Journal of Mining and Earth Sciences
Website: http://jmes.humg.edu.vn

Advanced Mining Geomatic Technologies Serving Open-Pit Mining Operation in Vietnam

Long Quoc Nguyen [1,*], Dung Ngoc Vo [1], My Chi Vo [2]

[1] *Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*
[2] *Vietnam Association of Mining Science and Technology*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 12nd Aug. 2020
Accepted 16th Sept. 2020
Available online 10th Oct. 2020

Keywords:
GIS,
GNSS,
Laser engineering,
Open-cast mining,
Satellite Remote sensing,
Terrestrial Laser Scanning,
Unmanned aerial vehicle.

ABSTRACT

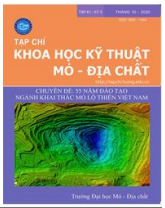
Along with the development of open-pit mining operation, mining geomatic engineering have been on the go for years playing an important role in periods of designing, building, operating, closing and environmental monitoring. The application of modern geomatic technologies has been improving the efficiency of the management and operations in open-pit mines, reducing time, effort and safety. The article presents an overview of achievements in the application of modern geomatic technologies to the development of Vietnam's open-pit mining industry.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author
E-mail: nguyenquoclong@humg.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.KTLT2020.11

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: http://tapchi.humg.edu.vn



Công nghệ địa tin học hiện đại phục vụ khai thác mỏ lộ thiên Việt Nam

Nguyễn Quốc Long [1,*], Võ Ngọc Dũng [1], Võ Chí Mỹ [2]

[1] *Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam*
[2] *Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 12/8/2020
Chấp nhận 16/9/2020
Đăng online 10/10/2020

Từ khóa:
Khai thác mỏ lộ thiên,
Kỹ thuật laser,
Hệ thống thông tin địa lí,
Hệ thống định vị vệ tinh,
Máy bay không người lái,
Quét laser mặt đất,
Viễn thám vệ tinh.

TÓM TẮT

Song hành với quá trình hiện đại hoá ngành công nghiệp khoáng sản, công nghệ địa tin học mỏ đã không ngừng đổi mới, kịp thời tiếp cận với trình độ của thế giới, ứng dụng các phương pháp công nghệ và thiết bị hiện đại phù hợp với điều kiện thực tế trong các đơn vị khai thác mỏ lộ thiên Việt Nam. Việc ứng dụng công nghệ địa tin học hiện đại đã và đang nâng cao hiệu quả quá trình khai thác, quản lý hoạt động trong mỏ lộ thiên, giảm thời gian, công sức và an toàn lao động. Báo cáo trình bày tổng quan về thành tựu ứng dụng các giải pháp công nghệ và thiết bị địa tin học hiện đại phục vụ sự phát triển ngành khai thác mỏ lộ thiên Việt Nam.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Địa tin học mỏ là một bộ phận kỹ thuật đồng hành với các công đoạn công nghệ, phục vụ trong suốt quá trình hoạt động của mỏ lộ thiên từ giai đoạn xây dựng, khai thác, đóng cửa mỏ và giám sát sự biến động tài nguyên và môi trường mỏ theo không gian và thời gian. Cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật, công nghệ địa tin học mỏ đã không ngừng được nghiên cứu, tiếp cận công nghệ mới của thế giới, triển khai nhanh chóng, sáng tạo nhằm đáp ứng kịp thời nhu cầu nâng cao hiệu quả quản lý và sản xuất trong các mỏ lộ thiên Việt Nam.

Trước đây, các mạng lưới khống chế trắc địa thường được thành lập bằng phương pháp tam giác, sử dụng các thiết bị đo góc cạnh thì nay hầu hết các mạng lưới tọa độ ở vùng mỏ Quảng Ninh và các mỏ khai thác khoáng sản, vật liệu xây dựng trên cả nước đều áp dụng công nghệ định vị vệ tinh GNSS để thành lập các mạng lưới của mỏ. Đo vẽ thành lập bản đồ cũng được các mỏ áp dụng các công nghệ mới nhất như đo GNSS/RTK, máy bay không người lái UAV, đo laser không gương, và bước đầu tiếp cận công nghệ quét laser mặt đất trong thành lập bản đồ tỷ lệ lớn (Bui Tien Dieu và nnk., 2017; Nguyen Quoc Long và nnk., 2018, 2019; Nguyen Viet Nghia, 2020; Viet Nghia

*Tác giả liên hệ
E-mail: nguyenquoclong@humg.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.KTLT2020.11

Nguyen và nnk., 2019). Tích hợp công nghệ viễn thám vệ tinh, công nghệ UAV gắn cảm biến đo chất lượng môi trường không khí và GIS cũng được ứng dụng để nghiên cứu an toàn và môi trường mỏ lộ thiên (Xuan-Nam Bui và nnk., 2019, 2020; Nguyen Quoc Long và nnk., 2020). Bên cạnh các công nghệ phần cứng, công nghệ thông tin địa không gian với sản phẩm là các loại bản đồ số, bản đồ trực giao, các sản phẩm 3D bao gồm mô hình số độ cao (DEM), mô hình số bề mặt (DSM) và mô hình số địa hình (DTM) là những công cụ hỗ trợ hiệu quả trong công tác tính khối lượng đất bóc và khoáng sản bảo đảm độ chính xác và cung cấp kịp thời số liệu các kỳ thống kê.

