

ẢNH HƯỞNG CỦA SỐ HẠT MÔ PHÒNG ĐẾN ĐỘ BẤT ĐỊNH TRONG MÔ PHÒNG PHÁT TÁN PHÓNG XẠ SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH FLEXPART

NGUYỄN HÀO QUANG¹, HOÀNG SỸ THÂN¹, DƯƠNG ĐỨC THẮNG²,
PHẠM KIM LONG³

¹*Viện Năng lượng nguyên tử Việt Nam, 59 Lý Thường Kiệt, Hà Nội, Việt Nam*

²*Viện Khoa học và kỹ thuật hạt nhân, 179 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam*

³*Trung tâm Đào tạo hạt nhân, 140 Nguyễn Tuân, Hà Nội, Việt Nam*

Tóm tắt: Phần mềm FLEXPART mô phỏng phát tán phóng xạ trong khí quyển dựa trên các chuyển động theo trường gió và các nhiễu loạn ngẫu nhiên. Để mô phỏng các quá trình ngẫu nhiên chương trình FLEXPART sử dụng một số lượng các hạt mô phỏng nhất định. Thay đổi số lượng các hạt mô phỏng dẫn đến sự thay đổi kết quả mô phỏng nồng độ phát tán của các nhân phóng xạ. Số hạt mô phỏng càng lớn kết quả mô phỏng càng chính xác. Tuy nhiên khi tăng số hạt mô phỏng chi phí tính toán cũng tăng. Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm xác định số hạt mô phỏng để có thể đưa ra kết quả mô phỏng chấp nhận được. Báo cáo trình bày kết quả đánh giá độ bất định về nồng độ các nhân phóng xạ trong mô phỏng phát tán nhân phóng xạ ¹³⁷Cs và ¹³¹I khi sử dụng phần mềm FLEXPART theo số hạt mô phỏng. Số hạt mô phỏng được sử dụng trong nghiên cứu này là 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ. Sử dụng phần mềm xử lý ảnh OpenCV để đánh giá độ sai lệch về kết quả mô phỏng theo số hạt mô phỏng được sử dụng. Kết quả đánh giá cho thấy với số hạt mô phỏng lớn hơn 10000 hạt/giờ kết quả mô phỏng là chấp nhận được.

Từ khóa : FLEXPART, độ bất định, hạt mô phỏng, OpenCV

1. MỞ ĐẦU

Phần mềm FLEXPART được sử dụng rộng rãi trong mô phỏng phát tán khí. Phần mềm FLEXPART sử dụng mô hình hạt Lagrangian để mô tả quỹ đạo hạt di chuyển trong môi trường. Mô hình hạt Lagrangian được sử dụng rộng rãi và nói chung được chấp nhận như là một công cụ mạnh để mô phỏng quá trình phát tán của các chất gây ô nhiễm trong môi trường khí. Để mô phỏng các quá trình ngẫu nhiên chương trình FLEXPART sử dụng một số lượng các hạt mô phỏng nhất định. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng chương trình FLEXPART để mô phỏng sự phát tán của các nhân phóng xạ trong sự cố nhà máy điện hạt nhân Fukushima. Thay đổi số lượng các hạt mô phỏng dẫn đến sự thay đổi kết quả mô phỏng nồng độ phát tán của các nhân phóng xạ. Số hạt mô phỏng càng lớn kết quả mô phỏng càng chính xác. Tuy nhiên khi tăng số hạt mô phỏng chi phí tính toán cũng tăng. Bài toán đặt ra cần xác định số hạt mô phỏng cần thiết để có được kết quả về nồng độ chất gây ô nhiễm đủ tin cậy về mặt thống kê. Trong các công trình công bố về sử dụng chương trình FLEXPART mô phỏng quá trình phát tán chất gây ô nhiễm trong môi trường khí, số hạt mô phỏng được sử dụng thay đổi trong một dải khá rộng từ 5000 hạt/giờ [1] đến 1000000 hạt/giờ [2]. Tuy nhiên chưa có một công bố về cách lựa chọn số hạt mô phỏng được sử dụng. Trong nghiên cứu này chúng tôi khảo sát đánh giá độ sai khác về nồng độ các nhân phóng xạ trong mô phỏng phát tán nhân phóng xạ ¹³⁷Cs và ¹³¹I khi sử dụng phần mềm FLEXPART theo số hạt mô phỏng. Số hạt mô phỏng được sử dụng trong nghiên cứu này là 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ.

