

Kimberlit

Nguyễn Hoàng. Viện Địa chất,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Giới thiệu

Kimberlit là đá magma siêu mafic kiềm (giàu kali) được hình thành sâu dưới lòng đất và được phun trào núi lửa mang lên mặt đất. Tên gọi kimberlit bắt nguồn từ tên thị trấn Kimberley ở Nam Phi. Trên đường lên bề mặt, magma kimberlit đã đồng hóa nhiều loại khoáng vật và đá, được gọi tổng quát là bao thể. Một trong các bao thể là kim cương, loại đá quý chủ yếu tìm thấy trong kimberlit.

Kimberlit xuất hiện trong vỏ Trái Đất ở các cấu trúc thẳng đứng gọi là ống nổ kimberlit. Nhiều người cho rằng kimberlit hình thành từ trong manti, từ một nguồn dị phân tại độ sâu trong khoảng 150 đến 450km và được phun lên rất mạnh mẽ với tốc độ rất cao do chứa một lượng lớn khí CO₂, H₂O và các loại chất bốc khác. Dung thể hình thành tại các độ sâu hàng trăm km như thế mới có khả năng mang theo tinh thể ngoại lai kim cương.

Ngoài kim cương, kimberlit còn mang lên các bao thể peridotit granat, là loại đá nằm sâu trong manti, chúng tở độ sâu thành tạo kimberlit sâu hơn bất kỳ loại magma nào. Thành phần hóa học của kimberlit cũng rất đặc biệt, hàm lượng SiO₂ thấp và nguyên tố vết lại rất cao. Điều này làm cho việc nghiên cứu thạch luận đá kimberlit trở nên hấp dẫn vì chúng cung cấp thông tin về vùng manti sâu, các quá trình nóng chảy giữa ranh giới thạch quyển nền cổ và manti đôi lưu (tức quyển mềm).

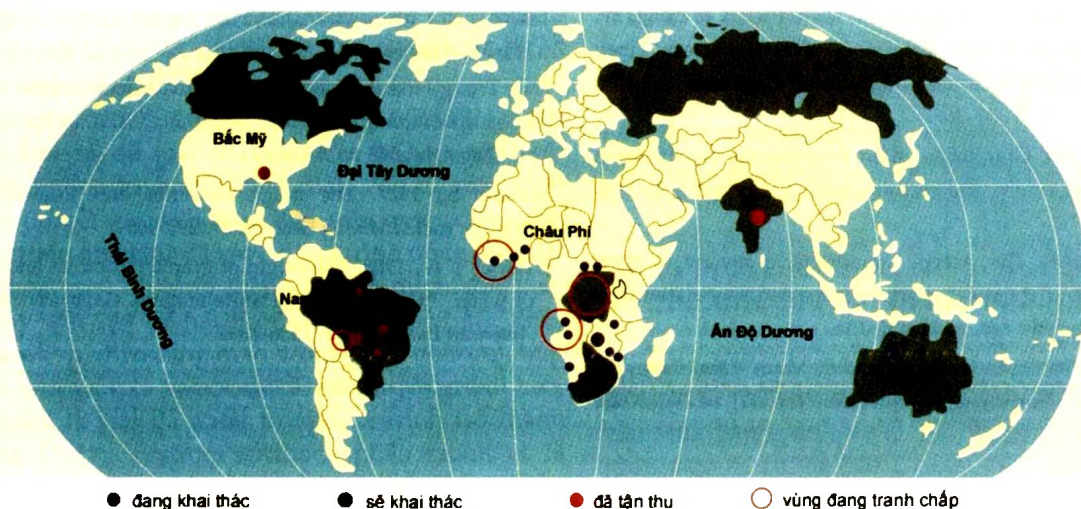
Vị trí và bối cảnh địa chất

Trừ một vài trường hợp như ống nổ kimberlit Malaita trên quần đảo Solomon (phía Đông Papua

