



## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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



# Ứng dụng mô hình xám trong phân tích và dự báo lún bãi thải mỏ lộ thiên

Lê Văn Cảnh<sup>1,\*</sup>, Phạm Quốc Khánh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

#### Quá trình:

Nhận bài 15/3/2017  
Chấp nhận 10/6/2017  
Đăng online 31/8/2017

#### Từ khóa:

Mô hình xám  
Bãi thải chính Bắc  
Dự báo lún bãi thải  
Mỏ Núi Béo

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả ứng dụng mô hình xám trong dự báo sụt lún bãi thải Chính Bắc, mỏ Núi Béo. Sử dụng bốn chu kỳ quan trắc đầu tiên của 7 điểm để xác định tham số của mô hình. Độ chính xác của các mô hình dự báo dựa trên các tiêu chuẩn P và C với giá trị xác suất sai số  $P=1$  và tỷ số sai số hậu nghiệm lớn nhất là  $C=0,001$ . Các mô hình này được dùng để dự báo lún chu kỳ tiếp theo. So sánh kết quả dự báo từ mô hình với số liệu đo thực tế cho thấy độ lệch lớn nhất so với tổng độ lún thực tế của tất cả các điểm đều  $<10\%$ . Kết quả này đáp ứng độ chính xác của công tác dự báo lún ở mỏ. Vì vậy, có thể ứng dụng mô hình xám để dự báo lún bề mặt bãi thải các mỏ lộ thiên vùng bể than Quảng Ninh.

© 2017 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Bãi thải là hình thái địa hình nhân sinh, thường có độ cao lớn so với địa hình nguyên sinh; để tiết kiệm diện tích, bãi thải thường được đổ với góc dốc tự nhiên. Sau quá trình nổ mìn, xúc bốc, vận chuyển, đất đá bãi thải bị bỏ rời, không còn tính liên kết bền vững như khi còn nguyên khối (Hồ Sĩ Giao, 2001). Các điều kiện đó sẽ làm cho đất đá bãi thải dễ dàng bị dịch chuyển về vị trí mặt bằng (chuyển dịch ngang) và độ cao (lún). Các kết quả nghiên cứu cho thấy đất đá trên bãi thải không ngừng dịch chuyển và gây ra biến dạng bề mặt. Cường độ biến dạng mạnh nhất xảy ra trong giai đoạn đầu, sau đó giảm dần và tiệm cận với thời

gian; quá trình dịch chuyển đất đá tiếp diễn lâu dài sau khi kết thúc đổ thải (Võ Chí Mỹ, 2016).

Sản lượng của toàn ngành than theo quy hoạch khai thác đạt 47-50 triệu tấn đến năm 2020, 52-54 triệu tấn vào năm 2025 và tới năm 2030 là 54-57 triệu tấn (Quyết định 403/QĐ-TTg, 2016). Tính tới thời điểm hiện tại sản lượng khai thác bằng phương pháp lộ thiên vẫn chiếm tỷ trọng 50 - 60% tổng sản lượng toàn ngành than. Trong công nghệ khai thác mỏ lộ thiên, bãi thải là một đối tượng gây tác động rõ nét đối với các thành phần tài nguyên và môi trường. Bên cạnh nguyên nhân gây ô nhiễm môi trường không khí, môi trường nước; gây suy thoái tài nguyên đất đai, thảm thực vật, bãi thải còn là địa bàn tiềm ẩn các hiện tượng tai biến môi trường (Vũ Thị Hằng, 2012). Một số những tai biến điển hình phải kể đến đó là: Trượt lở bãi thải quặng khai trường 12 thuộc Công ty Apatit Lào Cai ngày 20/11/2004. Bãi thải quặng

\*Tác giả liên hệ

E-mail: [levancanh@humg.edu.vn](mailto:levancanh@humg.edu.vn)