2. NỘI DUNG

2.1 Đối tượng và phương pháp

Chương trình FLEXPART sử dụng số hạt mô phỏng để mô phỏng quá trình phát tán của chất gây ô nhiễm. Chương trình đưa ra kết quả mô phỏng nồng độ chất gây ô nhiễm dưới dạng lưới 3 chiều kinh độ, vĩ độ và độ cao. Sử dụng phần mềm Quicklook xử lý kết quả đầu ra của chương trình FLEXPART thành các hình ảnh biểu thị sự phân bố của nồng độ chất gây ô nhiễm theo các tọa độ kinh độ và vĩ độ. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng cùng một

nguồn phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I được phát ra trong sự cố nhà máy điện hạt nhân Fukushima từ 15:00 ngày 11/03/2011 UTC đến 0:00 ngày 20/04/2011 UTC với số hạt mô phỏng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ. Nhân phóng xạ ^{137}Cs có dạng sol khí còn nhân phóng xạ ^{131}I có dạng khí. Kết quả mô phỏng phát tán của các nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I với số hạt mô phỏng 30000 hạt/giờ được xem là kết quả chuẩn. Chúng tôi khảo sát đánh giá độ sai khác về kết quả mô phỏng nồng độ các nhân phóng xạ với số hạt mô phỏng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 hạt/giờ so với trường hợp số hạt mô phỏng 30000 hạt/giờ. Để đánh giá độ sai khác về phân bố nồng độ các nhân phóng xạ giữa hai hình ảnh là kết quả mô phỏng với số hạt mô phỏng được sử dụng là một trong các trường hợp 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 hạt/giờ và kết quả mô phỏng với số hạt mô phỏng 30000 hạt/giờ chúng tôi sử dụng đại lượng sai số bình phương trung bình (Mean Squared Error - MSE). Đại lượng MSE được định nghĩa như sau:

$$MSE = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} [I(i, j) - K(i, j)]^2 \quad (1)$$

Trong đó m, n là chỉ số tọa độ kinh độ và vĩ độ

$I(i, j)$ là nồng độ nhân phóng xạ tại tọa độ (i, j) với số hạt mô phỏng là một trong các trường hợp 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 hạt/giờ.

$K(i, j)$ là nồng độ nhân phóng xạ tại tọa độ (i, j) với số hạt mô phỏng là 30000 hạt/giờ.

Để tính đại lượng MSE chúng tôi sử dụng đoạn phần mềm viết bằng ngôn ngữ Python với thư viện numpy [3].

Để mô phỏng quá trình phát tán của các nhân phóng xạ với số hạt mô phỏng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ chúng tôi chạy chương trình FLEXPART trên siêu máy tính với cấu hình 24 CPU Intel(R) Xeon(R) X5650 @ 2.67GHz hệ điều hành Linux, RAM 32Gb.

2.2 Kết quả

Với cấu hình máy tính như trên, thời gian tính với số hạt mô phỏng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ được đưa ra trong Bảng 1.

Bảng 1. Thời gian tính với số hạt mô phỏng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ.

Số hạt mô phỏng (hạt/giờ)	Thời điểm bắt đầu tính	Thời điểm kết thúc tính	Thời gian tính (phút)
100	16/01/19 3:31	16/01/19 10:18	407
1000	16/01/19 3:39	17/01/19 0:48	1268
5000	12/11/18 2:32	14/11/18 14:08	3575
7500	12/11/18 2:39	14/11/18 23:08	4108
10000	12/11/18 4:12	15/11/18 17:12	5099
15000	15/11/18 4:25	20/11/18 3:12	7126
20000	15/11/18 10:06	21/11/18 19:12	9186
25000	22/11/18 2:56	30/11/18 8:12	11836
30000	22/11/18 8:06	03/12/18 10:12	15966