Trong bối cảnh điều kiện khai thác tài nguyên khoáng sản ngày càng khó khăn, các yêu cầu về an toàn và bảo vệ môi trường ngày càng được quan tâm, việc đẩy mạnh áp dụng khoa học công nghệ địa tin học hiện đại vào sản xuất có vai trò hết sức quan trọng cho sự tăng trưởng và phát triển kinh tế bền vững của ngành mỏ nói chung và ngành khai thác lộ thiên nói riêng.

2. Công nghệ địa tin học mỏ hiện đại phục vụ khai thai thác mỏ lộ thiên

2.1. Hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu GNSS

Trước đây, thường chỉ nói đến hệ thống GPS của Mỹ thì nay, với hệ thống GLONASS (Nga), Galileo (EU) và Compass (Trung Quốc) đã tạo thành một hệ thống vệ tinh dẫn đường toàn cầu gọi là GNSS. Trong điều kiện địa hình khó khăn của các vùng mỏ Việt Nam với núi cao, vực sâu, sông suối chia cắt; các moong lộ thiên có độ sâu lớn, các máy thu GNSS với khả năng có thể thu nhận và xử lý hỗn hợp tín hiệu của tất cả các hệ định vị, đã khắc phục được nhược điểm tín hiệu bị gián đoạn, vệ tinh bị che khuất, số lượng vệ tinh không đủ, ảnh hưởng đa đường dẫn v.v… của hệ định vị GPS trước đây. GNSS hiện đang đóng vai trò quan trọng và chủ lực trong công tác trắc địa-bản đồ phục vụ hiệu quả các hoạt động trong các mỏ lộ thiên Việt Nam, từ các khai trường mỏ lớn như Cọc Sáu, Đào Nai, Cao Sơn, Hà Tu, Núi Béo đến các mỏ đá các-bô-nat và vật liệu xây dựng.

Hầu hết các mạng lưới khống chế trắc địa cơ bản trên vùng mỏ Quảng Ninh đều được thành lập bằng công nghệ GNSS tĩnh với độ chính xác cao. Đây là cơ sở cho sự phát triển các nội dung công tác trắc địa trong các công ty mỏ lộ thiên. Công nghệ GNSS là cuộc cách mạng trong lĩnh vực trắc địa-bản đồ, đã loại bỏ dần phương pháp lưới tam giác truyền thống mà các công đoạn đo đạc, tính toán đòi hỏi rất nhiều thời gian, công sức và kinh phí.

Công nghệ GNSS động RTK đã được triển khai để đo vẽ thành lập bản đồ tỷ lệ lớn trên mặt bằng các khu mỏ và trong lòng moong các mỏ lộ thiên lớn khai thác xuống sâu. Vì chỉ cần 1÷2 điểm trạm tĩnh nằm xa công trường khai thác nên công đoạn xây dựng lưới khống chế trên bề mặt mỏ được bỏ qua (Hình 1). Điều này có ý nghĩa quan trọng đối với các vùng mỏ Việt Nam, nơi mà các mỏ lộ thiên thường tập trung ở các vùng có bề mặt địa hình phức tạp. Khi mỏ càng khai thác xuống sâu, khả năng ngắm thông từ đáy moong đến các điểm trên bề mặt ngày càng khó. Ứng dụng công nghệ GNSS động, sẽ không còn lưới khống chế đo vẽ, đây cũng là nhân tố nâng cao độ chính xác đo vẽ chi tiết giảm công sức, thời gian cho quá trình thành lập bản đồ (Võ Chí Mỹ và Phạm Hồng Tài, 2014).

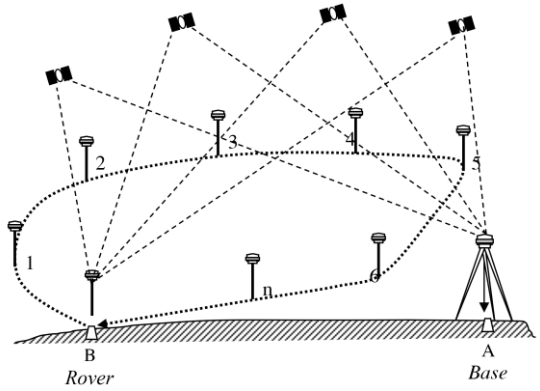
CORS là các trạm tham chiếu thu nhận liên tục tín hiệu vệ tinh của hệ thống GNSS. Các trạm CORS kết hợp máy tính chủ và hệ thống internet truyền dữ liệu tạo thành một mạng lưới đồng nhất. Đây là một trong những công nghệ hiện đại đã và đang ứng dụng trong ngành mỏ lộ thiên Việt Nam. Hệ thống trạm CORS cung cấp sự ổn định và thống nhất của hệ thống tham chiếu tọa độ và chuẩn hóa cơ sở dữ liệu, nâng cao chất lượng số liệu ngoại nghiệp.