New Guinea (Châu Đại Dương), hầu hết kimberlit đã biết đều nằm trong các vùng nền cổ, hoặc khu vực có gốc là nền cổ. Các khu vực tập trung nhiều ống nổ kimberlit là cao nguyên Nam Phi, Tanzania, Siberie (CHLB Nga), phía bắc Australia, Bắc Mỹ (Ontario, Colorado và Wyoming, v.v...), Nam Mỹ (Brazil), một vài điểm phía đông bắc Trung Quốc (không thể hiện trên hình vẽ bên dưới), v.v... Kimberlit dạng đai mạch chứa nhiều bao thể manti ở phần đáy được phát hiện ở tây nam Greenland (Canada) và vùng Cuddapha (Trung Ấn Độ) [H.1].

Kimberlit được đẩy lên bề mặt Trái Đất sau khi hình thành tại một độ sâu đáng kể trong manti. Tuổi của kimberlit dao động từ Proterozoi (1.800 triệu năm: Kuruman, nền cổ Kaapvaal, Nam Phi), 170 đến 74 triệu năm (khu vực Prieska, tây nam nền cổ Kaapvaal) hoặc trẻ đến 20 triệu năm như ở Yakutia (Siberie, Nga). Kimberlit xuất hiện trên nhiều vùng nền có tuổi khác nhau; nhưng kimberlit chứa kim cương chủ yếu liên quan đến nền tuổi Tiền Cambri. Kimberlit và các đá liên quan có thể xuất hiện liên tục trên cùng một khu vực xuyên qua một thời kỳ có thể dài đến hàng trăm triệu năm, trong khi đó thêm lục địa có thể bị trôi dạt đến hàng ngàn kilomet. Kimberlit cũng thường phân bố từng cụm, thí dụ, khu vực Kimberley ở Nam Phi, sự xuất hiện của chúng trùng với thời điểm mở của Đại Tây Dương [H.1].

Các yếu tố quan trọng trong việc thành tạo magma kimberlit bao gồm chế độ chất bốc, biến chất trao đổi, áp suất oxy tại phần đáy thạch quyển và chùm trôi manti được xem là nguồn cung cấp nhiệt,



Hình 1. Sơ đồ phân bố các ống nổ kimberlit chứa kim cương trên thế giới đang khai thác (tròn tím), sẽ khai thác (xanh lá cây), đã tận thu kim cương (đỏ). Các vòng tròn viền đỏ là các vùng đang tranh chấp (Nguồn: AllAboutGemsStones.com).

chất bốc và dung thể magma. Kimberlit nhanh chóng phun lên bề mặt qua các đường dẫn chủ yếu do đứt gãy. Tuy nhiên, hiện nay chưa xác định được mối liên quan giữa kimberlit và cấu trúc kiến tạo, cũng chưa xác định đâu là nguyên nhân kimberlit đã xuất hiện liên tục vài trăm triệu năm tại vùng thạch quyển đặc biệt nào đó.

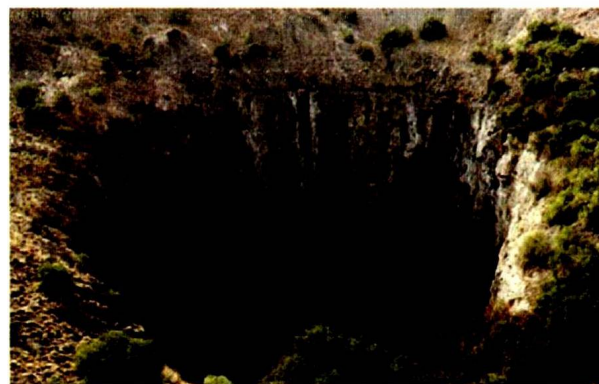
Mặt cắt ống nổ kimberlit có hình dạng của củ cà rốt, gọi là ống nổ [H.2a, H.2b]. Hình dạng này là kết quả từ quá trình phun trào phức tạp của magma kimberlit chứa lượng lớn các chất bốc như CO₂ và H₂O trong dung thể, tạo nên trạng thái nổ sâu trong thạch quyển tất yếu dẫn đến sự dãn mạnh thẳng đứng và phát nổ một khi áp suất bị giảm đột ngột. Phân loại kimberlit dựa trên tổ hợp đá của các tổ hợp này liên quan đến kiểu hoạt động magma, cụ thể là miệng ống nổ, sườn ống nổ, phễu ống nổ [H.2a] và tổ hợp đá bao thể.