Từ các dữ liệu đưa ra trong Bảng 1 có thể thấy thời gian tính tỷ lệ với số hạt mô phỏng được sử dụng. Thời gian tính trong trường hợp số hạt mô phỏng được sử dụng là 30000 hạt/giờ là 15966 phút tức là khoảng 11,1 ngày. Đây là khoảng thời gian lớn và thường rất khó khả thi khi cần phải giải quyết các bài toán liên quan đến khảo sát tác động của các loại hình thời tiết đến kết quả mô phỏng của một sự cố hạt nhân nào đó.

Chúng tôi tiến hành khảo sát sự sai khác về phân bố nồng độ của nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I là kết quả tính toán mô phỏng với số hạt mô phỏng được sử dụng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 hạt/giờ so với trường hợp số hạt mô phỏng được sử dụng là 30000 hạt/giờ. Kết quả khảo sát sự sai khác về phân bố nồng độ các nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I thông qua đại lượng MSE được đưa ra trong Bảng 2.

Bảng 2. MSE của phân bố nồng độ các nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I với số hạt mô phỏng được sử dụng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 hạt/giờ so với trường hợp số hạt mô phỏng được sử dụng là 30000 hạt/giờ tại thời điểm 11:00 ngày 16/03/2011 UTC.

Số hạt mô phỏng (hạt/giờ)	MSE của phân bố nồng độ nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I tại thời điểm 11:00 ngày 16/03/2011 UTC	
	^{137}Cs	^{131}I
100	473,3	182,8
1000	237,4	90,1
5000	131,3	49,7
7500	93,2	35,2
10000	91,4	34,5
15000	77,0	29,0
20000	74,7	28,1
25000	73,0	27,5

Bảng 3. MSE của phân bố nồng độ các nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I với số hạt mô phỏng được sử dụng 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 hạt/giờ so với trường hợp số hạt mô phỏng được sử dụng là 30000 hạt/giờ tại thời điểm 18:00 ngày 02/04/2011 UTC.

Số hạt mô phỏng (hạt/giờ)	MSE của phân bố nồng độ nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I tại thời điểm 18:00 ngày 02/04/2011 UTC	
	^{137}Cs	^{131}I
100	3906,4	4055,2
1000	1264,5	1256,0
5000	466,0	457,6
7500	363,2	356,3
10000	312,6	306,5
15000	248,5	243,6
20000	226,4	222,2
25000	217,2	213,3

