, chuyển giao và nội địa hóa công nghệ phù hợp với điều kiện địa chất, kỹ thuật và tài chính của Việt Nam, nhằm nâng cao hiệu quả tìm kiếm, thăm dò, khai thác và tăng hệ số thu hồi tài nguyên. Phần cuối, bài báo đề xuất một số định hướng và giải pháp phát triển ứng dụng công nghệ cao giai đoạn đến năm 2030 và tầm nhìn 2045.

Từ khóa: Tìm kiếm, Thăm dò, khai thác, khoáng sản biển, công nghệ cao.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biển và đại dương không chỉ là không gian sinh thái và giao thông quan trọng mà còn ẩn chứa nguồn tài nguyên khoáng sản to lớn. Trong bối cảnh nguồn khoáng sản trên đất liền ngày càng cạn kiệt và vấn đề bảo vệ môi trường được đặt lên hàng đầu, việc phát triển các công nghệ cao để tìm kiếm, thăm dò và khai thác khoáng sản biển trở thành xu hướng tất yếu của nhiều quốc gia trên thế giới. So với khai thác khoáng sản trên đất liền, khai thác khoáng sản biển có một số lợi thế về kinh tế và môi trường như không cần cơ sở hạ tầng mỏ,

không sử dụng hoặc làm ô nhiễm các nguồn nước ngọt, hàm lượng và số lượng kim loại thu được từ biển sâu thường cao hơn so với quặng trên đất liền [1]. Do đó, gần đây, nhiều quốc gia quan tâm đến tài nguyên khoáng sản biển.

Tại Việt Nam, với vùng đặc quyền kinh tế rộng lớn và thềm lục địa trải dài, tiềm năng khoáng sản biển là rất đáng kể. Tuy nhiên, thực tiễn cho thấy các hoạt động liên quan đến điều tra, thăm dò và khai thác khoáng sản biển hiện vẫn ở mức độ sơ khai, mang tính manh mún, thiếu đồng bộ và phụ thuộc nhiều vào công nghệ nhập khẩu.

Bài viết này phân tích tiềm năng khoáng sản biển Việt Nam và thực trạng công nghệ trong tìm kiếm, thăm dò và khai thác khoáng sản biển tại Việt Nam; tổng hợp một số kinh nghiệm quốc tế trong ứng dụng công nghệ cao để tìm kiếm, thăm dò, khai thác khoáng sản biển; từ đó đề xuất định hướng, giải pháp thúc đẩy phát triển và ứng dụng công nghệ cao trong lĩnh vực này đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng hệ thống dữ liệu từ các báo cáo điều tra địa chất của Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam, các công trình nghiên cứu quốc tế về công nghệ khai thác biển sâu của JOGMEC (Nhật Bản), GSR (Bỉ) và các cơ sở dữ liệu khoa học về thiết bị thăm dò dưới nước.

2.2. Khương pháp nghiên cứu

Bài báo áp dụng bốn phương pháp nghiên cứu chính:

- Phương pháp phân tích tài liệu thứ cấp: Tổng hợp, đánh giá các số liệu trữ lượng, thực trạng thiết bị và các quy định pháp lý hiện hành tại Việt Nam và quốc tế (Thu thập và xử lý các báo cáo, công trình nghiên cứu hiện có).

- Phương pháp so sánh: Đối chiếu năng lực công nghệ và mô hình quản lý giữa Việt Nam với các quốc gia đi đầu trong lĩnh vực khoáng sản biển (Nhật Bản, Hàn Quốc, Liên minh Châu Âu) để xác định khoảng cách công nghệ và rút ra bài học kinh nghiệm về nội địa hóa thiết bị (Thu thập và xử lý các báo cáo, công trình nghiên cứu hiện có).

- Phương pháp dự báo công nghệ: (Luận giải và phân kỳ lộ trình ứng dụng đến năm 2030, tầm nhìn 2045).

- Phương pháp chuyên gia: Tham vấn ý kiến từ các chuyên gia thuộc các viện nghiên cứu, các trường đại học và cơ quan quản lý chuyên ngành nhằm chuẩn hóa các khuyến nghị chính sách.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tiềm năng khoáng sản biển Việt Nam và thực trạng công nghệ trong tìm kiếm, thăm dò và khai thác khoáng sản biển tại Việt Nam

3.1.1. Tiềm năng khoáng sản biển Việt Nam

Tài nguyên khoáng sản rắn biển nước ta phân bố tập trung theo các nhóm chính:

- **Sa khoáng và khoáng chất ven bờ (Titan-Zircon, vàng, thiếc):** Tập trung tại dải ven biển miền Trung từ Hà Tĩnh đến Bình Thuận. Hiện đã khoanh vùng 4 khu vực phân bố trong các đới bờ cổ với tài nguyên dự báo lên tới hơn 23,6 triệu tấn quặng ilmenite, zircon. Trước đó các nhà khoa học cũng đã xác định được một số mỏ sa khoáng có ý nghĩa kinh tế như các mỏ chứa ilmenite, rutin, monazite, zircon và các biểu hiện manhetit, casiterit, vàng, crom, corindon, topa, spiner [2].

- **Cát thủy tinh (cát trắng):** Phân bố rải rác dọc bờ biển từ Bắc vào Nam, hầu hết các mỏ cỡ lớn tập trung ở ven biển, đoạn từ Cam Ranh đến Bình Châu và các mỏ ở đảo (Vân Hải - Quảng Ninh). Các mỏ đã được tìm kiếm, thăm dò với tổng trữ lượng khoảng 584 triệu tấn [3].

- **Vật liệu xây dựng và san lấp:** Chủ yếu là cát, sỏi vùng nước nông và cửa sông, trong đó riêng vùng biển từ Vũng Tàu đến Côn Đảo có tài nguyên dự báo cát xây dựng lên tới 88 tỷ m³ [2].

- **Khoáng sản biển sâu và thềm lục địa:** Bao gồm kết hạch sắt – mangan, quặng sunfua đa kim (giàu đồng, chì, kẽm, vàng) phân bố triển vọng tại vùng biển sâu Tây Nam Biển Đông [4]. Ngoài ra, tài nguyên băng cháy (Gas Hydrate) dự báo sơ bộ có thể đạt khoảng 9 tỷ m³ hydrate (tương đương 1.500 tỷ m³ khí methane quy đổi) dựa trên các dấu hiệu địa chấn và mô hình địa chất [5].