Apatit cao 50m sạt lở sâu vào mặt cắt ngang 20m, cuốn theo người và vùi lấp thiết bị, làm 2 công nhân chết tại chỗ; ngày 15/4/2012 trượt lở tại bãi thải mỏ than Phấn Mễ thuộc Công ty cổ phần gang thép Thái Nguyên đã vùi lấp nhà cửa của 10 hộ dân sinh sống dưới chân núi và làm chết 6 người. Gần đây nhất, trong trận mưa lũ lịch sử tại Quảng Ninh năm 2015, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam chịu thiệt hại gần 2000 tỷ đồng. Trong đó chịu ảnh hưởng nặng nề nhất là phường Mông Dương, chỉ trong vài ngày mưa lũ, bùn đất chân bãi thải Đông Cao Sơn trôi lấp đầy đập khu vực suối H10 và suối 9.8 làm bồi lấp mặt bằng +48 Công ty 790 - Tổng công ty Đông Bắc, mặt bằng +7.5 Công ty than Mông Dương, khu dân cư số 4 phường Mông Dương, cuốn trôi nhiều nhà cửa, tài sản cư dân vùng lân cận.

Từ những phân tích nêu trên có thể thấy rằng những tai biến môi trường gây ra từ các bãi thải là rất nặng nề. Cần phải có các biện pháp để đánh giá độ ổn định của các bãi thải, đưa ra các dự báo, cảnh báo kịp thời. Đã có nhiều biện pháp được đưa ra nhằm nâng cao độ ổn định của bãi thải như đổ thải theo tầng, theo lớp, xây tường chắn, làm rãnh thoát nước, trồng cây, v.v... Gần đây ở Việt Nam, vấn đề dự báo dịch chuyển biến dạng được quan tâm nhiều hơn và đã có một số nhà khoa học nghiên cứu xây dựng các mô hình để dự báo dịch chuyển biến dạng bề mặt do ảnh hưởng của khai thác mỏ. Có thể nói đây là một kênh thông tin quan trọng góp phần đưa ra các biện pháp cảnh báo sớm, giảm thiểu các sự cố do khai thác mỏ gây ra. Một số kết quả nghiên cứu gần đây phải kể đến như: thành lập mô hình dự báo lún bề mặt mỏ từ phương pháp lọc Kalman (Phạm Quốc Khánh, Nguyễn Quốc Long, 2015); xác định các tham số mô hình dự báo lún theo thời gian bề mặt bãi thải mỏ lộ thiên (Nguyễn Quốc Long, Bùi Khắc Luyện, 2015); ứng dụng mạng trí tuệ nhân tạo neuron network trong dự báo lún bề mặt mỏ do khai thác Hàm Lò (Nguyễn Quốc Long, 2016). Ở ngoài nước, nghiên cứu về dự báo dịch chuyển bề mặt đất, trượt lở đất đá khu vực khai thác mỏ, khu vực xây dựng thủy hồ thủy lợi, thủy điện rất được quan tâm, đặc biệt là Trung Quốc, Hà Lan, Mỹ, v.v... Các phương pháp quan trắc và dự báo hiệu quả được ứng dụng chủ yếu là lọc Kalman kết hợp với mô hình dãy thời gian (Fumin Lu, 2010); Phân tích sóng nhỏ (Wen Hongyan, 2004); Kết hợp đánh giá các phương pháp dự báo (Hans Neuner, 2008),

v.v... Trong bài báo này các tác giả đề xuất ứng dụng mô hình xám trong dự báo lún bãi thải mỏ lộ thiên và thử nghiệm tại bãi thải Chính Bắc, mỏ Núi Béo, bể than Quảng Ninh.

## 2. Mô hình xám (Grey Model-GM) trong dự báo lún

### 2.1. Cơ sở khoa học của lý thuyết hệ thống xám và thành lập mô hình GM

Hệ thống xám là một hệ thống xen vào giữa hệ thống màu trắng và hệ thống màu đen. Gọi là hệ thống màu trắng là vì đối với người nghiên cứu mọi thông tin của hệ thống đều đã rõ ràng; hệ thống màu đen thì ngược lại, mọi thông tin của nó người nghiên cứu đều không biết. Do đó, phương pháp dự báo xám là một dạng hệ thống bao hàm cả các nhân tố đã biết và chưa biết tiến hành dự báo.