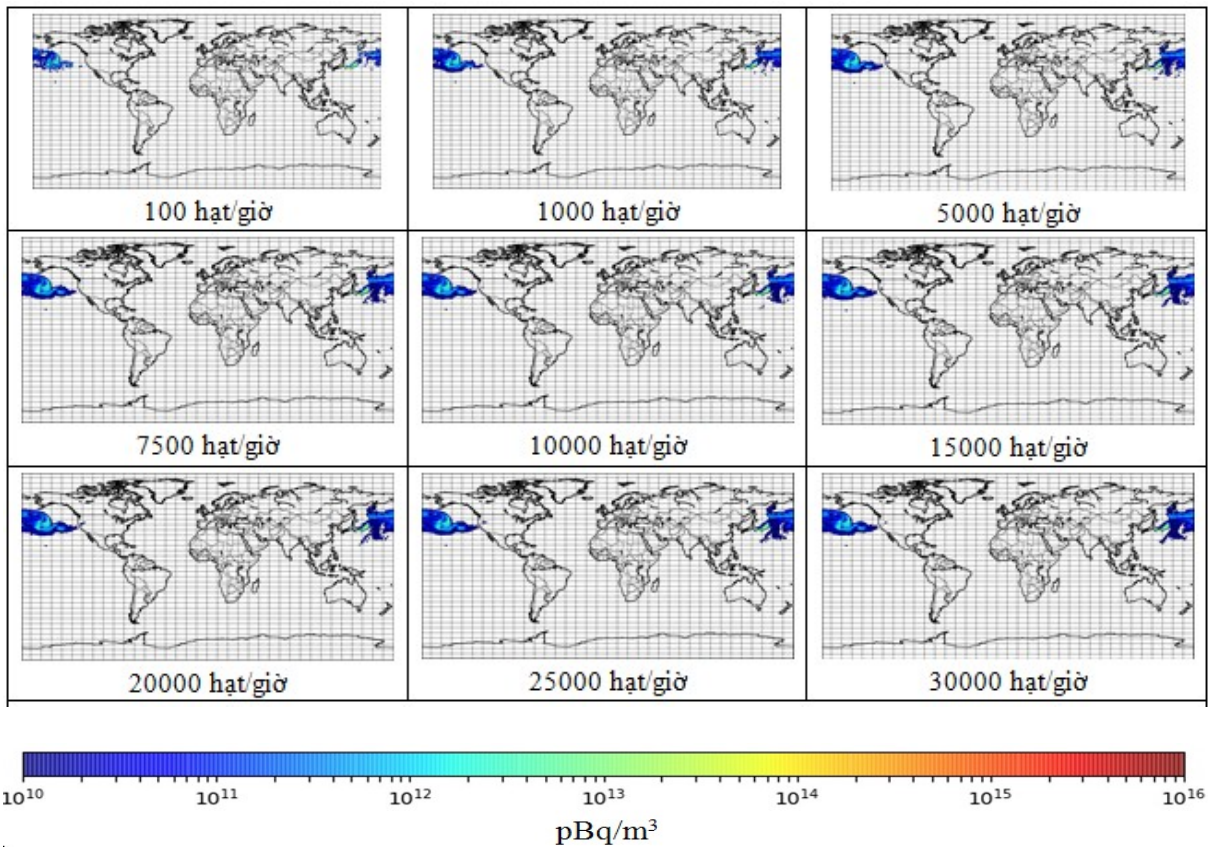
Hình 1,2 chỉ ra sự sai khác về kết quả tính toán mô phỏng nồng độ nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I với số hạt mô phỏng tương ứng với 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ tại thời điểm 11:00 ngày 16/03/2011 UTC.