3.1.2. Thực trạng công nghệ trong tìm kiếm, thăm dò, khai thác khoáng sản biển tại Việt Nam

Mặc dù Việt Nam có tiềm năng khoáng sản biển rất lớn như trên, nhưng đến nay, hoạt động điều tra, thăm dò, khai thác các loại khoáng sản này còn hạn chế, mới chỉ tập trung tại khu vực ven bờ, chưa có dự án khai thác biển sâu nào được triển khai quy mô lớn.

Một trong những nguyên nhân chính là do năng lực công nghệ trong nước còn nhiều hạn chế. Phần lớn các hoạt động điều tra và thăm dò hiện nay vẫn chủ yếu dựa vào công nghệ truyền thống, độ chính xác chưa cao, độ sâu khảo sát mới chủ yếu giới hạn ở 30-100 m. Việt Nam chưa làm chủ được các thiết bị chuyên dụng như robot lặn điều khiển từ xa (ROV), robot lặn tự hành (AUV), hệ thống cảm biến đáy biển hoặc thiết bị khoan biển sâu. Công tác khảo sát vẫn phụ thuộc lớn vào các đơn vị nước ngoài, dẫn đến chi phí cao và thiếu chủ động trong phân tích, đánh giá tài nguyên.

Bên cạnh đó, cơ sở dữ liệu địa chất – khoáng sản biển của Việt Nam còn phân tán, chưa tích hợp, thiếu cập nhật theo thời gian thực và chưa được số hóa ở mức độ cao. Việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI), mô hình địa tầng 3D hay hệ thống phân tích dữ liệu lớn (Big Data) trong lĩnh vực này hầu như chưa có. Trong khi đó, đây là các công nghệ đóng vai trò nền tảng trong điều tra và đánh giá hiệu quả tài nguyên khoáng sản biển hiện đại.

Ngoài ra, nguồn nhân lực kỹ thuật chuyên sâu về công nghệ biển và khai thác biển sâu còn thiếu, chưa đáp ứng yêu cầu nghiên cứu – triển khai – vận hành thiết bị công nghệ cao. Công tác đào tạo vẫn chủ yếu dừng lại ở mức lý thuyết, thiếu môi trường thực hành trên biển với thiết bị hiện đại. Đồng thời, cơ chế tài chính và đầu tư cho nghiên cứu – phát triển công nghệ biển chưa thực sự được ưu tiên, còn phân tán và thiếu định hướng dài hạn [6].

Nhìn chung, trong bối cảnh biến động kinh tế và biến đổi khí hậu hiện nay, việc nâng cao năng lực công nghệ trong lĩnh vực khoáng sản biển là yêu cầu cấp thiết, vừa để đảm bảo khai thác hiệu quả tài nguyên, vừa phục vụ mục tiêu phát triển bền vững kinh tế biển của Việt Nam đến năm 2045.

3.2. Kinh nghiệm quốc tế về ứng dụng các công nghệ hiện đại trong tìm kiếm, thăm dò, khai thác khoáng sản biển

Nhiều quốc gia trên thế giới đã nhận thức rõ tiềm năng chiến lược của khoáng sản biển và đầu tư mạnh mẽ vào nghiên cứu, phát triển và ứng dụng các công nghệ cao trong tìm kiếm, thăm dò, khai thác khoáng sản biển, đặc biệt tại các vùng biển sâu – nơi đòi hỏi kỹ thuật tiên tiến và chi phí đầu tư lớn.

Hệ thống khai thác biển sâu rất phức tạp, bao gồm thăm dò, khai thác, làm giàu và vận chuyển, v.v ... Hiện tại, một số lượng đáng kể các thử nghiệm trên biển sâu đã được tiến hành thành công và đạt được những tiến bộ đột phá, thiết lập một hệ thống sơ đồ kỹ thuật tương đối hoàn chỉnh và làm chủ khả năng phát triển và sản xuất các công nghệ và thiết bị chính, bao gồm: (1) công nghệ tìm kiếm, thăm dò, (2) công nghệ khai thác (thu gom khoáng sản từ đáy biển, (3) nâng chúng lên bề mặt, và sau đó vận chuyển chúng vào bờ để xử lý thêm) [1].

Tuy nhiên, chưa có hệ thống khai thác khoáng sản biển sâu nào phù hợp để phát triển thương mại trên toàn cầu và hầu hết thiết bị vẫn đang trong giai đoạn nghiên cứu, phát triển và thử nghiệm. Mặt khác, khai thác khoáng sản biển sâu có thể tác động tiêu cực đến hệ sinh thái biển sâu và đa dạng sinh học.

3.2.1. Công nghệ tìm kiếm, thăm dò, khảo sát

Do điều kiện khắc nghiệt dưới đáy biển như áp suất nước lớn và tiềm năng hoạt động của núi lửa, việc khám phá tài nguyên khoáng sản, đặc biệt khu vực biển sâu đòi hỏi công nghệ hiện đại. Loại thiết bị cần thiết phụ thuộc vào loại tài nguyên cần khám phá. Việc thăm dò khoáng sản biển sâu thường bao gồm ba giai đoạn: Xác định vị trí, lấy mẫu và khoan [7]. Sau đây là một số công nghệ thăm dò, khảo sát khoáng sản biển điển hình trên thế giới:

- Công nghệ Sonar đa tia phân giải cao (*Multibeam Echo Sounder - MBES*): Đây là công nghệ tiên tiến nhất hiện nay, cho phép phát sóng âm góc rộng để đo đạc và thiết lập bản đồ địa hình đáy biển dạng 3D với độ phân giải siêu cao trên diện rộng.

- Công nghệ Sonar quét sườn (*Side Scan Sonar - SSS*): Hoạt động dựa trên nguyên lý thu nhận sóng âm phản xạ để xây dựng hình ảnh trực quan về cấu trúc bề mặt đáy biển. Hệ thống bao gồm mảng đầu dò cảm biến và bình áp suất lưu trữ dữ liệu. Hiện nay, các mô-đun SSS và MBES thường được tích hợp trực tiếp lên các thiết bị dưới nước không người lái tự hành (AUV) như hệ thống *Hugin AUV* (Hình 1) có khả năng tự hành khảo sát ở độ sâu đến 3.000m, giúp tối ưu hóa chi phí và tăng độ chính xác của mô hình địa tầng.

