

Đặc điểm ellipsoid biến dạng các thành tạo biến chất Permian-Triassic sớm ở địa khu Kon Tum

Lường Thị Thu Hoài¹, Nguyễn Văn Vượng¹, Bùi Văn Đông¹,
Vũ Tiến Thành², Trần Thị Thanh Nhân¹, Phan Đức Lễ³

¹ Khoa Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

² Trung tâm Thông tin Lưu trữ và Bảo tàng Địa chất, Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam

³ Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, Bộ Nông nghiệp và Môi trường

Tác giả liên hệ: vuongnv@gmail.com

Ngày gửi bài: 15/5/2025

Ngày chấp nhận đăng:
20/9/2025

Từ khóa: Ellipsoid biến dạng, địa khu Kon Tum, phức hệ Khâm Đức, phức hệ Ngọc Linh, phức hệ Kan Nack, Biến dạng Permian-Triassic sớm.

Tóm tắt: Ellipsoid biến dạng của các đá biến chất khu vực là bản lưu trữ ghi nhận lại chế độ biến dạng kiến tạo ở quy mô khoáng vật. Ở địa khu Kon Tum, các đá biến chất-biến dạng dẻo tuổi Permian-Triassic sớm được hình thành dưới sâu lộ ra rộng rãi và ghi nhận lịch sử phát triển kiến tạo lâu dài của khu vực. Để xác định đặc điểm chế độ biến dạng kiến tạo ở địa khu Kon Tum trong giai đoạn Permian-Triassic sớm, 20 mẫu đá gneiss, đá phiến kết tinh được lựa chọn từ các phức hệ Khâm Đức, Ngọc Linh và Kan Nack để phân tích và xác định các thông số ellipsoid biến dạng 2 chiều bằng phương pháp Rf/Phi và xác định ellipsoid biến dạng 3 chiều từ tổ hợp 3 mặt cắt định hướng vuông góc với 3 trục biến dạng chính. Kết quả phân tích chỉ ra rằng các đá biến chất khu vực ở địa khu Kon Tum có ellipsoid biến dạng 3 chiều với dạng kéo dài theo phương tây bắc-đông nam và có trục co ngắn cực đại phân bố gần thẳng đứng. Chế độ biến dạng kiến tạo Permian-Triassic sớm ở địa khu Kon Tum tương ứng với chuyển động kéo giãn cực đại về phía tây bắc đồng thời với chuyển động ép và nâng thẳng đứng.

1. Giới thiệu

Các quá trình chuyển động kiến tạo sẽ dẫn đến hình thành các thành tạo địa chất mới và làm biến đổi các thành tạo địa chất có trước. Một trong những hệ quả của quá trình biến dạng kiến tạo vô lực địa là sự thay đổi kiến trúc và hình thái của các hợp phần tạo đá bao gồm các khoáng vật tạo đá, hạt vụn, di tích hóa thạch dẫn đến thay đổi kiến trúc tổng thể của các thành tạo địa chất. Quá trình này xảy ra trong không gian ba chiều, tiến triển theo thời gian và có các đặc điểm khác nhau tùy thuộc vào môi trường kiến tạo và đặc điểm thạch học ban đầu (Ramsay, 1982). Vì vậy, việc xác định các đặc điểm hình thái các hạt khoáng vật tạo đá thông qua nghiên cứu ellipsoid biến dạng (finite strain) đóng vai trò quan trọng giúp làm sáng tỏ cấu trúc địa chất và các đặc trưng biến dạng liên quan đến chuyển động kiến tạo của khu vực nghiên cứu

(Passchier and Trouw, 1996; Ramsay and Graham, 1970).