Hình 3,4 chỉ ra sự sai khác về kết quả tính toán mô phỏng nồng độ nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I với số hạt mô phỏng tương ứng với 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ tại thời điểm 18:00 ngày 02/04/2011 UTC.

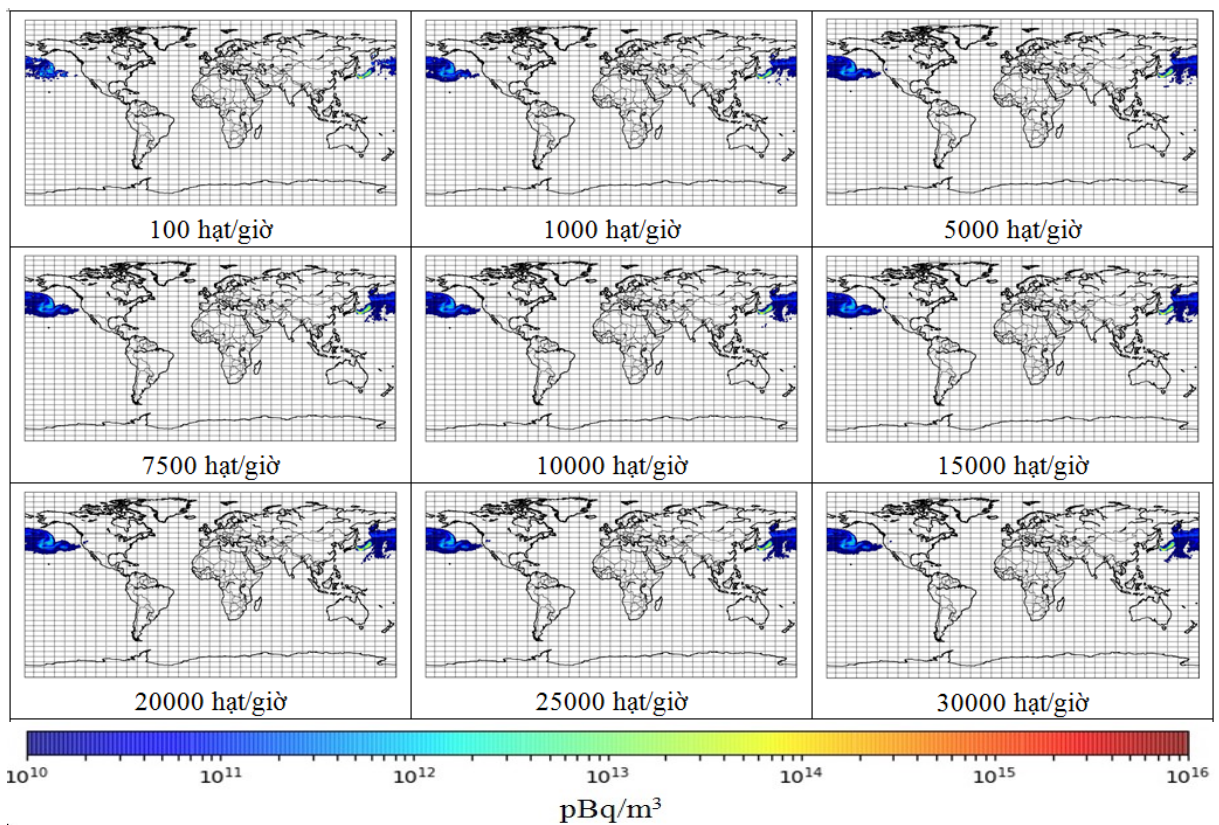
Hình 5 chỉ ra sự phụ thuộc của đại lượng MSE vào số hạt mô phỏng được sử dụng.