Ứng dụng lý thuyết hệ thống xám để thành lập mô hình xám (Grey Model) gọi tắt là mô hình GM và ký hiệu là GM(m,n), trong đó, m là cấp của phương trình vi phân mô hình, n là số lượng biến dự báo (Huang Shengxiang, Yin Hui, Jiang Zheng, 2003; Wang Xinzhou, Tao Benzao, Qiu Weining, Yao Yibin, 2006); Hou Jianguo, Wang Tengjun, 2008). Với n biến này áp dụng phương pháp hình thành số liệu cộng dồn 1-AGO (*Accumulated Generating Operation*), dùng phương trình vi phân cấp m thành lập mô hình gọi là mô hình GM(m,n). Trong mô hình này, khi  $n \geq 2$  thì mô hình GM thành lập chủ yếu dùng để phân tích mối quan hệ giữa các biến với nhau. Dùng vào dự báo thường là mô hình GM(m,1), trong đó mô hình ứng dụng quan trọng nhất và cũng là thường xuyên nhất là mô hình GM(1,1). Mô hình này tạo bởi dãy hệ số hình thành cộng dồn một lần của một biến, hơn nữa hệ số hình thành qua tích lũy lần 1 phù hợp với độ trơn đặc trưng của hàm số rời rạc. Trong khuôn khổ nội dung bài báo này, chỉ nghiên cứu mô hình xám GM(1,1).

Mô hình GM(1,1) được tạo bởi phương trình vi phân cấp 1 một biến, quá trình thành lập như sau: Giả thiết dãy số liệu quan trắc theo chu kỳ ban đầu là:

$$x^{(0)} = \{x^{(0)}(1), x^{(0)}(2), \dots, x^{(0)}(n)\} \quad (1)$$

Tiến hành cộng dồn, tức là lần lượt cộng dồn số liệu tại các chu kỳ trong dãy số liệu ban đầu, từ đó hình thành dãy mới. Cộng dồn 1 lần đối với

$x^{(0)}$  hình thành (1-AGO) được một dãy số liệu mới là:

$$x^{(1)} = \{x^{(1)}(1), x^{(1)}(2), \dots, x^{(1)}(n)\} \quad (2)$$

trong đó:

$$x^{(1)}(k) = \sum_{i=1}^k x^{(0)}(i), (k = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

Đặt:

$$\varepsilon_k = \frac{x^{(0)}(k)}{x^{(1)}(k-1)} \quad (k > 1) \quad (4)$$

$$\text{Khi } k \geq 3 \text{ thì } \varepsilon = \{\varepsilon_3, \varepsilon_4, \dots, \varepsilon_n\} \quad (5)$$

Là dãy số giảm dần, nên  $1 > \varepsilon_k \geq 0$ , khi  $k$  đủ lớn dãy số này hội tụ về 0 và gọi  $x^{(0)}$  là hàm số rời rạc tron. Phương trình vi phân tương ứng là:

$$\frac{dx^{(1)}}{dt} + ax^{(1)} = u \quad (6)$$

Trong đó,  $a, u$  là tham số chưa biết.

Từ phương trình vi phân (6), lấy giá trị trung bình của  $k$  và  $(k+1)$  thì:

$$[x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k)] + a \frac{[x^{(1)}(k+1) + x^{(1)}(k)]}{2} = u \quad (7)$$

Vì  $x^{(0)}(k+1) = x^{(1)}(k+1) - x^{(1)}(k)$ , nên phương trình (7) có thể biểu thị bằng ma trận như sau:

$$\begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad (8)$$

Đặt:

$$Y = \begin{bmatrix} x^{(0)}(2) \\ x^{(0)}(3) \\ \vdots \\ x^{(0)}(n) \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}[x^{(1)}(1) + x^{(1)}(2)] & 1 \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(2) + x^{(1)}(3)] & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[x^{(1)}(n-1) + x^{(1)}(n)] & 1 \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} a \\ u \end{bmatrix} \quad (9)$$