Hai phương pháp chính cho việc truyền và cải chính dữ liệu là hiệu chỉnh tham số khu vực FKP và trạm tham chiếu ảo VTR. Ở Việt Nam, phương pháp tham chiếu ảo phù hợp hơn và đang được sử dụng hiệu quả trong mỏ lộ thiên (Hình 2). Nhờ hệ thống trạm CORS, công tác trắc địa mỏ lộ thiên bao gồm các nội dung đo vẽ bản đồ địa hình các loại tỷ lệ; các sự cố tai biến sạt lở bờ mỏ và bãi thải được giám sát kịp thời, nâng cao hiệu quả và quản lý hoạt động sản xuất mỏ, giảm thiểu các tác động tiêu cực của hoạt động khai thác mỏ đối với môi trường (Nguyễn Viết Nghĩa và Võ Ngọc Dũng, 2016).

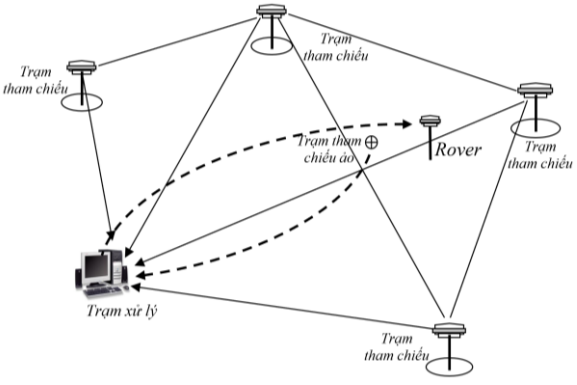
2.2. Thiết bị laser

a. Đo laser không gương

Các thiết bị toàn đạc điện tử laser đang được ứng dụng phổ biến trong công tác đo kiểm kê lập



Hình 1. Định vị GNSS động RTK trong mỏ lộ thiên.



Hình 2. Sơ đồ hoạt động định vị tham chiếu ảo GNSS/CORS/VRS trong mỏ lộ thiên.

bản đồ hiện trạng ở các mỏ lộ thiên Việt Nam. So với các phương pháp đo chiều dài truyền thống bằng hồng ngoại có gương, ưu điểm nổi bật của các thiết bị laser là có thể đo khoảng cách đến các điểm sạt lở nguy hiểm của bờ mỏ, sườn bãi thải nơi mà con người không tiếp cận được. Không cần sử dụng gương, mia, chiều dài được xác định với độ chính xác cao và đặc biệt là an toàn lao động. Với khả năng đồng thời đo góc, đo chiều dài không gương và đo độ cao, máy toàn đạc điện tử laser được ứng dụng phổ biến trong công tác đo vẽ hiện trạng mỏ lộ thiên. Bộ nhớ và các phầm mềm chuyên dụng cài đặt trong máy cho phép lưu trữ, xử lý và hiển thị tức thời hiện trạng các khai trường và từng bờ mỏ.

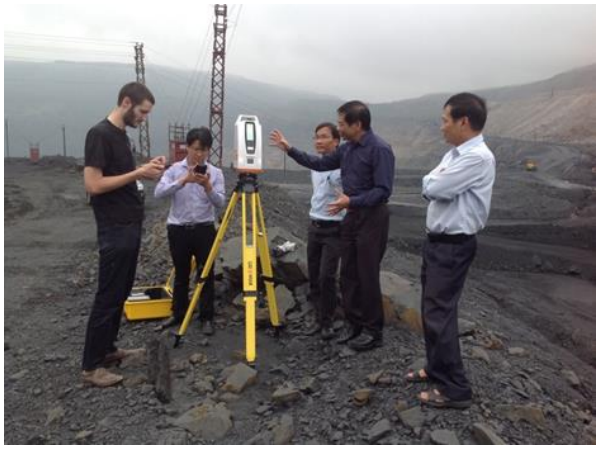
b. Công nghệ quét laser mặt đất

Công nghệ quét laser mặt đất (TLS) đang được nghiên cứu và bước đầu ứng dụng trong hoạt động khai thác mỏ lộ thiên ở Việt Nam, trong đó mỏ Cọc Sáu là đơn vị đầu tiên thử nghiệm công nghệ này (Hình 3). So với các phương pháp đo vẽ truyền thống, công nghệ quét laser mặt đất thể hiện nhiều ưu điểm nổi trội. Độ chính xác xác định vị trí không gian của một điểm (X, Y, Z) có thể đạt tới mi-li-mét (mm). Hiện trạng khai trường lộ thiên được thể hiện rõ ràng, khách quan và trung thực không bị ảnh hưởng bởi yếu tố chủ quan của con người.

Với tốc độ quét lớn (xấp xỉ 1 000 000 điểm/giây), nên công tác đo vẽ thực địa tiến hành nhanh, thời gian ngừng các hoạt động sản xuất không nhiều, không ảnh hưởng lớn đến tiến độ sản xuất của mỏ. Hiện trạng địa hình khai trường lộ thiên được hiển thị trực quan trên mô hình 3D. Tùy vào mục đích, phân tích không gian trên mô hình 3D cho phép xác định: khối lượng thống kê đất bóc và khoáng sản theo chu kỳ; xác định khối lượng đất đá trượt lở trên bờ mỏ và sườn bãi thải (Hình 4); dự báo quá trình biến dạng bờ mỏ và bãi thải theo không gian và thời gian (Vũ Quốc Lập, 2018).