2.3 Bàn luận

Từ kết quả đưa ra trong Hình 5 có thể thấy đại lượng MSE giảm nhanh khi tăng số hạt mô phỏng được sử dụng. Nhưng với số hạt sử dụng lớn hơn 10000 hạt/giờ đại lượng MSE giảm chậm khi tăng số hạt mô phỏng được sử dụng. Cũng trên Hình 5 có thể thấy độ lớn của đại lượng MSE đối với mô phỏng phát tán dạng hạt (trường hợp nhân ^{137}Cs) lớn hơn độ lớn của đại lượng MSE đối với mô phỏng phát tán dạng khí (trường hợp nhân ^{131}I). Tuy nhiên sự sai khác này giảm đi khi khoảng thời gian phát tán phóng xạ tăng lên.

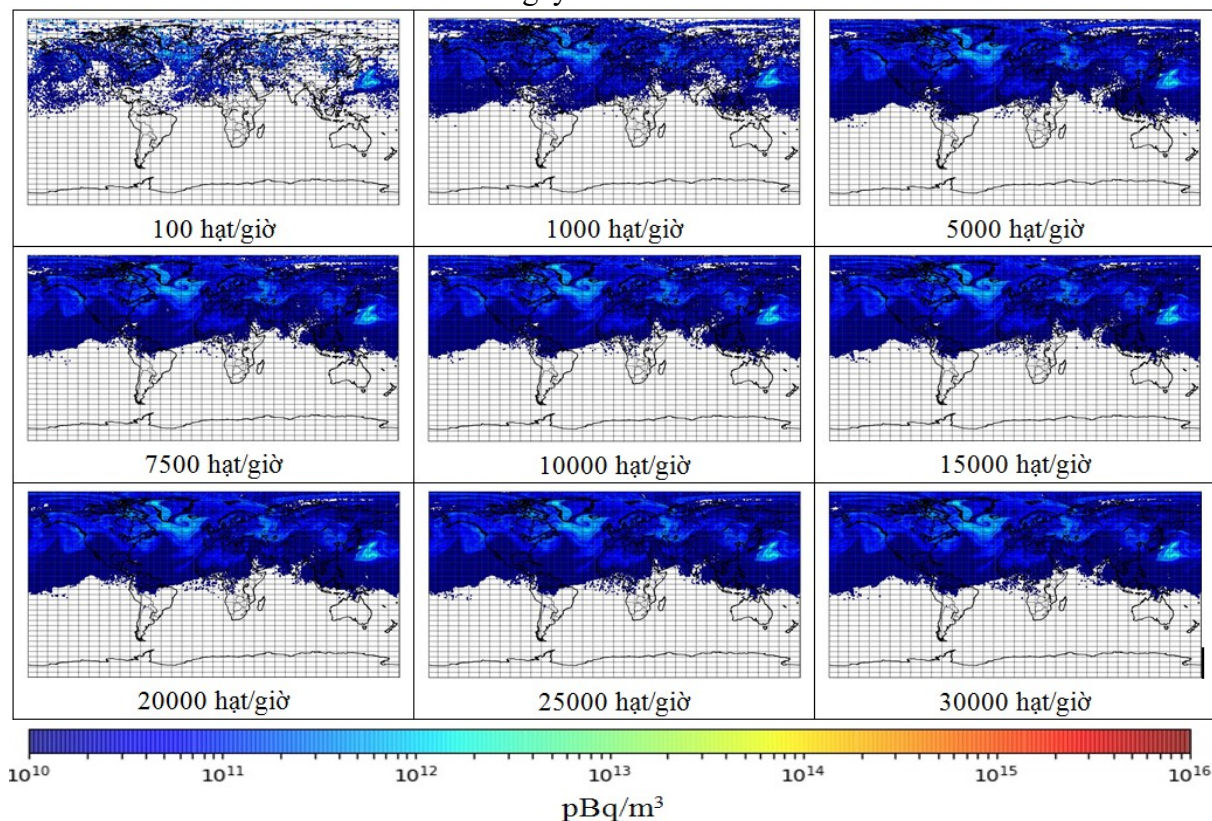


Hình 1. Kết quả tính toán mô phỏng nồng độ nhân phóng xạ ^{137}Cs với số hạt mô phỏng tương ứng với 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ tại thời điểm 11:00 ngày 16/03/2011 UTC.