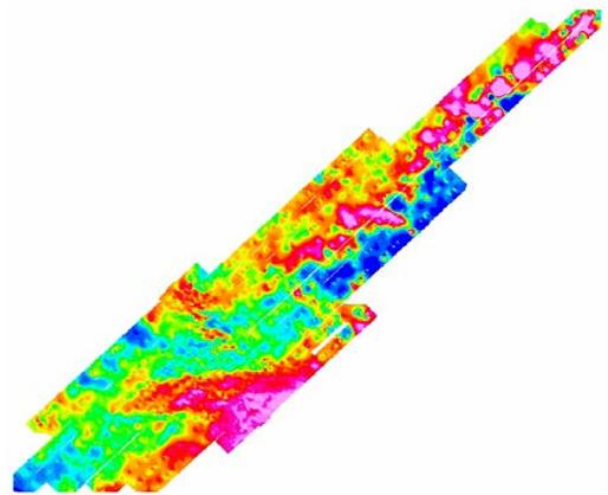
- Công nghệ thăm dò, khảo sát bằng từ kế biển (*Marine Magnetometer*): Từ kế là một công cụ khoa học dùng để đo cường độ từ trường. Trên đất liền, từ kế có thể được sử dụng để tìm kiếm, thăm dò và khai thác các mỏ quặng sắt. Dưới đáy biển, các nhà địa vật lý biển, kỹ sư đại dương và nhà khảo cổ học hàng hải sử dụng từ kế biển để phát hiện các biến thể trong tổng từ trường của đáy biển. Thông thường, sự gia tăng từ hóa là do sự hiện diện của sắt đen (không bị oxy hóa) ở đáy biển như đá núi lửa có chứa các hạt magnetit là khoáng chất có từ tính cao. Sau khi hiệu chỉnh các phép đo tổng từ trường, dữ liệu được sử dụng để ước tính



tuổi và độ dày vỉa quặng hoặc để xác định các địa điểm khảo cổ quan trọng.

- Các phương pháp địa vật lý khác: Tùy thuộc vào khu vực và đối tượng khoáng sản, các nước

còn kết hợp công nghệ thăm dò trọng lực biển, địa chấn nông phân giải cao và đo phóng xạ đáy biển để xác định cấu trúc phân lớp trầm tích [7].



Hình 1. Hugin AUV, có khả năng hoạt động ở độ sâu 3000 m và được trang bị một bộ cảm biến bao gồm HISAS

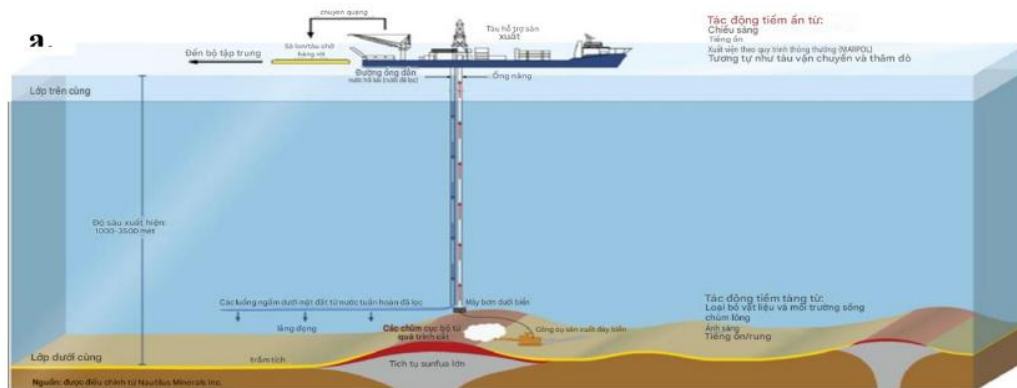


Hình 2. Bản đồ từ tính có được qua hệ thống từ kế

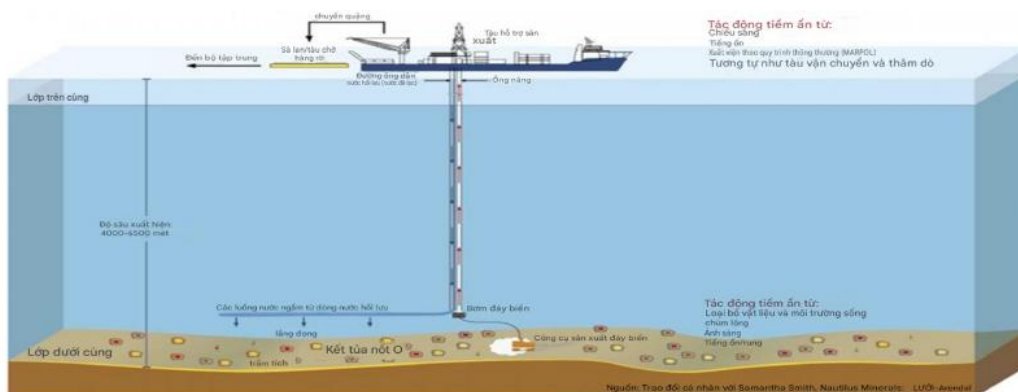
3.2.2. Công nghệ khai thác

Một hệ thống khai thác dưới đáy biển thường có bốn thành phần chính: (1) Công cụ khai thác (gồm hệ thống thu gom khoáng sản và xe khai thác), (2) Hệ thống nâng, (3) Hệ thống hỗ trợ trên mặt biển, (4) Hệ thống thải bỏ [7].

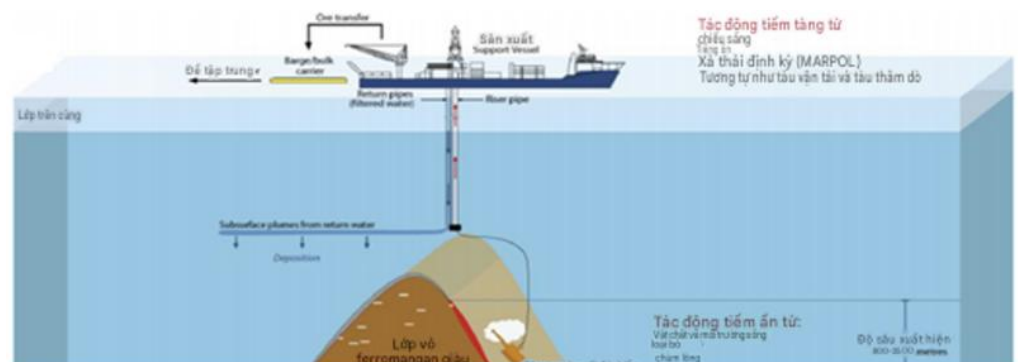
Do tính chất khác nhau của trầm tích dưới đáy biển (kết hạch mangan, lớp vỏ mangan hoặc sunfua lớn dưới đáy biển ...), sự khác biệt giữa các loại mỏ, quy mô và thời gian hoạt động khác nhau nên chi tiết các hệ thống sẽ được bố trí thay đổi cho phù hợp (xem Hình 3).