2.3. Máy bay không người lái (UAV)

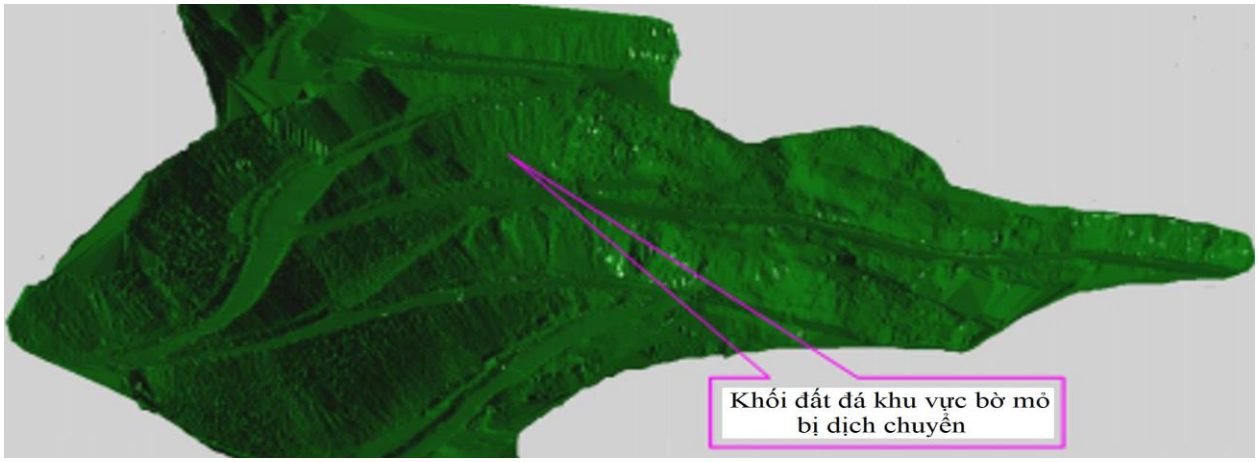
UAV là bước tiến mới trong khoa học công nghệ, là thiết bị phù hợp đáp ứng các nhu cầu cung cấp thông tin địa không gian trong mỏ lộ thiên, bao gồm: thành lập bản đồ hiện trạng, thống kê khối lượng, quan trắc dịch động bờ mỏ và bãi thải, nghiên cứu sự thay đổi địa hình, biến động lớp phủ do ảnh hưởng của quá trình khai thác mỏ. Một trong những nhiệm vụ của trắc địa ở mỏ lộ thiên là thống kê, đo kiểm tra khối lượng đất bóc và khoáng sản hàng tháng, hàng quý, hàng năm; có những trường hợp cần thiết phải đo hàng tuần. UAV với khả năng chụp ảnh độ phân giải cao, cung cấp nhanh chóng và kịp thời bản đồ mỏ lộ thiên



Hình 3. Quét laser bằng máy SPS ZOOM 300 tại mỏ Cọc Sáu năm 2017.

các loại tỷ lệ lớn (1:500, 1:1000, 1:2000 v.v…), bản đồ trực giao và các mô hình 3D của từng khu vực hoặc toàn bộ công trường mỏ lộ thiên. Các mô hình DEM, DTM hoặc DSM là các cơ sở dữ liệu trực quan, phục vụ nhiều mục đích khác nhau cho quá trình quản lý và điều hành hoạt động sản xuất trong mỏ lộ thiên (Võ Chí Mỹ và nnk., 2014).

Không những trong những mỏ khoáng sản lớn, công nghệ UAV còn rất hiệu quả trong công tác đo vẽ bản đồ địa hình tỷ lệ lớn và xây dựng các mô hình số địa hình 3D phục vụ quản lý và sản xuất các mỏ đá vôi và vật liệu xây dựng, tại Việt Nam công nghệ này đã được ứng dụng tại các mỏ ở các địa phương như Hòa Bình, Thanh Hóa, Lào Cai, An Giang, Bình Dương (Quoc Long Nguyen và nnk., 2019; Canh Van Le và nnk., 2020). UAV đặc biệt hiệu quả trong công tác đo đạc địa hình phục vụ công tác quy hoạch nói chung và quy hoạch khoáng sản nói riêng cũng như giám sát an toàn mỏ (Hình 5a và 5b). Ứng dụng đầu tiên phục vụ quy hoạch khoáng sản là tại cụm mỏ đá Tân Mỹ - Thường Tân, tỉnh Bình Dương (Hình 5c).



Hình 4. Mô hình số độ cao nghiên cứu trượt lở bờ Đông mỏ Cọc Sáu năm 2017.

(a)

(b)

(c)

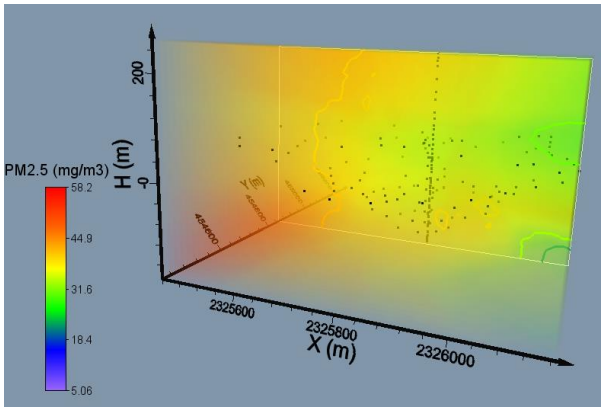
Hình 5. (a) Giám sát an toàn tuyến đường vận tải cụm mỏ đá Tân Đông Hiệp (Bình Dương); (b) Giám sát ổn định bờ mỏ tại mỏ Cọc Sáu (Quảng Ninh); (c) Mô hình 3D cụm mỏ đá Thường Tân (Bình Dương).