Cấu trúc và hình thái của các ống nổ kimberlit có thể thay đổi; nhưng một ống nổ thường bao gồm các tổ hợp đai mạch phức tạp chứa các kênh dẫn dạng tấm, cắm thẳng đứng từ đáy ống nổ kéo dài xuống tận manti. Đáy của phễu ống nổ có thể bắt đầu từ độ sâu cách bề mặt từ 1,5 đến 2km là nơi magma có áp suất cao nổ thẳng lên, phá rộng tạo thành hình phễu hoặc hình trụ và phun trào lên bề mặt. Bề mặt của các ống nổ thường khó bảo tồn, nhưng những biểu hiện của chúng thường giống như một miệng núi lửa âm (maar). Đường kính của ống nổ dao động từ vài trăm mét cho đến một kilomet. Một số đai mạch kimberlit tuổi Jura tại Bắc Mỹ không bộc lộ các dấu hiệu bề mặt nào (bang Pennsylvania), và chúng được các thợ mỏ phát hiện.

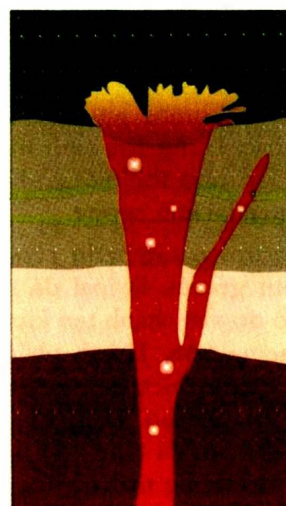
Thành phần khoáng vật và hóa học

Đặc điểm địa hóa đặc trưng là giàu các nguyên tố vết làm xuất hiện nhiều giả thiết và mô hình về nguồn gốc của kimberlit. Điều nhiều nhà nghiên cứu thống nhất là kimberlit thành tạo ở độ sâu đến

ranh giới manti thạch quyển thậm chí đến ranh giới chuyển tiếp giữa quyển mềm và manti (> 250km). Cơ chế làm giàu magma là để tài nghiên cứu hấp dẫn và lâu dài.



Hình 2a. Miệng một ống nổ kimberlit tại Nam Phi. Nguồn: <http://www.earth.ox.ac.uk/~oesis/field>.



Hình 2b: Minh họa mặt cắt một ống nổ, chiều cao trung bình từ 50 đến 70km (Nguồn: Internet).

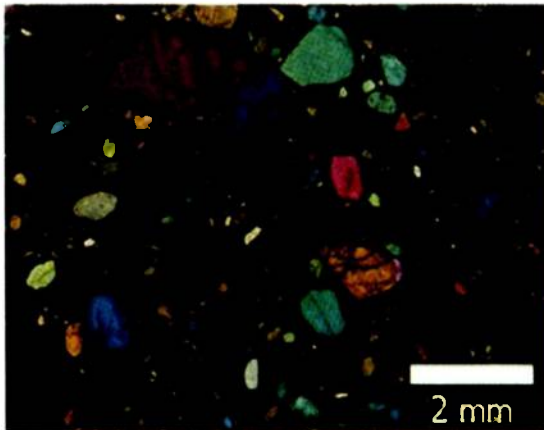
Khởi đầu (1914), dựa trên quan sát thạch học kimberlit được chia thành hai kiểu là “kimberlit basalt” và “kimberlit mica”. Sau này (1983) được chia thành 2 nhóm – Nhóm 1 và Nhóm 2 dựa trên

thành phần đồng vị Sr, Nd, và Pb. Đến năm 1995, Nhóm 1 và 2 được nhận định là có thể không liên quan về nguồn gốc do chúng có nhiều đặc điểm khác biệt nhau. Thí dụ, kimberlit Nhóm 2 có nhiều đặc điểm gần gũi với lamproit hơn là Nhóm 1. Do vậy, các nhóm kimberlit lại được sắp xếp lại.