(a) Sơ đồ khai thác quặng Sulfua dưới đáy biển [5]



(b) Sơ đồ khai thác các kết hạch Mangan ở dưới đáy biển [5]



(c) Sơ đồ khai thác lớp vỏ Mangan dưới đáy biển [7]

Hình 3. Sơ đồ khai thác dưới đáy biển (a), (b), (c)

3.2.3. Cơ chế thu gom khoáng sản từ đáy biển

Các phương pháp thu gom có thể được phân loại thành hai loại: thu gom cơ học và thu gom thủy lực [8]

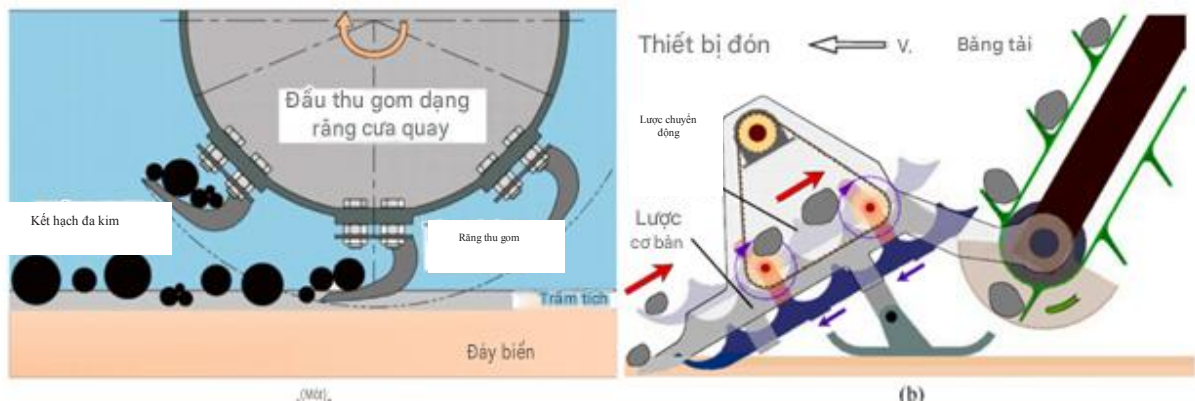
- Phương pháp thu gom kết hạch cơ học được Ocean Minerals Company đề xuất vào năm 1976. Phương pháp này sử dụng một đầu thu gom có

răng xích xoay để đào các hạt khoáng sản từ bề mặt đáy biển và vận chuyển chúng đến xe khai thác biển sâu. Năm 1999, Institut für Konstruktion của Đại học Siegen ở Đức đã phát triển một mô hình thu gom cơ học. Nguyên tắc hoạt động liên quan đến việc sử dụng một xẻng dạng lược kết hợp để nâng các hạt khoáng sản từ bề mặt đáy biển và chuyển chúng lên một tấm xích quay. Năm



2006, Viện Công nghệ Hải dương Ấn Độ đã tiến hành một nghiên cứu thử nghiệm trên biển về phương pháp thu gom xặng lược kết hợp (xem hình 4).

• *Phương pháp thu gom thủy lực* có thể được chia thành ba loại: loại hút, loại phun tia bám tường và loại phun tia hai hàng, dựa trên đặc tính dòng chảy của chúng [1]



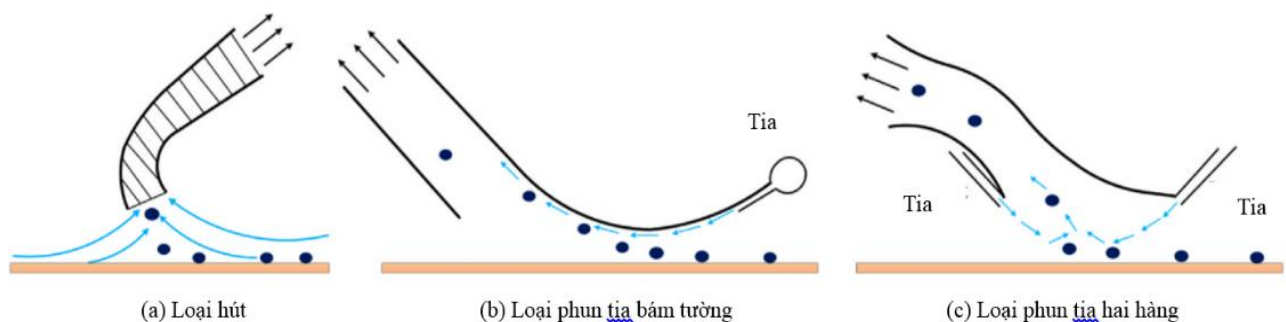
Hình 4. Các phương pháp thu gom khoáng sản từ đáy biển

- Loại hút (Hình 5a): Nguyên tắc hoạt động tương tự như máy hút bụi, sử dụng bơm cánh quạt hướng trục để hút các kết hạch qua miệng hút phẳng và đưa chúng đến hệ thống nâng quặng. Phương pháp này có cơ chế đơn giản và hoạt động đáng tin cậy, nhưng hiệu suất thủy lực thấp và tiêu thụ năng lượng cao. Từ năm 1977 đến 1978, Ocean Mining Associates đã tiến hành một thử nghiệm khai thác khoáng sản đáy biển bằng phương pháp này.

- *Loại phun tia bám tường* (Hình 5b): Nguyên tắc hoạt động dựa trên hiệu ứng Coandă, tạo thành một trường dòng chảy bề mặt lồi với áp suất thấp gần tường và áp suất cao cách xa tường, khiến các hạt khoáng sản bị nới lỏng do chênh lệch áp suất và di chuyển về phía thiết bị khai thác. Trong quá trình thu gom, đầu vào chất rắn của thiết bị thu gom không tiếp xúc trực tiếp với đáy biển, và tia nước bám vào thành rắn của thiết bị khai thác,

tránh xói mòn mạnh đáy biển. Ocean Management Incorporated đã tiến hành một thử nghiệm khai thác trên biển bằng phương pháp này từ năm 1977 đến 1979.

- *Loại phun tia hai hàng* (Hình 5c): Phương pháp này sử dụng tia nước từ hai hàng vòi phun, nghiêng về phía đáy biển ở một khoảng cách thẳng đứng nhất định so với đáy, để rửa và nâng các hạt khoáng sản, đưa chúng vào đường ống vận chuyển khoáng sản. Nguyên tắc hoạt động là các tia từ hàng trước và hàng sau hội tụ ở khu vực giữa và dâng lên, đồng thời đẩy chất lỏng xung quanh hội tụ từ hai bên vào giữa và chảy vào đường ống vận chuyển. Các hạt khoáng sản được nước mang vào đường ống vận chuyển. Hiệp hội Nghiên cứu Công nghệ Nhật Bản về Hệ thống Khai thác Tài nguyên Khoáng sản Đại dương (TRAM) đã phát triển phương pháp này vào năm 1981 và thử nghiệm thành công vào năm 1997.