UAV cũng đã được ứng dụng trong giám sát các thành phần tài nguyên và môi trường mỏ. Nổ mìn, bốc xúc, vận tải là nguyên nhân gây ra ô nhiễm môi trường không khí trong lòng moong và trong khu vực mỏ. Được gắn các cảm biến quan trắc khí bụi, UAV đã được ứng dụng giám sát chất lượng không khí, xác định nồng độ bụi và khí kể cả nồng độ các khí thải CO2, SO2 và bụi mịn PM10, PM2.5 ở các tầng không khí khác nhau trong mỏ lộ thiên do ảnh hưởng của quá trình hoạt động khai thác mỏ (Hình 6a) (Xuan-Nam Bui và nnk., 2019; Nguyen Quoc Long và nnk., 2020). Ưu điểm vượt trội của công nghệ này so với các trạm quan trắc cố định là có thể thu thập được thông tin trong toàn bộ không gian mỏ với mật độ điểm quan trắc cao, từ đó có thể mô phỏng được chất lượng không khí trong không gian 3D giúp công tác điều hành đảm bảo an toàn được trực quan (Hình 6b và 6c).

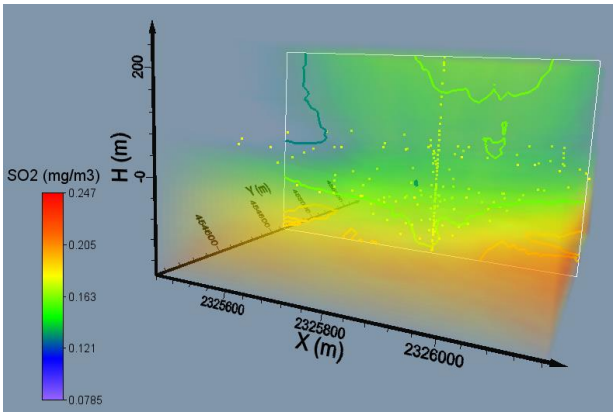
2.4. Tích hợp công nghệ viễn thám vệ tinh và GIS nghiên cứu môi trường mỏ lộ thiên

Bên cạnh lợi ích, hoạt động khai thác khoáng sản bằng phương pháp lộ thiên gây ra sự biến động mạnh mẽ các thành phần tài nguyên và môi trường kể cả ô nhiễm, suy thoái và tai biến môi trường. Trong những năm gần đây, công nghệ viễn thám vệ tinh đã được ứng dụng nghiên cứu sự biến động các thành phần tài nguyên và môi trường do tác động của khai thác mỏ. Ưu điểm nổi bật của công nghệ viễn thám vệ tinh là cung cấp nhanh thông tin trên diện rộng với các dữ liệu khách quan và trung thực. Tích hợp dữ liệu viễn thám với chức năng phân tích không gian trong GIS cho phép giám sát hiệu quả sự biến động các thành phần tài nguyên môi trường do ảnh hưởng của khai thác mỏ lộ thiên như môi trường đất, môi trường nước, không khí và tài nguyên sinh học.

(a)



(b)



(c)

Hình 6. (a) Quan trắc chất lượng không khí mỏ bằng cảm biến gắn trên UAV; (b) phân bố bụi PM2.5 và (c) phân bố SO2 trong không gian 3 chiều tại mỏ Đèo Nai tháng 3/2020.