Địa khu Kon Tum là móng đa biến chất ở mức độ cao của khối lục địa phức hợp Đông Dương (Nakano et al., 2021; Tran et al., 2020). Nó được tạo thành chủ yếu từ các thành tạo biến chất của ba phức hệ đá biến chất Kan Nack, Ngọc Linh, Khâm Đức và các phức hệ đá magma có tuổi Paleozoic sớm và Paleozoic muộn-Mesozoic sớm (Hieu et al., 2015; Hoang et al., 2023; Hung et al., 2022; Jiang et al., 2020; Minh et al., 2020; Tran et al., 2023; Trong et al., 2022). Cả ba phức hệ biến chất của địa khu Kon Tum đều ghi nhận ít nhất hai giai đoạn biến chất nhiệt độ cao trong Ordovic-Silur và Permian-Triassic sớm (Jiang et al., 2023; Nakano et al., 2007; Osanai et al., 2001; Usuki et al., 2009). Các giai đoạn chuyển động kiến tạo Paleozoic sớm và Permian-Triassic sớm đã làm biến chất

và biến dạng mạnh các thành tạo địa chất kể trên dẫn đến hình thành bình đồ cấu trúc kiến tạo cơ bản của địa khu Kon Tum. Các đá biến chất của cả ba phức hệ đều ghi nhận quá trình biến dạng dẻo thể hiện dưới dạng các đá biến dạng kiến tạo kiểu mặt phiến (S), kiểu dạng tuyến trượt (L) và kiểu mặt phiến kết hợp tuyến trượt (SL). Các đá biến chất cùng với yếu tố cấu trúc biến dạng này lưu trữ nhưng thông tin quan trọng về chế độ biến dạng kiến tạo xảy ra ở phần sâu của vỏ trái đất, đặc biệt là các chuyển động kiến tạo ghi nhận rõ nét trong các đá biến chất của địa khu Kon Tum. Mặc dù ellipsoid biến dạng cung cấp những thông tin quan trọng về chế độ biến dạng và kiến tạo liên quan nhưng các nghiên cứu về vi kiến trúc biến dạng, đặc biệt là việc nghiên cứu xác định đặc trưng của ellipsoid biến dạng ở Việt Nam còn ít được phổ biến. Để góp phần làm sáng tỏ đặc điểm chế độ kiến tạo biến dạng dẻo ở địa khu Kon Tum, bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu đặc điểm hình thái và định hướng ellipsoid biến dạng của 20 mẫu đá biến chất với mức độ biến dạng khác nhau được lựa chọn từ các đá biến dạng điển hình ở địa khu Kon Tum và thảo luận về ý nghĩa kiến tạo của chúng trong quá trình hình thành cấu trúc địa chất của địa khu Đông Dương.

2. Bối cảnh địa chất khu vực

Địa khu Kon Tum nằm về phía đông của khối lục địa phức hợp Đông Dương. Phía bắc nó tiếp giáp với đai uốn nếp Trường Sơn thông qua đới khâu Tam Kỳ-Phước Sơn. Phía nam tiếp giáp với đới Đà Lạt thông qua đứt gãy Sông Ba-Tuy Hòa, phía tây bị phủ bởi các trầm tích lục nguyên của bể trầm tích Mesozoi Khorat.