Được:

$$Y = BA \quad (10)$$

Hoặc có thể viết:

$$V = B\hat{A} - Y \quad (11)$$

trong đó,  $Y$  và  $B$  đã biết,  $A$  là ma trận tham số cần xác định,  $\hat{A}$  là ma trận tham số ước lượng,  $V$  là ma trận sai số mô hình. Do chỉ có 2 tham số là  $a$  và  $u$ , có  $n-1$  phương trình, theo phương pháp số bình phương nhỏ nhất  $V^T V = \min$ , tham số ước lượng được tính như sau:

$$\hat{A} = (B^T B)^{-1} B^T Y = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{u} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Thay vào công thức (6), và giải được:

$$\hat{x}^{(1)}(t) = \left[ x^{(1)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}t} + \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \quad (13)$$

Viết với hình thức số liệu rời rạc:

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = \left[ x^{(0)}(1) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}} \right] e^{-\hat{a}t} + \frac{\hat{u}}{\hat{a}}, (k = 1, 2, \dots, n) \quad (14)$$

Dãy  $\{x^{(1)}\}$  sau khi cộng dồn sẽ mất đi định nghĩa vật lý ban đầu, do vậy khi ứng dụng mô hình để tiến hành dự báo, cần phải tiến hành hình thành ngược AGO để có được giá trị hoàn nguyên. Phương trình mô hình dự báo GM(1,1) là:

$$\hat{x}^{(0)}(k+1) = \hat{x}^{(1)}(k+1) - \hat{x}^{(1)}(k) \quad (15)$$

## 2.2. Kiểm nghiệm độ chính xác mô hình

Độ tin cậy của mô hình GM(1,1) được đánh giá thông qua kiểm nghiệm. Từ số liệu quan trắc ban đầu có thể tính được sai số  $e(k)$  là:

$$e(k) = x^{(0)}(k) - \hat{x}^{(0)}(k) \quad (17)$$

Phương sai dãy sai số và phương sai của dãy  $\{x^{(0)}\}$  ban đầu là:

$$S_e^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [e(k) - \bar{e}]^2;$$

$$S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n [x^{(0)}(k) - \bar{x}^{(0)}]^2 \quad (16)$$

Trong đó:

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n e(k); \quad \bar{x}^{(0)} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x^{(0)}(k) \quad (17)$$

Tính tỷ số của sai số hậu nghiệm

$$C = S_e / S_x \quad (18)$$

và xác suất sai số nhỏ

$$P = \{ |e(k)| < 0,6745 S_x \} \quad (19)$$

Cấp hạng độ chính xác mô hình căn cứ theo giá trị của C, P so sánh với bảng 1. Biểu thức để phân biệt cấp hạng độ chính xác mô hình là (Deng Julong, 1986; Yan Zhiyuan, Dai Yusheng, 1989):

Cấp hạng độ chính xác mô hình = max{cấp của P, cấp của C}.

### 3. Ứng dụng mô hình GM(1,1) phân tích và dự báo lún bãi thải Chính Bắc mỏ Núi Béo

#### 3.1. Bãi thải chính Bắc mỏ Núi Béo

Bãi thải Chính Bắc mỏ than Núi Béo nằm trong lòng thành phố Hạ Long, nơi có di sản thiên nhiên thế giới Vịnh Hạ Long. Mỏ Núi Béo có sản lượng khai thác hàng năm khoảng 5 triệu tấn/năm, xúc bốc khoảng 21,5 triệu m<sup>3</sup> đất đá, chủ yếu đổ ở bãi thải Chính Bắc. Đổ thải bắt đầu từ năm 2005 và dừng vào đầu năm 2012 ở cốt độ cao +256. Diện tích bãi thải khoảng 200 ha, với chiều dài từ Bắc xuống Nam khoảng 1,3 km, chiều rộng

từ Đông sang Tây biến đổi 150 ÷ 500 m, phình to ở hai đầu, thu hẹp ở giữa. Vấn đề ổn định bãi thải, tiến tới cải tạo và hoàn nguyên môi trường, cảnh quan cho bãi thải Chính Bắc luôn được mỏ Núi Béo cũng như tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam hết sức quan tâm.