Thành phần khoáng vật

Kimberlit nhóm 1

Kimberlit nhóm 1 là magma siêu mafic giàu kali với tổ hợp khoáng vật nguyên thủy đặc trưng là các khoáng vật cao Mg như olivin và ilmenit, các khoáng vật cao Cr như pyrop, almandin - pyrop và diopsid. Ngoài ra còn có phlogopit, enstatit và chromit thấp Ti. Nhóm 1 có cấu trúc porphyr đặc trưng với các ban tinh olivin, pyrop, diopsid trên nền hạt từ mịn đến hạt vừa [H.3a].



Hình 3a. Kimberlit nhóm 1 chứa các ban tinh olivin (màu) và pyrop (đen) nhiều kích thước khác nhau quan sát dưới kính hiển vi.

Kimberlit nhóm 2

Kimberlit nhóm 2 là magma núi lửa siêu kiềm (kali) giàu các hợp phần chất bốc (chủ yếu là nước). Đặc trưng thành phần tổ hợp khoáng vật của nhóm 2 là phlogopit có kích thước từ vi tinh thể cho đến ban tinh thể, và cả trong phần nền. Thành phần phlogopit trong nền dao động từ giàu Mg đến giàu Fe (tetraferiphlogopit). Ngoài ra, olivin nhiều kích thước, nhiều hình dạng, có cả ban tinh lẫn phần nền nhưng khối lượng không đáng kể [H.3a].

Nhóm 2 còn có đặc điểm là các pha khoáng vật nguyên thủy tồn tại trong phần nền có pyroxen phân đôi (trung tâm tinh thể là diopsid được aegirin cao Ti vây quanh), các khoáng vật nhóm spinel (dao động từ chromit cao Mg đến magnetit giàu Ti và Fe), perovskit giàu đất hiếm, apatit giàu Sr, các khoáng vật gốc phosphat giàu đất hiếm, nhóm khoáng vật holandit giàu kali và rutil giàu Nb, v.v...

Các khoáng vật chỉ thị kimberlit

Kimberlit là loại đá magma đặc biệt vì chúng bao gồm các biến loại khoáng vật có các thành phần hóa

học đặc biệt. Đó là các khoáng vật như richterit giàu kali, diopsid-Cr, spinel-Cr, ilmenit-Mg-Cr (picroilmenit), và granat giàu thành phần pyrop và chrom. Các khoáng vật này thường được coi là chỉ thị của magma kimberlit. Sự có mặt của tổ hợp khoáng vật này được sử dụng để tìm kiếm dấu vết kimberlit gốc trong lòng suối, sông, vì chúng là sản phẩm kimberlit bị bào mòn và chuyển tải theo dòng chảy [H.3b].



Hình 3b. Tổ hợp khoáng vật chỉ thị của magma kimberlit: diopsid-Cr, pyrop, và spinel (sẫm màu).

Địa hóa

Xác định thành phần dung thể ban đầu của kimberlit là một vấn đề nan giải vì 3 lý do 1) Các bao thể ngoại lai trong kimberlit chiếm hơn 30%; 2) Chưa tìm thấy (bao thể) dung thể kimberlit thủy tinh; 3) Kimberlit rất dễ phong hóa vì có thành phần siêu mafic và tuổi phun trào cổ (thường hơn 100 triệu năm). Nhiều công trình đã cố gắng tìm hiểu thành phần dung thể, nhưng đến nay thành phần của chúng vẫn chưa được biết rõ. Khoảng thành phần được xác định là $\text{SiO}_2 < 25 - 40\%$, MgO từ 15 đến 35%; thành phần chất bốc (CO_2 và H_2O) càng khó xác định hơn.