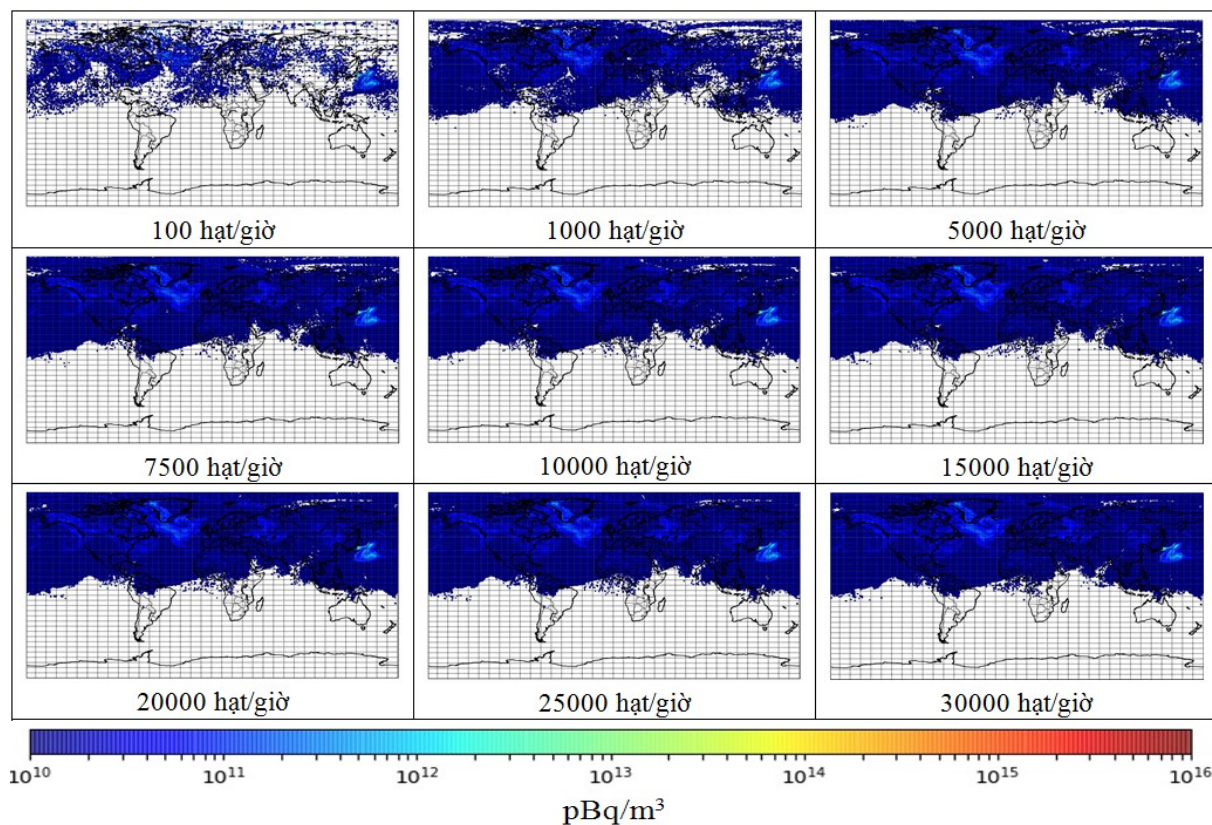


Hình 2. Kết quả tính toán mô phỏng nồng độ nhân phóng xạ ^{131}I với số hạt mô phỏng tương ứng với 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ tại thời điểm

11:00 ngày 16/03/2011 UTC.

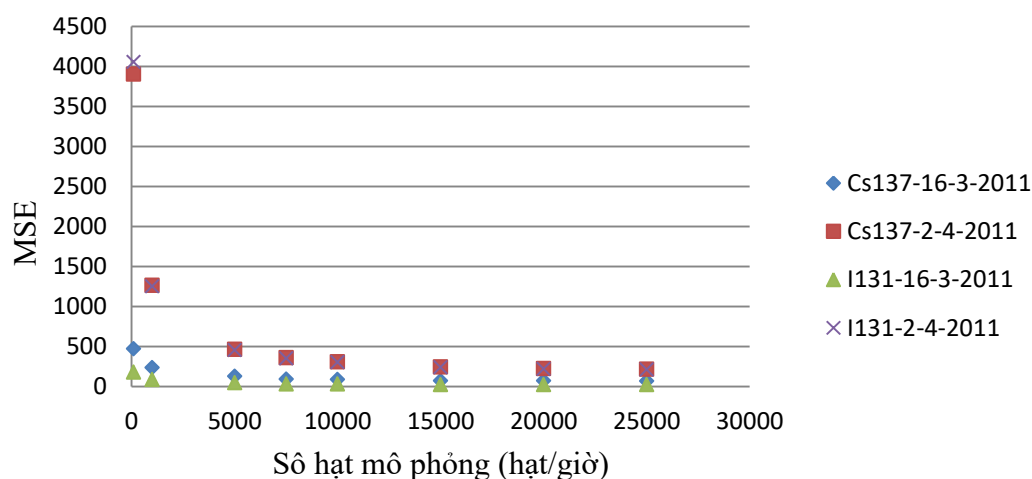


Hình 3. Kết quả tính toán mô phỏng nồng độ nhân phóng xạ ^{137}Cs với số hạt mô phỏng tương ứng với 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ tại thời điểm 18:00 ngày 02/04/2011 UTC.



Hình 4. Kết quả tính toán mô phỏng nồng độ nhân phóng xạ ^{131}I với số hạt mô phỏng tương ứng với 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 và 30000 hạt/giờ tại thời điểm

18:00 ngày 02/04/2011 UTC.