Để có cơ sở đánh giá độ ổn định và đưa ra các biện pháp xử lý sự cố, hoàn nguyên môi trường một cách kịp thời, tại bãi thải Chính Bắc đã thành lập mạng lưới quan trắc dịch chuyển và biến dạng gồm 35 điểm mốc quan trắc được bố trí dưới dạng lưới ô vuông như hình 1, tạo thành 5 tuyến quan trắc theo phương ngang. Khoảng cách giữa các điểm trên tuyến và giữa các tuyến mặt cắt là 100 m, bao trùm toàn bộ diện tích bãi thải. Mạng lưới quan trắc được kết nối với 2 điểm khống chế hạng III nhà nước có số hiệu (119418 và 119429) cách xa khu vực mỏ khai thác. Mạng lưới được tiến hành quan trắc 5 chu kỳ với khoảng thời gian giữa các chu kỳ là 1,5 tháng.

Bảng 1. Cấp hạng độ chính xác mô hình.

Chỉ tiêu	Tốt	Đạt	Chấp nhận được	Không đạt
P	$P \geq 0,95$	$0,80 \leq P < 0,95$	$0,70 \leq P < 0,80$	$P < 0,70$
C	$C \leq 0,35$	$0,35 < C \leq 0,5$	$0,5 < C \leq 0,65$	$C > 0,65$



Hình 1. Tuyến quan trắc trên bề mặt bãi thải Chính Bắc, mỏ Núi Béo.

Bảng 2. Kết quả đo độ lún của các điểm mốc trên tuyến quan trắc số 2 (mm).

Tên mốc	Chu kỳ đo	CK1	CK2	Ck3	CK4	Ck5
8	Độ lún	0	10	13	26	24
	Độ lún tích lũy	0	10	23	49	73
9	Độ lún	0	25	24	25	24
	Độ lún tích lũy	0	25	49	74	98
10	Độ lún	0	40	35	78	31
	Độ lún tích lũy	0	40	75	153	184
11	Độ lún	0	42	33	27	24
	Độ lún tích lũy	0	42	75	102	126
12	Độ lún	0	44	32	31	24
	Độ lún tích lũy	0	44	76	107	131
13	Độ lún	0	52	43	40	36
	Độ lún tích lũy	0	52	95	135	171
14	Độ lún	0	60	53	50	48
	Độ lún tích lũy	0	60	113	163	211

Bảng 3. Đánh giá độ chính xác mô hình.

Tên mốc	Chu kỳ	Độ lún quan trắc (mm)	Độ lún trên mô hình (mm)	Độ lệch (mm)	Tỷ số của sai số hậu nghiệm C	Tên mốc	Chu kỳ	Độ lún quan trắc (mm)	Độ lún trên mô hình (mm)	Độ lệch (mm)	Tỷ số của sai số hậu nghiệm C	
8	1	0	0	0	0.00014	12	1	0	0	0	0.00006	
	2	10	8	2			2	44	44.2	0.2		
	3	23	27	4			3	76	75.7	0.3		
	4	49	47	2			4	107	107.2	0.2		
9	1	0	0	0	0.00001	13	1	0	0	0	0.00005	
	2	25	24.8	0.2			2	52	52.5	0.5		
	3	49	49.3	0.3			3	95	94	1		
	4	74	73.8	0.2			4	135	135.5	0.5		
10	1	0	0	0	0.001111	14	1	0	0	0	0.00010	
	2	40	41	1			2	60	60.5	0.5		
	3	75	78	3			3	113	112	1		
	4	153	154	1			4	163	163.5	0.5		
11	1	0	0	0	0.00009							
	2	42	43	1								
	3	75	73	2								
	4	102	103	1								

### 3.2. Thành lập mô hình dự báo lún

Ứng dụng lý thuyết hệ thống xám xây dựng mô hình GM(1,1) với 7 điểm quan trắc trên tuyến quan trắc số 2 (Hình 1) tại bãi thải chính Bắc, mỏ Núi Béo. Giá trị độ lún của các mốc quan trắc và độ lún tích lũy của chúng được thể hiện trên Bảng 2. Sử dụng số liệu quan trắc lún của 4 chu kỳ đầu (từ 0 đến 4.5 tháng) để tính toán các tham số và

xây dựng mô hình dự báo của các điểm.