Thành phần nguyên tố chính

So với kimberlit nhóm 1 (tuổi 84 triệu năm, Kimberley, đông nam nền cổ Kaapvaal), kimberlit nhóm 2 (124 triệu năm, Swarttruggens, tây bắc nền cổ Kaapvaal) cao SiO_2 (25 - 42% so với 20 - 35%), K_2O đặc biệt cao hơn (2 - 6% so với 0 - 2%), nhưng TiO_2 còn thấp hơn nữa (1 - 2% so với 1 - 5%), các thành phần như MgO , CaO và Al_2O_3 gần như tương tự.

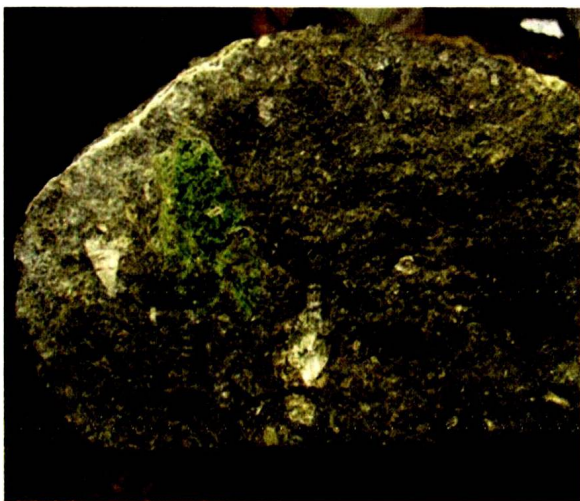
Thành phần nguyên tố vết

Sự khác nhau trong thành phần nguyên tố vết của 2 nhóm kimberlit thể hiện rất rõ. So với nhóm 1, thành phần các nguyên tố sau đây trong nhóm 2 kimberlit đặc biệt cao. Tại cùng một giá trị La là Th, Rb, Pb và Sr; nhưng thành phần các nguyên tố như Zr và Nb (tương tự như Ti) thấp hơn nhóm 2 rất nhiều. Ngoài ra, tỉ số giữa nguyên tố đất hiếm nhẹ

và đất hiếm trung bình, như La/Sm của kimberlit nhóm 2 cao hơn (9 - 14) kimberlit nhóm 1 (7 - 9).

Thành phần đồng vị

Sự phân chia thành 2 nhóm kimberlit là dựa trên thành phần khoáng vật, hóa học, nhưng đặc biệt là dựa trên thành phần đồng vị Sr và Nd, do đặc điểm khác biệt của chúng giữa các nhóm. Kimberlit nhóm 1 có thành phần đồng vị nguyên thủy Sr thấp và Nd cao hơn và dao động trong khoảng 0,704 - 0,706 (so với 0,707 - 0,709) và 0,5122 - 0,5126 (so với 0,5118 - 0,5121). Thành phần đồng vị hafni (Hf) của nhóm 1 cũng cao hơn nhóm 2. Tất cả bằng chứng này chứng tỏ kimberlit nhóm 2 được thành tạo từ các nguồn giàu hơn.



Hình 4a. Bao thể diopsid-Cr trong đá kimberlit chứa kim cương tại một mỏ ở Nam Phi (Nguồn: Internet).

Bao thể

Thành phần đa dạng của các bao thể manti do kimberlit đưa lên bề mặt phản ánh bản chất dị phần của manti thạch quyển ở độ sâu 200 - 250km dưới các nền cổ. Thông thường có hai nhóm bao thể manti là peridotit và eclogit, từng nhóm có thể chia ra nhiều nhóm nhỏ dựa vào thành phần các loại đá. Các đá như dunit, harzburgit, lherzolit và werlit chứa spinel và/hoặc pyrop cùng với đá mang kim cương là đặc trưng cho nhóm peridotit. Đối với nhóm peridotit, các kiến trúc thường quan sát bao gồm hạt to đến vỡ vụn hoặc nén ép, phản ánh các mức độ biến dạng dưới các tầng sâu của thạch quyển [H.4a]. Nhóm eclogit bao gồm eclogit - coesit - kinit, corindon và grosspydit; một số các bao thể nhóm này chứa kim cương [H.4b].