Hình 5. Các loại thu gom thủy lực (a, b, c)

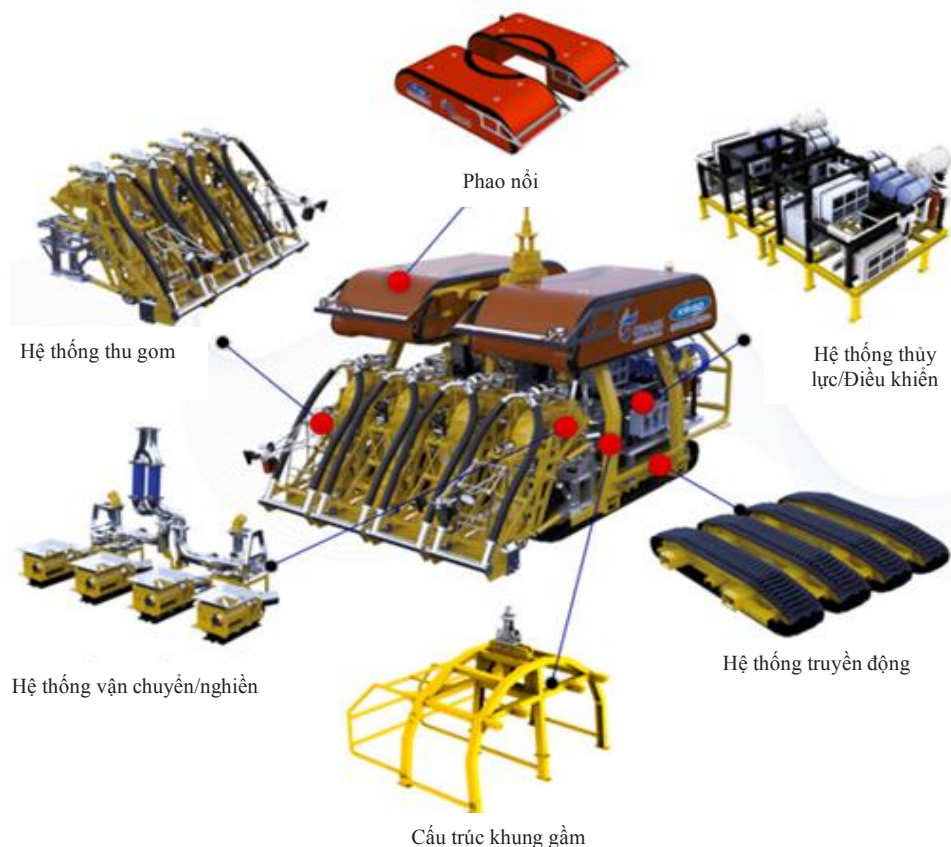
So với thiết bị thu gom cơ học, thiết bị thu gom thủy lực có ít bộ phận chuyển động hơn với cấu trúc đơn giản, ít bị hỏng và ít bị tắc nghẽn hơn, có độ tin cậy tốt hơn trong môi trường khai thác áp suất cao và đục. Hơn nữa, phương pháp thu gom thủy lực có tác động nhỏ hơn đến lớp trầm tích. Kết quả thử nghiệm cũng cho thấy phương pháp thu gom thủy lực có khả năng thích ứng địa hình, hiệu quả thu gom và độ ổn định khai thác của đầu thu gom tốt hơn. Trong khi đó, phương pháp thu gom cơ học có mức tiêu thụ năng lượng thấp hơn so với phương pháp thu gom thủy lực.

Nhìn chung, trên thế giới, phương pháp thu gom thủy lực được ưa chuộng hơn. Ngoại trừ Ấn Độ, các quốc gia khác chỉ nghiên cứu phương pháp thu gom thủy lực. Ví dụ, Trung Quốc đã nghiên cứu phương pháp thu gom phun tia hai hàng; Hàn Quốc đã nghiên cứu phương pháp phun tia hai hàng và phun tia bám tường; Bỉ và Hà Lan đã áp dụng phương pháp phun tia bám tường để nghiên cứu và phát triển các xe khai thác.

3.2.4. Xe khai thác biển sâu

Xe khai thác biển sâu là thành phần then chốt của hệ thống khai thác biển sâu. Nó là một tổ hợp phức tạp, bao gồm hệ thống thu gom, hệ thống truyền động, hệ thống nổi, hệ thống điều khiển, hệ thống nghiền và cấu trúc khung gầm [1] (Hình 6).

Xe không chỉ có thể thu gom hiệu quả khoáng sản đáy biển mỏng và mềm mà còn hoạt động ổn định và có thể điều khiển được dưới áp suất cao và địa hình dưới biển phức tạp. Điều này đòi hỏi các xe khai thác phải có lực kéo mạnh, khả năng chịu tải lớn, tự động tránh chướng ngại vật, theo dõi quỹ đạo đã định và ít làm xáo trộn đáy biển. Theo cơ chế di chuyển, xe có thể được phân loại thành hai loại: loại kéo và loại tự hành. Xe kéo không được phát triển và ứng dụng rộng rãi, dần dần được thay thế bằng loại tự hành. Loại tự hành có thể được chia thành: loại đẩy bằng chân vịt, loại xoắn ốc Archimedes và loại bánh xích tự hành. Xe bánh xích tự hành có ưu điểm là lực kéo lớn, khả năng chịu tải cao, ít xáo trộn đáy biển, dễ tránh chướng ngại vật và khả năng vận hành tốt. Hiện tại, hầu hết các quốc gia đã phát triển các xe bánh xích tự hành, bao gồm Trung Quốc, Đức, Ấn Độ, Hàn Quốc và Nga.