Sử dụng ngôn ngữ lập trình Visual Basic 6.0 lập chương trình xây dựng mô hình GM(1,1), xử lý số liệu và đánh giá độ chính xác của mô hình. Kết quả tính toán độ lún các điểm mốc trên mô hình và độ lệch so với giá trị quan trắc thể hiện trong Bảng 3

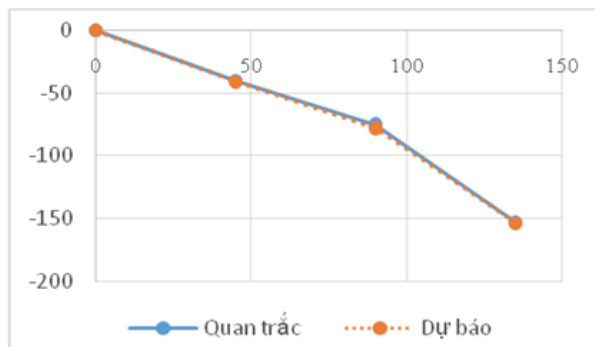
Mô hình GM(1,1) của các điểm trên tuyến quan trắc số 2 cho giá trị xác suất sai số  $P=1$ . Từ Bảng 3 thấy rằng tỷ số sai số hậu nghiệm lớn nhất

là  $C = 0,001$ . So sánh kết quả này với cấp độ chính xác mô hình trong bảng 1 ở trên có thể đánh giá mô hình dự báo thành lập theo lý thuyết hệ thống xám của các điểm có độ tin cậy tốt. Mức độ phù hợp của mô hình được thể hiện trực quan trên biểu đồ so sánh đường cong độ lún của một số điểm như Hình 2.

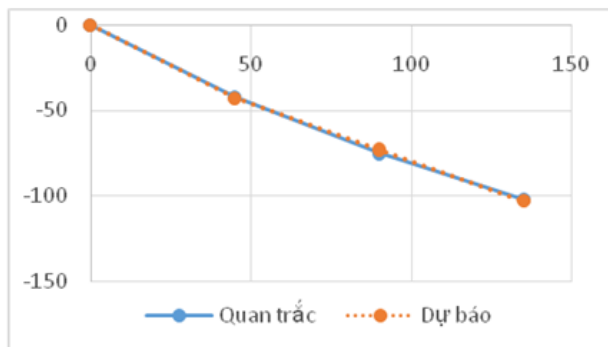
Tiếp theo tiến hành kiểm tra độ phù hợp giữa độ lún tính từ mô hình với độ lún của từng điểm ở chu kỳ 5 (tháng thứ 6, số liệu này không sử dụng

để xây dựng mô hình), kết quả được thể hiện trên Bảng 4.

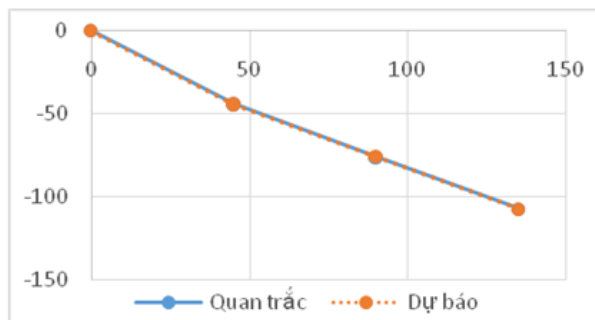
Từ kết quả ở Bảng 4 ta thấy độ lệch lớn nhất của giá trị độ lún tính được từ mô hình và số liệu quan trắc thực tế là 8 mm tại điểm 12. Tính theo % so với tổng độ lún thì độ lệch lớn nhất là 9% tại điểm số 8. Độ lệch nhỏ nhất 0 mm tại điểm 9. Với độ lệch nhỏ như vậy cho thấy các mô hình lún đã xác định ở trên bảo đảm độ phù hợp cao. Mức độ phù hợp được minh họa trực quan trên Hình 3.