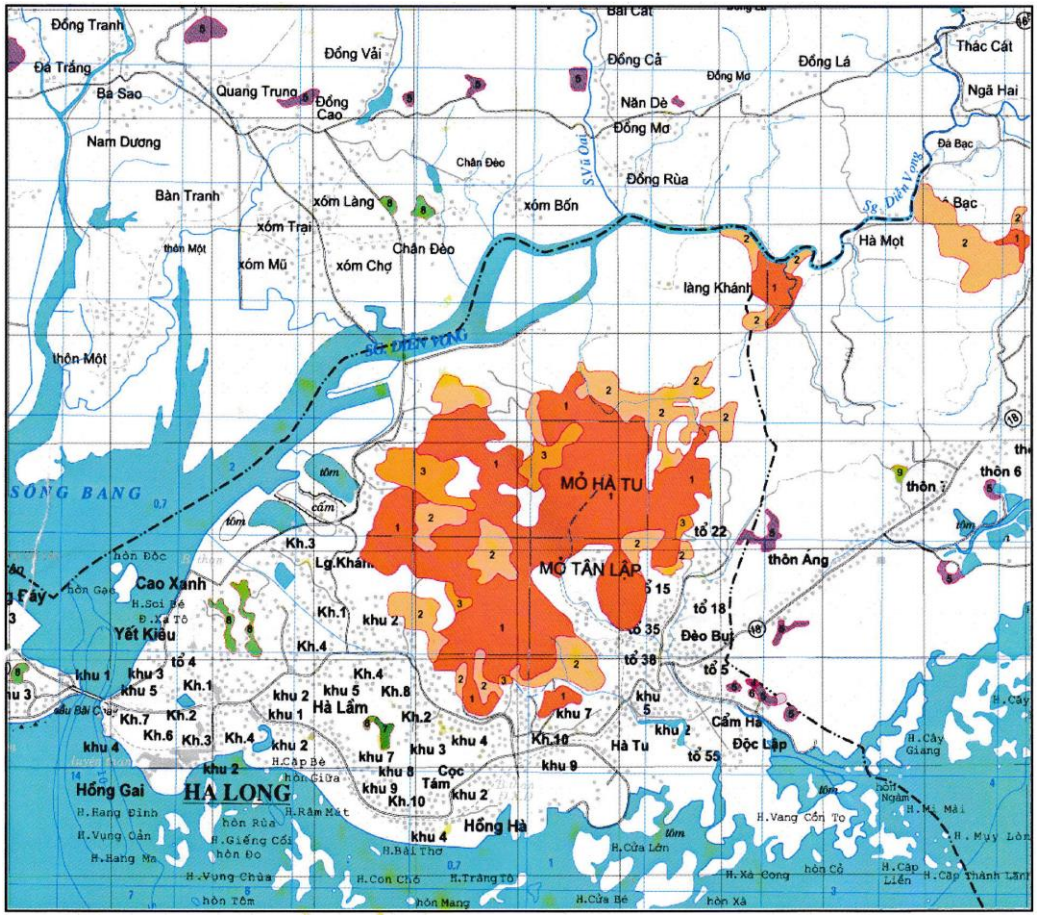
Hậu quả dễ nhận biết nhất của khai thác lộ thiên là làm biến đổi bề mặt địa hình trên một diện tích rộng lớn. Tư liệu viễn thám đa thời gian là công cụ hiệu quả xác định được sự biến động bề mặt địa hình theo không gian và thời gian (Hình 7) (Vũ Đình Thảo, 2010).

Không những giám sát hiện trạng tức thời, công nghệ viễn thám và GIS cho phép đánh giá tác động môi trường tích luỹ CIA (Cumulative Impact Assesment) của một hoặc nhiều đơn vị sản xuất mỏ lộ thiên trong một chuỗi thời gian. Các tác động lũy tích có thể do các hoạt động của một mỏ gây ra, khi kết hợp lại với nhau sẽ tích lũy theo thời gian hoặc là sự tổng hợp tác động của nhiều hoạt độngkhác nhau theo không gian và thời gian. Do đặc điểm địa hình, quá trình khai thác mỏ lộ thiên trên bể than Quảng Ninh trong nhiều năm đã tạo ra khu vực tích lũy nhạy cảm dễ bị tổn thương nhất là vùng ven biển, đới bờ, trực tiếp và gián tiếp gây ô nhiễm nặng nề cho môi trường nước. Bên cạnh các phương pháp quan trắc truyền thống, tư liệu viễn thám quang học và GIS là công cụ hiệu quả trong đánh giá chất lượng nước, xác định các chỉ số ô nhiễm như độ đục TI (Hình 8) (Vũ Đình Thảo, 2010), chất diệp lục CHI, chất lơ lửng TSS, chỉ số phú dưỡng v.v… được xác định là các chỉ số tin cậy đánh giá hiện trạng ô nhiễm nước ven biển tích lũy theo thời gian (Vũ Thị Hằng, 2015).

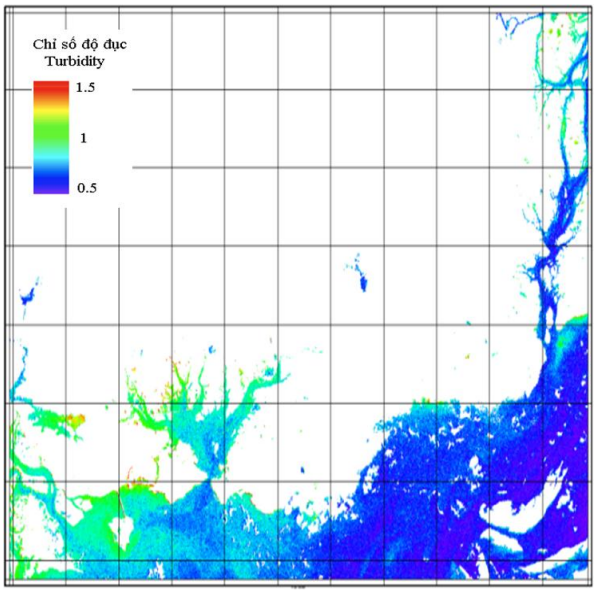
2.5. Công nghệ thông tin địa không gian

Công nghệ thông tin là công cụ quản lý, phân tích không gian, hiển thị và chia sẻ dữ liệu địa không gian được triển khai khá sớm phục vụ hoạt động khai thác mỏ lộ thiên. Kể từ giai đoạn tìm kiếm thăm dò, kết quả điều tra địa chất, địa vật lý v.v… được xây dựng cơ sở dữ liệu; cấu trúc và các tham số hình học của vỉa khoáng sản được mô hình hoá trong không gian ba chiều, tạo điều kiện thuận lợi cho công tác đồng bộ truy cập và sử dụng.