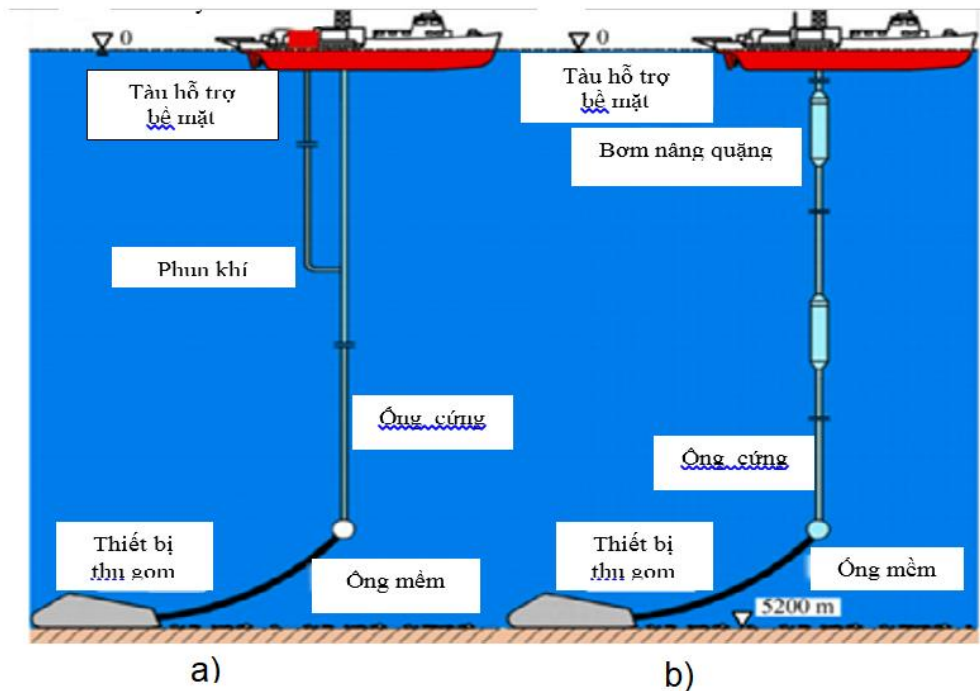
Hình 6. Các cấu phần của xe khai thác biển sâu



3.2.5. Hệ thống nâng

Hệ thống nâng bằng đường ống hiện nay là trọng tâm nghiên cứu chính của khai thác khoáng sản biển sâu. Nó chiếm hơn 50% tổng tiêu thụ

năng lượng của hoạt động khai thác. Hệ thống nâng bằng đường ống có thể được chia thành hai loại: nâng bằng khí nén và nâng bằng thủy lực [8] (Hình 7).



Hình 7. (a) Hệ thống nâng bằng khí nén; (b) hệ thống nâng bằng thủy lực [4]

3.2.6. Hệ thống hỗ trợ trên mặt biển

Hệ thống hỗ trợ trên mặt biển bao gồm tàu hỗ trợ khai thác và các thiết bị khác. Nó cung cấp năng lượng và điều khiển hoạt động cho xe khai thác đáy biển, vận chuyển khoáng sản và hệ thống

nâng, cũng như các tiện ích sinh hoạt cho lực lượng lao động của hệ thống khai thác. Hơn nữa, hệ thống hỗ trợ trên mặt biển cần thực hiện xử lý tách nước sơ bộ hoặc phân loại khoáng sản thu gom từ đáy biển trước khi chuyển chúng đến tàu vận tải để giao hàng vào bờ [1].



Hình 8. Tàu hỗ trợ trên mặt biển

3.2.7. Thực tiễn khai thác khoáng sản biển ở một số quốc gia trong những năm gần đây

Năm 2021, công ty Global Sea Mineral Resources (GSR của Bỉ, đã hoàn thành một thử nghiệm biển sâu 4500 m ở khu vực Clarion Clipperton, với hiệu suất thu gom 110–120 tấn mỗi giờ. Năm 2022, công ty The Metals Company (TMC), của Canada, niêm yết tại Hoa Kỳ, đã hoàn thành việc phát triển một xe khai thác biển sâu và hoàn thành thử nghiệm thu gom và nâng ở độ sâu 4300 mét, với hiệu suất thu gom 86,4 tấn mỗi giờ [1].

Trong hơn 30 năm qua, Nhật Bản đã tiến hành nghiên cứu và phát triển khai thác kết hạch đa kim và lớp vỏ mangan giàu coban ở biển sâu trong vùng đặc quyền kinh tế của mình. Tổng công ty Dầu khí và Kim loại Quốc gia Nhật Bản (JOGMEC) đã xây dựng và thực hiện kế hoạch nghiên cứu và phát triển PMS (Pilot Mining System) từ năm 2008 đến 2017, bao gồm đào, nghiền, thu gom và nâng. Năm 2015, JOGMEC bắt đầu thử nghiệm khai thác trên biển kéo dài ba năm, được chia thành ba giai đoạn. Ở giai đoạn đầu tiên, xe thử nghiệm trang bị đầu đào khoáng sản trong khu vực thử nghiệm mở vào năm 2014. Ở giai đoạn thứ hai, xe thử nghiệm được thay thế bằng gầu có máy đập hàm nhỏ để đập các khoáng sản đã đào và sau đó đặt chúng vào khu vực thử nghiệm. Giai đoạn thứ ba thực hiện các thử nghiệm thu gom và nâng khoáng sản đáy biển. Trong thử nghiệm trên biển này, khoảng 4000 kg khoáng sản sulfua đáy biển đã được thu gom [1].

Sau nhiều thập kỷ phát triển, công nghệ và thiết bị khai thác biển sâu đã được cải thiện và nâng cao đáng kể. Cả Trung Quốc và Nhật Bản cũng đã thành công trong việc tiến hành nhiều thí nghiệm thu gom tại chỗ cho quặng mangan giàu coban. So với các xe khai thác kéo của thập niên 1970, các xe khai thác đáy biển trong các thử nghiệm trên đều đã áp dụng cơ chế tự hành bánh xích, thể hiện độ chính xác điều khiển cực cao. Mặt khác, mặc dù hệ thống thử nghiệm của Công ty TMC đã đạt quy mô gần như thương mại, nhưng nhìn chung, việc phân tích và xác minh khả năng kinh tế và độ tin cậy của hệ thống khai thác vẫn chưa đủ.

Hiện nay, công nghệ thăm dò, khai thác khoáng sản biển sâu trên thế giới đang phát triển theo xu

hướng tăng cường độ tin cậy và thông minh. Thiết bị khai thác được tích hợp với các công nghệ tiên tiến như trí tuệ nhân tạo và bản sao số có thể đạt được các tính năng mới như tự phản hồi, tự cảnh báo và tự ra quyết định ở biển sâu, thúc đẩy hoạt động an toàn của thiết bị và hệ thống khai thác [1], [9].