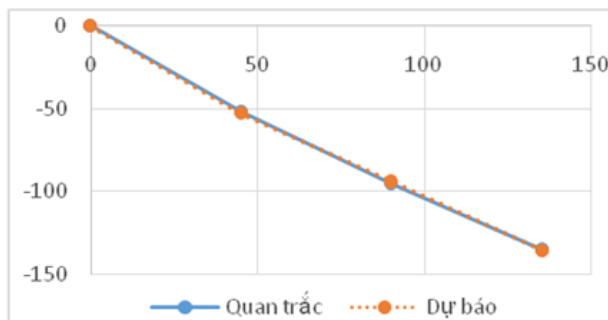
a. Điểm 10



b. Điểm 11



c. Điểm 12

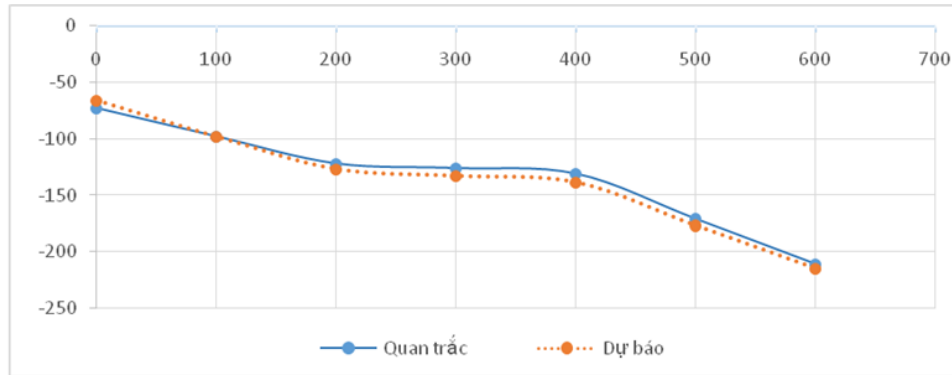


d. Điểm 13

Hình 2. Biểu đồ so sánh đường cong độ lún.

Bảng 4. So sánh giá trị quan trắc và giá trị dự báo.

Điểm mốc	Chu Kỳ 5			
	Giá trị quan trắc (mm)	Giá trị dự báo (mm)	Độ lệch (mm)	Sai số/Tổng độ lún (%)
8	73	66	7	9
9	98	98	0	0
10	122	127	5	4
11	126	133	7	6
12	131	139	8	6
13	171	177	6	4
14	211	215	4	2



Hình 3. Biểu đồ đường cong độ lún của các điểm trên tuyến quan trắc 2 tại chu kỳ 5.

#### 4. Kết luận

Ứng dụng lý thuyết hệ thống xám thành lập mô hình GM(1,1) trong phân tích và dự báo lún có tính ứng dụng rộng rãi, độ chính xác đảm bảo yêu cầu. Tuy nhiên, khi ứng dụng lý thuyết này cần lưu ý yêu cầu đối với số liệu đầu vào là thời gian quan trắc phải cách đều, dãy số liệu không âm;

Độ lệch lớn nhất giữa kết quả dự báo và số liệu quan trắc là 9% độ lún thực tế. Vì vậy, ứng dụng lý thuyết hệ thống xám thành lập mô hình trong phân tích và dự báo lún bãi thải cho kết quả đạt độ chính xác theo tiêu chuẩn Việt Nam về Trắc địa mỏ;

Khi tiến hành dự báo, chỉ nên tính cho một số ít giá trị dự báo của các chu kỳ tiếp theo, vì số chu kỳ dự báo càng nhiều thì sai số mô hình càng lớn.

#### Tài liệu tham khảo

Deng Julong, 1986. Biện pháp dự báo xám. *NXB đại học công nghệ Hoa Trung*, Vũ Hán, nguyên bản tiếng Trung.