Các phần mềm AutoCAD, ArcGIS, Mapinfo, Microstation v.v… cho phép thành lập hệ thống bản đồ số với độ chính xác cao, có khả năng quản trị các thông tin không gian và thuộc tính. Bên



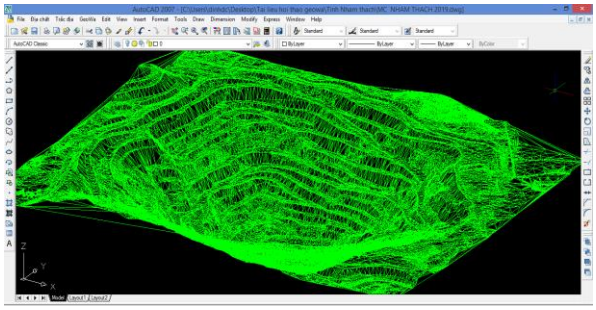
Hình 7. Sự biến động bề mặt địa hình do khai thác lộ thiên từ kết quả phân tích trên ảnh SPOT-5.



Hình 8. Chỉ số độ đục TI nước ven bờ Bái Tử Long từ kết quả phân tích ảnh viễn thám Landsat 8

cạnh bản đồ số, bản đồ trực giao, các sản phẩm 3D bao gồm DEM, DSM và DTM là những công cụ hỗ trợ hiệu quả trong công tác tính khối lượng đất bóc và khoáng sản bảo đảm độ chính xác và cung cấp kịp thời số liệu các kỳ thống kê. Một số công ty mỏ lộ thiên đã trang bị phần mềm Surpac, sản phẩm của công ty Dassault Systems (Australia). Mặc dù xuất phát là phần mềm phục vụ xử lý số liệu trắc địa mỏ (Surveying Package), Surpac ngày một mở rộng đối tượng và phát triển thành phần mềm đa năng giải quyết nhiều nhiệm vụ trong hoạt động khai thác mỏ lộ thiên. Các modul của Surpac cho phép thành lập các loại bản đồ, xây dựng cơ sở dữ liệu, thành lập các mô hình 3D dễ dàng, nhanh chóng hỗ trợ hiệu quả cho công tác xây dựng, quản lý và hiển thị thông tin địa hình trên toàn vùng và trong từng mỏ.

Ngoài ra, hiện nay tại Việt Nam có một số phần mềm phát triển bởi đội ngũ cán bộ khoa học trong nước, đang được ứng dụng có hiệu quả trong ngành mỏ nói chung và các mỏ than tại khu vực Quảng Ninh nói riêng. Điển hình là các phần Topo, SHMo của công ty Hài Hòa, phần mềm Trắc địa, Địa chất, Geowa của Công ty Viettech, các phần mềm này được tích hợp trên nền tảng phần mềm Autocad cho phép kế thừa cơ sở dữ liệu trước đây của các mỏ. Đây là các công cụ đắc lực trợ giúp công tác biên tập bản đồ số địa hình, nham thạch; tính khối lượng mỏ; cập nhật, hiệu chỉnh điểm lộ vỉa, bình đồ, mặt cắt, tính trữ lượng, v.v … với tốc độ xử lý nhanh và chính xác (Hình 9). Hệ thống tin



Hình 9. Phần mềm Trắc địa, Địa chất và Geowa (Viettech) tích hợp trên nên Autocad.

địa lý (GIS) với các phần mềm hiện đại cho phép xây dựng cơ sở dữ liệu mỏ-địa chất và chia sẻ trên mạng LAN, mạng Web tạo một hệ thống kết nối thông tin trong và ngoài đơn vị. Các phần mềm GIS không những chỉ có tính năng đồ họa, quản lý dữ liệu mà còn cho phép phân tích không gian, chồng ghép các lớp bản đồ, phân tích đa tiêu chí, phân tích tối ưu v.v… hỗ trợ hiệu quả cho quá trình ra quyết định từ các công đoạn thăm dò đến xây dựng, quản lý, khai thác mỏ lộ thiên và giám sát, bảo vệ môi trường mỏ.

3. Kết luận

Với sự phát triển mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật, chương trình ứng dụng công nghệ địa tin học hiện đại trong hoạt động khai thác mỏ lộ thiên Việt Nam đã có những bước tiến lớn. Sự tiếp cận nhanh chóng với thế giới đã rút ngắn khoảng cách về trình độ công nghệ và thiết bị hiện đại trong lĩnh vực địa không gian. Ứng dụng thành công công nghệ địa tin học hiện đại đã góp phần nâng cao độ chính xác, độ tin cậy của dữ liệu và thông tin phục vụ hiệu quả công tác quản lý và điều hành sản xuất, giảm thời gian, công sức, nâng cao an toàn lao động trong các đơn vị sản xuất mỏ lộ thiên Việt Nam.

Đóng góp của các tác giả

Tác giả Nguyễn Quốc Long hình thành ý tưởng, triển khai các nội dung và hoàn thiện bản thảo cuối của bài báo; các tác giả Nguyễn Quốc Long, Võ Ngọc Dũng, Võ Chí Mỹ triển khai các nội dung bài báo.