Kim cương

Kim cương là carbon kết tinh ở hệ lập phương. Tinh thể carbon có nhiều dạng tùy thuộc vào trạng thái liên kết của nguyên tử carbon trong mạng tinh thể; các tinh thể này được hình thành phụ thuộc các điều kiện như nhiệt độ áp suất và thành phần chất

bốc. Hai dạng tinh thể carbon phổ biến nhất là graphit (cấu trúc bảng (tabular), hệ 6 cạnh: hexagonal, độ cứng 1 đến 2) và kim cương (octahedral, hệ tinh thể khối: isometric hexaoctahedral, độ cứng là 10 theo thang Mohs). Kim cương thuộc nhóm đá quý, chủ yếu được khai thác từ đá kimberlit và lamproit, cả ống nỏ [H.5a; H.5b] lẫn đai mạch. Trung bình, để có được một carat kim cương nhiều khi người ta phải xử lý đến hàng chục mét khối đá.



Hình 4b. Bao thể eclogit manti trong kimberlit đai mạch vùng Maniitsoq, phía nam West Greenland.

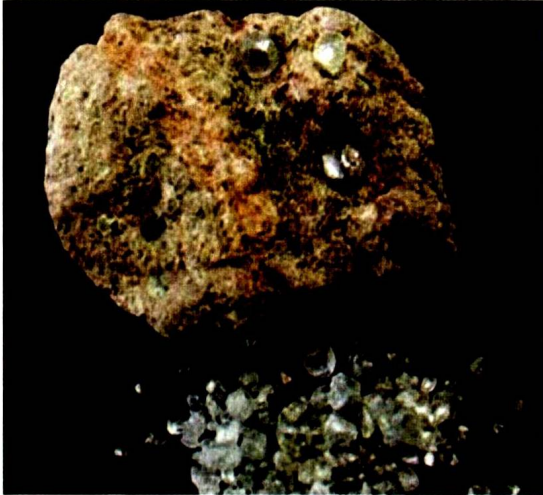
Kim cương được thành tạo tại các độ sâu rất lớn trong manti thạch quyển. Để đáp ứng các điều kiện về áp suất và nhiệt độ, quá trình kết tinh xảy ra ít nhất tại các độ sâu 150 đến 200km, đôi khi đến 300km hoặc hơn nữa. Tại các vùng khác nhau của Trái Đất đều có thể có điều kiện để kim cương kết tinh; nhưng hiện nay người ta chỉ biết cấu trúc nền cổ là phù hợp về độ sâu và nhiệt độ cho kim cương hình thành và được đẩy lên bề mặt.



Hình 5a. Kim cương được khai thác tại một ống nỏ kimberlit ở Nam Phi.

Nhờ nghiên cứu thành phần đồng vị carbon trong kim cương nên phát hiện được hai loại carbon, vô cơ và hữu cơ tham gia vào cấu trúc kim cương. Kim cương đi cùng bao thể harzburgit chứa carbon vô cơ được hình thành ở sâu bên dưới manti Trái

Đất; kim cương tìm thấy trong đá eclogit chứa carbon hữu cơ, tồn tại trong các hợp phần của vỏ Trái Đất được các mảng hút chìm mang xuống manti trước khi xảy ra các phản ứng tương tác tạo thành kim cương.



Hình 5b. Kim cương và bao thể kim cương trong đá kimberlit.

Quan niệm mới về kimberlit và kim cương

Kimberlit phun lên bề mặt mang theo một lượng lớn các bao thể, kể cả kim cương, chúng cuốn theo vào dung thể đôi khi chiếm đến 30% tổng thể tích. Cơ chế nào làm cho kimberlit thắng được các lực cản, mang theo các "vật nặng" và phun lên bề mặt với tốc độ được xem là nhanh và mạnh mẽ nhất trong các loại magma phun trào có chứa bao thể?