Fumin Lu, 2010. Application of Kalman Filter method based on time series model in the landslide deformation forecast. *Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT), 2010 International Conference*.

Hans Neuner, 2008. An evaluation of methods for the identification of variance, changes in deformation analysis. *13th FIG symposium on deformation measurement and analysis, 4th IAG symposium on Geodesy for Geotechnical and Engineering, LNEC, Lisbon 2008 May 12-15*.

Hồ Sĩ Giao, 2001. Bài giảng cơ sở công nghệ khai thác mỏ lộ thiên. *Trường Đại học Mỏ - Địa Chất*, Hà Nội.

Huang Shengxiang, Yin Hui, Jiang Zheng, 2003. Xử lý số liệu quan trắc biến dạng. *NXB Đại học Vũ Hán*, nguyên bản tiếng Trung

Hou Jianguo, Wang Tengjun, 2008. Lý thuyết và ứng dụng quan trắc biến dạng. *NXB Trắc hội Bắc Kinh*, nguyên bản tiếng Trung

Nguyễn Quốc Long, 2016. Đánh giá khả năng ứng dụng mạng nơ-ron nhân tạo dự báo lún bề mặt mỏ do khai thác hầm lò. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất số 55*, Hà Nội.

Nguyễn Quốc Long, Bùi Khắc Luyện, 2015. Phương pháp xác định các tham số trong mô hình dự báo lún theo thời gian bề mặt bãi thải mỏ lộ thiên. *Tạp chí Công nghiệp mỏ số 4 - 2015*, Hà Nội.

Võ Chí Mỹ, 2016. Trắc địa mỏ. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ, Hà Nội.

Phạm Quốc Khánh, Nguyễn Quốc Long, 2015. Nghiên cứu ứng dụng phương pháp lọc Kalman dự báo dịch chuyển đứng bề mặt mỏ. *Tạp chí Công nghiệp mỏ số 3 - 2015*, Hà Nội.

Quyết định 403/QĐ-TTg, 2016. Quyết định về việc phê duyệt điều chỉnh quy hoạch phát triển ngành than Việt Nam đến năm 2020, có xét triển vọng đến năm 2030, Quyết định của Thủ tướng chính phủ.

Vũ Thị Hằng, 2012. Nghiên cứu quy luật dịch chuyển và biến dạng bãi thải phục vụ đánh giá tác động môi trường (ĐTM). *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, Hà Nội.

Yan Zhiyuan, Dai Yusheng, 1989. Ứng dụng hệ thống xám trong dự báo. *NXB Giang Tô*, Nam Kinh, nguyên bản tiếng Trung.

Wang Xinzhou, Tao Benzao, Qiu Weining, Yao Yibin, 2006. Bình sai trắc địa cao cấp. *NXB Trắc hội Bắc Kinh*, nguyên bản tiếng Trung.

Wen Hongyan, 2004. Research on Deformation Analysis Model Based upon Wavelet Transform Theory, *PhD Thesis*, Wuhan University, nguyên bản tiếng Trung.

## ABSTRACT

### Application of the Grey Model on analysing and predicting the subsidence of the waste dump of open-pit mines

Canh Van Le <sup>1,\*</sup>, Khanh Quoc Pham <sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Faculty of Geomatics and Land Administration, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

The Grey model is used widely to predict the ground subsidence. In this study, the model was applied to predict the subsidence of the surface of the Chinh Bac waste dump in the Nui Beo open-pit mine. The parameters of the model were determined using the data acquired from the first four cycles of seven marks' observation. The model was employed to predict subsidence in the next cycles. The assessment of the model based on P and C standards with  $P = 1$  and  $C = 0.001$ . A comparison of the results from the model and reference data showed that the maximum error was just under 10% of subsidence. These results satisfied the requirement of predicting mining subsidence. Therefore, the Grey model can be used effectively to predict the subsidence of the waste dump of open pit mines in Quang Ninh.

Keywords: Grey model, Chinh Bac waste dump, waste dump subsidence prediction, Nui Beo coal mine.