Hình 5. Sự phụ thuộc của đại lượng MSE vào số hạt mô phỏng được sử dụng

Về nguyên tắc sử dụng số hạt mô phỏng càng lớn sẽ cho ra kết quả tính toán mô phỏng phân bố nồng độ các nhân phóng xạ càng chính xác. Tuy nhiên việc tăng số hạt mô phỏng cũng làm tăng thời gian tính và đòi hỏi tài nguyên tính tăng theo. Điều này đặt ra vấn đề cần phải xác định số hạt mô phỏng được sử dụng một cách tối ưu sao cho trong khi vẫn đảm bảo được độ chính xác cần thiết của các kết quả tính toán mà không đòi hỏi tài nguyên tính quá lớn. Đại lượng MSE có thể được sử dụng làm thước đo sự sai khác về phân bố nồng độ các nhân phóng xạ tại một thời điểm nhất định khi so sánh kết quả tính toán phân bố nồng độ các nhân phóng xạ sử dụng số lượng hạt mô phỏng khác nhau. Từ kết quả đưa ra trên Hình 5 có thể thấy với số hạt mô phỏng được sử dụng lớn hơn 10000 hạt/giờ sự sai khác của đại lượng MSE là không nhiều. Hình 3,4 cũng chỉ ra phân bố nồng độ các nhân phóng xạ ^{137}Cs và ^{131}I rất khó phân biệt khi số hạt mô phỏng được sử dụng lớn hơn 10000 hạt/giờ.

3. KẾT LUẬN

Đại lượng MSE có thể được sử dụng làm thước đo sự sai khác về kết quả tính toán mô phỏng phân bố nồng độ các nhân phóng xạ khi sử dụng số lượng hạt mô phỏng khác nhau. Kết quả khảo sát đại lượng MSE với số hạt mô phỏng được sử dụng khác nhau cho thấy với số hạt mô phỏng lớn hơn 10000 hạt/giờ kết quả mô phỏng sẽ không sai khác nhiều so với kết quả mô phỏng sử dụng số hạt mô phỏng 30000 hạt/giờ. Vì vậy trong trường hợp tài nguyên tính bị hạn chế có thể sử dụng số hạt mô phỏng 10000 hạt/giờ để chạy chương trình FLEXPART mô phỏng sự phát tán của các nhân phóng xạ.

Các tác giả cảm ơn chương trình KC.05.07/16-20 đã tài trợ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Schwere, A. Stohl, and M. W. Rotach, "Practical considerations to speed up Lagrangian stochastic particle models," *Comput. Geosci.*, vol. 28, no. 2, pp. 143–154, Mar. 2002.
- [2] C. Maurer *et al.*, "International challenge to model the long-range transport of radionuclides released from medical isotope production to six Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty monitoring stations," *J. Environ. Radioact.*, Mar. 2018.
- [3] "How-To: Python Compare Two Images." <https://www.pyimagesearch.com/2014/09/15/python-compare-two-images/>

EFFECTS OF NUMBER OF SIMULATED PARTICLES ON THE UNCERTAINTY IN SIMULATION OF DISPERSION OF RADIOACTIVE MATERIAL USING FLEXPART PROGRAM

NGUYEN HAO QUANG¹, HOANG SY THAN¹, DUONG DUC THANG²,
PHAM KIM LONG³

¹*Việt Nam Atomic Energy Institute, 59 Ly Thuong Kiet, Ha Noi, Viet Nam*

²*Institute of Nuclear Science and Technology, 179 Hoang Quoc Viet, Ha Noi, Viet Nam*

³*Nuclear Training Center, 140 Nguyen Tuan, Ha Noi, Viet Nam*

Abstract: Flexpart software simulates atmospheric emissions based on wind-field movements and random disturbances. To simulate random processes, Flexpart uses a certain number of simulation particles. Changing the number of simulation particles causes a change in the simulated results of the dispersion concentration of the radionuclides. The larger number of simulated particles results in the more accurate simulated results. However, increasing the number of simulated particles results in the increasing of the computational cost. The report presents an assessment of the uncertainty in the concentration of radionuclides in simulating dispersion of ¹³⁷Cs and ¹³¹I nuclides using Flexpart software according to the number of simulation particles. The number of simulation particles used in this study are 100, 1000, 5000, 7500, 10000, 15000, 20000, 25000 and 30000 particles / hour. Using the image processing software OpenCV to evaluate the uncertainties of simulated results according to the number of simulated particles used. Evaluation results show that the simulated results are acceptable with the number of simulated particles being of 20000 particles/hour.

Keyword : *FLEXPART, uncertainty, simulation particle, OpenCV*