4. KẾT LUẬN

Qua nghiên cứu thực trạng năng lực công nghệ trong nước và tổng hợp các mô hình công nghệ cao đã thử nghiệm trên thế giới, nhóm tác giả rút ra các kết luận khoa học và đề xuất các giải pháp mang tính hành động nhằm hiện thực hóa mục tiêu hiện đại hóa ngành khoáng sản biển Việt Nam như sau:

4.1. Kết luận

➤ Việt Nam có tiềm năng tài nguyên khoáng sản biển đáng kể, phân bố từ vùng ven bờ đến các khu vực biển sâu. Các đối tượng khoáng sản triển vọng bao gồm sa khoáng titan và cát thủy tinh dọc dải ven biển, cùng với các nguồn tài nguyên phi truyền thống như hydrat khí (băng cháy) trong các bể trầm tích và các tích tụ sunfua đa kim liên quan đến hoạt động thủy nhiệt ở đáy biển sâu. Mặc dù tiềm năng địa chất được đánh giá cao, công tác điều tra, đánh giá và khai thác các nguồn tài nguyên này vẫn đang đối mặt với nhiều hạn chế, trong đó nổi bật là sự thiếu hụt về năng lực công nghệ và thiết bị chuyên dụng. Việt Nam cần làm chủ được các hệ thống khảo sát địa vật lý biển hiện đại, các phương tiện quan trắc dưới nước có độ sâu hoạt động lớn, cũng như chưa có nền tảng công nghệ khai thác khoáng sản biển sâu ở quy mô công nghiệp;

➤ Trên thế giới, xu hướng phát triển công nghệ điều tra và khai thác khoáng sản biển đang chuyển mạnh sang việc tích hợp các hệ thống tự động và thông minh. Các phương tiện không người lái dưới nước (UUV/AUV) kết hợp với công nghệ sonar đa tia (MBES) cho phép thu nhận dữ liệu địa hình đáy biển và cấu trúc địa chất với độ phân giải cao, góp phần nâng cao hiệu quả tìm kiếm và đánh giá tài nguyên. Đối với khai thác khoáng sản biển sâu, nhiều quốc gia và tập đoàn công nghệ đang nghiên cứu các tổ hợp thiết bị thu gom quặng sử dụng cơ chế thủy lực kết hợp phương tiện bánh xích tự



hành, nhằm tối ưu hóa khả năng thu hồi khoáng sản đồng thời hạn chế xáo trộn môi trường đáy biển. Đây là những định hướng công nghệ quan trọng mà Việt Nam cần từng bước tiếp cận, tiếp thu và làm chủ để phục vụ chiến lược phát triển kinh tế biển bền vững trong tương lai.

4.2. Khuyến nghị

Từ thực trạng trong nước và kinh nghiệm quốc tế đã phân tích, có thể thấy rằng phát triển và ứng dụng công nghệ cao trong lĩnh vực khoáng sản biển không chỉ là xu thế tất yếu mà còn là yêu cầu cấp bách nhằm nâng cao năng lực điều tra, quản lý và khai thác hiệu quả nguồn tài nguyên chiến lược của quốc gia. Để hiện thực hóa mục tiêu đó, cần triển khai đồng bộ một số định hướng và giải pháp trọng tâm sau:

➤ Xây dựng chiến lược quốc gia về khai thác và sử dụng tài nguyên khoáng sản biển gắn với phát triển công nghệ cao. Việt Nam cần sớm ban hành chiến lược phát triển khoáng sản biển đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045, trong đó xác định rõ các đối tượng tài nguyên ưu tiên, vùng biển trọng điểm, các công nghệ cốt lõi cần làm chủ và lộ trình phát triển phù hợp với điều kiện thực tiễn. Chiến lược này cần được tích hợp với chiến lược phát triển kinh tế biển bền vững, bảo đảm hài hòa giữa mục tiêu phát triển kinh tế, bảo vệ môi trường và giữ vững chủ quyền quốc gia trên biển;

➤ Tăng cường đầu tư phát triển hạ tầng công nghệ và hệ thống cơ sở dữ liệu địa chất – khoáng sản biển. Cần xây dựng Trung tâm dữ liệu địa chất và khoáng sản biển quốc gia theo hướng số hóa, tích hợp và liên thông dữ liệu từ các hoạt động điều tra cơ bản, thăm dò và khai thác. Đồng thời, đẩy mạnh ứng dụng công nghệ mô hình hóa địa chất ba chiều, trí tuệ nhân tạo và dữ liệu lớn trong xử lý, phân tích và dự báo tài nguyên. Bên cạnh đó, việc đầu tư các phương tiện khảo sát hiện đại như tàu nghiên cứu biển chuyên dụng, thiết bị lặn không người lái (AUV/ROV), hệ thống sonar đa tia, cảm biến đáy biển và công nghệ khoan biển sâu là yêu cầu cần thiết nhằm nâng cao năng lực nghiên cứu và điều tra biển của Việt Nam;

➤ Thúc đẩy quá trình tiếp nhận, chuyển giao, nội địa hóa và đổi mới sáng tạo công nghệ. Việt Nam cần chủ động hợp tác với các quốc gia có trình độ công nghệ biển tiên tiến để tiếp thu có chọn lọc các công nghệ phù hợp với điều kiện địa chất và môi trường biển trong nước. Song song với đó, cần khuyến khích sự tham gia của các trường đại học, viện nghiên cứu và doanh nghiệp trong nghiên cứu, thiết kế và chế tạo thiết bị phục vụ điều tra, khai thác khoáng sản biển. Việc từng bước làm chủ các mô-đun thu gom khoáng sản, hệ thống điều khiển phương tiện tự hành và công nghệ giám sát môi trường biển sẽ tạo nền tảng cho sự phát triển công nghệ nội sinh trong tương lai;

➤ Hoàn thiện thể chế và chính sách hỗ trợ nghiên cứu, ứng dụng công nghệ cao trong lĩnh vực khoáng sản biển. Cần tiếp tục rà soát, sửa đổi và bổ sung các quy định pháp luật liên quan đến địa chất và khoáng sản theo hướng khuyến khích áp dụng công nghệ tiên tiến, công nghệ thân thiện với môi trường trong hoạt động điều tra, thăm dò và khai thác. Đồng thời, cần xây dựng các chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp quốc gia về địa chất biển và khoáng sản biển, gắn với cơ chế tài chính linh hoạt, chính sách ưu đãi đầu tư và hỗ trợ nghiên cứu phát triển công nghệ;