Tài liệu tham khảo

Bui, X.-N., Choi, Y., Atrushkevich, V., Nguyen, H., Tran, Q.-H., Long, N. Q. và Hoang, H.-T., (2020). Prediction of Blast-Induced Ground Vibration

Intensity in Open-Pit Mines Using Unmanned Aerial Vehicle and a Novel Intelligence System. *Natural Resources Research,* 29(2), tr. 771-790. doi: 10.1007/s11053-019-09573-7.

Bui, X. N., Lee, C., Nguyen, Q. L., Adeel, A., Cao, X. C., Nguyen, V. N., Le, V. C., Nguyen, H., Le, Q. T. và Duong, T. H., (2019). Use of Unmanned Aerial Vehicles for 3D topographic Mapping and Monitoring the Air Quality of Open-pit Mines. *Inżynieria Mineralna,* 21, tr. 222-238. doi: 10.29227/IM-2019-02-77.

Dieu, B. T., Long, N. Q., Bui, X.-N., Nguyen, V.-N., Van Pham, C., Van Le, C., Ngo, P.-T. T., Bui, D. T. và Kristoffersen, B., (2017). *Lightweight Unmanned Aerial Vehicle and Structure-from-Motion Photogrammetry for Generating Digital Surface Model for Open-Pit Coal Mine Area and Its Accuracy Assessment.* Paper presented at the International Conference on Geo-Spatial Technologies and Earth Resources, tr. 17-33.

Long, N. Q., Buczek, M. M., Szlapińska, S. A., Nam, B. X., Nghia, N. V. và Cuong, C. X., (2018). Accuracy assessment of mine walls' surface models derived from terrestrial laser scanning. *International Journal of Coal Science & Technology,* 5(3), tr. 328-338. doi: 10.1007/s40789-018-0218-1.

Nghia, N. V., (2020). Building DEM for deep open-pit coal mines using DJI Inspire 2. *Journal of Mining and Earth Sciences,* 61(1), tr. 1-10.

Nguyen, Q. L., Bui, X. N., Cao, X. C. và Le, V. C., (2019). An approach of mapping quarries in Vietnam using low-cost Unmmaned Aerial Vehicles. *SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF MOUNTAIN TERRITORIES,* 2(40), tr. 199-209. doi:10.21177/1998-4502-2019-11-2-199-210

Nguyen, Q. L, Cao, X. C, Le, V. C, Nguyen, N. B, Dang, T. A, Le, Q. T. và Bui, X.-N., (2020). 3D Spatial Interpolation Methods for Open-Pit Mining Air Quality with Data Acquired by Small UAV Based Monitoring System. *Inżynieria Mineralna,* 45(2), tr. 293-304.

Nguyen, Q. L, Nam, B. X., Cuong, C. X. và Canh, L. V., (2019). An approach of mapping quarries in Vietnam using low-cost Unmanned Aerial Vehicles. 11(2), tr. 199-210. doi: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-199-210.

Nguyễn Viết Nghĩa và Võ Ngọc Dũng, (2016). Nghiên cứu khả năng ứng dụng trạm tham chiếu ảo VRS/CORS quan trắc quá trình dịch chuyển và biến dạng bãi thải. Tạp chí Công nghiệp mỏ. 2016(4), tr. 44-46.

Nguyen, V. N., Nguyen, Q. L., Nguyen, T. C. và Bui, X.-N., (2019). Applied Terrestrial Laser Scanning for coal mine high definition mapping. *World of Mining - Surface and Underground,* 71(4), tr. 237-242.

Van Le, C., Cao, C. X., Le, V. H. và Dinh, T., (2020). Volume computation of quarries in Vietnam based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV) data. *Journal of Mining and Earth Sciences,* 61(1), tr. 21-30. doi: 10.29227/IM-2020-02-30.

Võ Chí Mỹ, Dudek R. và Stolarski W., (2014). Nghiên cứu khả năng ứng dụng máy bay không người lái trong công tác trắc địa mỏ và giám sát môi trường mỏ. *Báo cáo Hội nghị khoa học kỹ thuật mỏ toàn quốc lần thứ 24, Vũng Tàu*.

Võ Chí Mỹ và Phạm Hồng Tài, (2014). Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPS động xử lý sau (PPK) trong công tác đo vẽ mỏ lộ thiên khai thác xuống sâu. *Đề tài NCKH cấp Bộ Công thương, Hà Nội*.

Vũ Đình Thảo, (2010). Nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám trong việc giám sát môi trường sinh thái tại các khi vực khai thác mỏ lộ thiên. *Báo cáo tổng kết đề tài KHKT, Bộ Tài nguyên và Môi trường*.

Vũ Quốc Lập, (2018). Nghiên cứu ứng dụng công nghệ quét laser mặt đất nâng cao chất lượng dữ liệu địa không gian nhằm tăng cường năng lực quản lý nhà nước trong hoạt động khoáng sản. *Đề tài khoa học cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường, mã số: 2015.07.10*.

Vũ Thị Hằng, (2015). Nghiên cứu xác lập cơ sở khoa học tích hợp tư liệu địa tin học đánh giá môi trường chiến lược (ĐMC) phục vụ quy hoạch khai thác khoáng sản (ví dụ cho bể than Quảng Ninh). *Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội.*