Một nhóm nghiên cứu quốc tế của Russell và đồng nghiệp công bố (2012) rằng chính quá trình đồng hóa đá vây quanh trên đường phun lên của kimberlit là nguyên nhân tạo ra cơ chế phun nổ nhanh và mạnh mẽ này. Lý thuyết này đòi hỏi dung thể ban đầu của kimberlit giống kiểu carbonatit, khi di chuyển qua manti thạch quyển dung thể siêu mafic nghèo silic đồng hóa khoáng vật của manti mà chủ yếu là pyroxen thoi làm cho dung thể trở nên giàu silic hơn, một mặt làm cho các hợp phần carbon cách ly khỏi dung thể và làm giảm tỷ trọng của dung thể. Quá trình đồng hóa càng tăng nhanh, chất bốc CO₂ tách khỏi dung thể càng nhiều, tỷ trọng càng giảm và dung thể càng nhẹ hơn, kết quả dung thể kimberlit được đẩy nhanh lên bề mặt. Lý thuyết này giúp giải thích cơ chế phun trào mạnh mẽ, liên tục của các khối dung thể lớn chứa một lượng lớn các bao thể, tinh dị phân của địa hóa kimberlit và sự liên quan giữa kimberlit và nền cổ.

Theo kết quả nghiên cứu gần đây của một nhóm các nhà nghiên cứu, cấu trúc chuyển động mảng kết hợp với các cắt nhiệt manti thông qua tọa độ cổ từ của các vùng basalt lũ lục địa, và vị trí hiện tại của gần 2.000 ống nổ kimberlit, thì có thể chòm trời manti xuất phát từ ranh giới giữa nhân và manti là động lực gây phun nổ kimberlit và mang kim cương lên bề mặt. Họ đề xuất rằng các cuộc tìm kiếm kimberlit chứa kim cương trong tương lai chỉ nên tập trung vào các lục địa có các nền cổ đã từng phân bố trên các chòm trời manti kiểu này.

Tài liệu tham khảo

- Bergman S. C., 1987. Lamproites and other potassium-rich igneous rocks: a review of their occurrences, mineralogy and geochemistry. In: *Alkaline Igneous rocks*, Fitton, J.G. and Upton, B. G. J (Eds.), 1987. *Geological Society of London. Special publication* 30: 103-19.
- Clement C. R., Skinner E.M.W., 1985. A textural-genetic classification of kimberlites. *Transactions of the Geological Society of South Africa*: 403-409.
- Dawson J.B., 1971. Advances in kimberlite geology. *Earth Science Reviews*. 7: 187-214.
- Edwards C. B., Howkins J.B., 1966. Kimberlites in Tanganyika with special reference to the Mwadui occurrence. *Economical Geology*. 61: 537-554.
- Le Roex A.P., Bell D.R., Davis P., 2003. Petrogenesis of Group I kimberlites from Kimberley, South Africa: Evidence from Bulk-rock Geochemistry. *Journal of Petrology*. 44: 2261-2286.
- Nixon P.H., 1995. The morphology and nature of primary diamondiferous occurrences. *Journal of Geochemical Exploration*. 53: 41-71
- Russell J.K., Porritt L.A., Lavallée Y., Dingwell D.B., 2012. Kimberlite ascent by assimilation - fuelled buoyancy. *Nature*. 481 (7381): 352 DOI:10.1038/nature10740.
- Sumino H., Kaneoka I., Matsufuji K., Sobolev A.V., 2006. Deep mantle origin of kimberlite magmas revealed by neon isotopes. *Geophysical Research Letters*. 33, L16318, doi:10.1029/2006GL027144.
- Torsvik T.H., Burke K., Steinberger B., Webb S.J., Ashwal L.D., 2010. Diamonds sampled by plumes from the core-mantle boundary. *Nature*. 466 July 2010/doi:10.1038/nature09216
- Woolley A.R., Bergman S.C., Edgar A.D, Le Bas M.J., Mitchell R.H., Rock N.M.S., Scott Smith B.H., 1996. Classification of lamprophyres, lamproites, kimberlites, and the kalsilitic, melilitic, and leucitic rocks. *The Canadian Mineralogist*. 34 (Part 2): 175-186.