➤ Phát triển nguồn nhân lực chất lượng cao đáp ứng yêu cầu của cuộc cách mạng công nghệ trong lĩnh vực khoáng sản biển. Cần đẩy mạnh đào tạo đội ngũ chuyên gia liên ngành có kiến thức về địa chất biển, kỹ thuật đại dương, tự động hóa, trí tuệ nhân tạo và khoa học dữ liệu. Đồng thời, tăng cường hợp tác quốc tế trong đào tạo, trao đổi học thuật và thực tập chuyên môn tại các cơ sở nghiên cứu, trung tâm công nghệ biển tiên tiến nhằm từng bước hình thành đội ngũ cán bộ khoa học và kỹ sư có khả năng làm chủ các công nghệ hiện đại. Việc triển khai đồng bộ các giải pháp nêu trên sẽ tạo nền tảng để Việt Nam từng bước nâng cao năng lực khoa học - công nghệ, làm chủ các công nghệ cốt lõi trong điều tra và khai thác khoáng sản biển, góp phần bảo đảm an ninh tài nguyên, phát triển kinh tế biển bền vững và nâng cao vị thế quốc gia trong chiến lược hướng biển của thế kỷ XXI □



TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Q. Zhang, X. Chen, L. Luan, F. Sha and X. Liu, "Technology and equipment of deep-sea mining: State of the art and perspectives," *Earth Energy Science*, vol. 1, no. 1, pp. 65-84, 2025.
- [2] Trần Bích Giang, "Hướng tới khai thác khoáng sản biển sâu," *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường*, Kỳ 2 - Tháng 4/2016.
- [3] Tổng cục Biển và Hải đảo Việt Nam, *Báo cáo nguồn lực tài nguyên thiên nhiên biển và hải đảo*, Bộ Tài Nguyên và Môi trường, 2017.
- [4] Nguyễn Anh Đức và Lê Chi Mai, "Tìm kiếm, thăm dò khoáng sản rắn ở đáy Biển Đông và khả năng thực hiện của Việt Nam," Viện Dầu khí Việt Nam, trực tuyến, truy cập ngày 25/5/2026. [Khả dụng]: <https://vasi.mae.gov.vn/Pages/chi-tiet-tin-tuc.aspx?ItemID=1771>.
- [5] Nguyễn Thu Huyền, Trịnh Xuân Cường, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Trung Hiếu, Tống Duy Cường và nn., "Các dấu hiệu trực tiếp dự báo sự tồn tại của khí hydrate từ tài liệu địa chấn trên khu vực nước sâu thềm lục địa Việt Nam," *Tạp chí Dầu Khí*, số 2, pp. 24-29, 2020, trực tuyến, truy cập ngày 25/5/2026.
- [6] Đỗ Tử Chung và Đoàn Thế Hùng, "Khai thác khoáng sản biển sâu," *Tạp chí Tài nguyên và Môi trường*, Kỳ 2 - Tháng 2/2011.
- [7] K. Rademaekers, O. Widerberg, K. Svatikova, R. van der Veen, T. E. Consulting, E. Panella, et al., *Deep-seabed exploitation: Tackling economic, environmental and societal challenges*, Brussels (BE), 2015, trực tuyến, truy cập ngày 25/5/2026. [https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU\(2015\)547401](https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_STU(2015)547401)
- [8] K. Du, W. Xi, S. Huang and J. Zhou, "Deep-sea mineral resource mining: a historical review, developmental progress, and insights," *Mining, Metallurgy & Exploration*, vol. 41, no. 1, pp. 173-192, 2024.
- [9] R. Sharma, "Deep-sea mining: Current status and future considerations," in *Deep-sea mining: Resource potential, technical and environmental considerations*, Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 3-21.
- [10] M. A. Atmanand, K. C. Janardhanan, K. Amuda, A. Gnanaraj, S. Rajesh, P. Muthuvel, et al., "Contemporary technological progress in deep-sea mining," in *Deep-Sea Mining and the Water Column: Advances, Monitoring and Related Issues*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 67-89.
- [11] Japan Government, *Development of Innovative Technologies for Exploration of Deep Sea Resources*, trực tuyến, truy cập ngày 25/5/2026.
- [12] Ban Chấp hành Trung ương Đảng khóa XII, *Nghị quyết số 36-NQ/TW ngày 22/10/2018 về Chiến lược Phát triển bền vững kinh tế biển đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045*, 2018.
- [13] *Nghị quyết số 26/NQ-CP ngày 05 tháng 3 năm 2020 của Chính phủ thực hiện Nghị quyết số 36-NQ/TW ngày 22 tháng 10/2018 Về Chiến lược Phát triển bền vững kinh tế biển đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045*, 2020.

LỜI CẢM ƠN:

Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cấp Bộ Công Thương của Viện Khoa học và Công nghệ Mỏ - Luyện kim, mã số ĐTKHCN 018/25



APPLICATION OF HIGH TECHNOLOGY IN PROSPECTING, EXPLORATION, AND EXPLOITATION OF MARINE MINERALS: CURRENT STATUS, INTERNATIONAL EXPERIENCE, AND RECOMMENDATIONS FOR VIETNAM

Bao Linh Nguyen^{1,*}, Kim Hung Vu², Thanh Trung Luu³, Van Tuan Nguyen⁴,
Hong Son Le⁵, Thi Bich Ngoc Hoang⁶

¹ Institute of Mining and Metallurgy Science and Technology; 79 An Trach, Ha Noi, Viet Nam

² Department of Technology Appraisal and Examination, Ministry of Science and Technology, 113 Tran Duy Hung, Ha Noi, Vietna

³ Department of Environment - Ministry of Agriculture and Environment, 10 Ton That Thuyet, Ha Noi, Vietnam

⁴ Institute of Geosciences and Mineral Resources, 67 Chiên Thang, Ha Noi, Vietnam

⁵ Foundry and Metallurgy Science and Technology Association, 91 Lang Ha, Ha Noi, Vietnam;

⁶ Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41 Phu Dien, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 30/5/2026

Revised: 28/6/2026

Accepted: 03/7/2026

^{1*} Corresponding author:

Email: mineralvimluki@gmail.com

ABSTRACT

This paper presents an overview of the current technological status of marine solid mineral prospecting, exploration, and exploitation in Vietnam and worldwide. In Vietnam, these activities remain fragmented and heavily dependent on imported technologies, lacking specialized equipment for deep-sea surveys and integrated databases for research and management. Conversely, several nations have successfully deployed advanced technologies, such as unmanned underwater vehicles (UUVs), seabed sensing systems, 3D digital stratigraphic modeling, digital twins, artificial intelligence (AI) for data analytics, and integrated real-time mining and processing systems.

The paper synthesizes international experiences in applying modern technologies that are not yet prevalent in Vietnam. This serves as a foundation for orienting the selection, transfer, and localization of technologies tailored to Vietnam's geological, technical, and financial conditions, aiming to enhance the efficiency of prospecting, exploration, and exploitation while increasing resource recovery rates. Finally, the paper proposes strategic orientations and solutions for high-tech development and application up to 2030, with a vision toward 2045.

Keywords: *Prospecting, exploration, exploitation, marine minerals, high technology.*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association