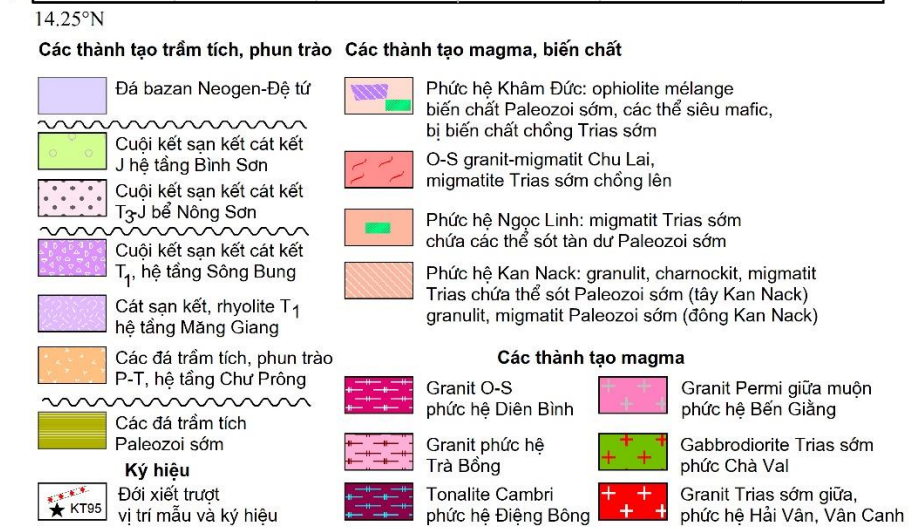
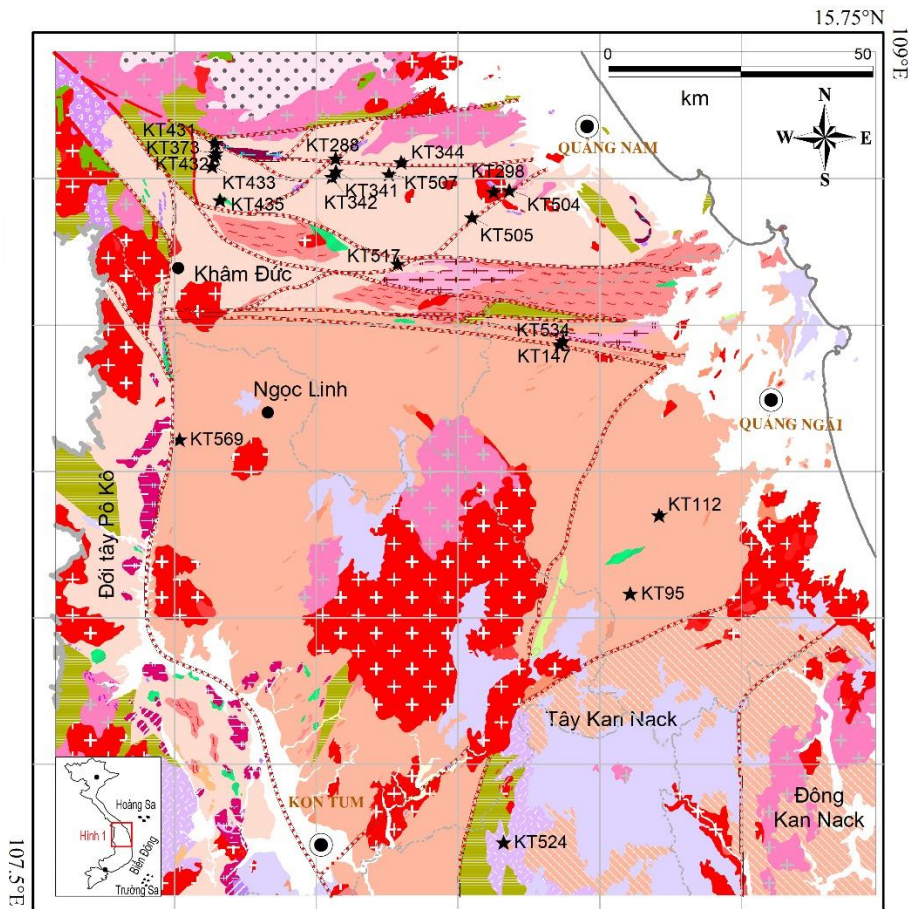
2.1 Phức hệ Khâm Đức

Phức hệ Khâm Đức phân bố tập trung chủ yếu thành hai dải. Dải một kéo dài theo phương á vĩ tuyến từ khu vực Tam Kỳ đến Phước Sơn và phân bố từ đới xiết trượt Trà Bồng về phía bắc và được gọi là đới khâu Tam Kỳ-Phước Sơn. Dải hai phân bố chủ yếu ở phía tây đứt gãy Pô Kô theo hướng á kinh tuyến và gọi là đới tây Pô Kô. Hai dải này tạo thành đới bao quanh khối Ngọc Linh về phía bắc và phía tây. Phức hệ Khâm Đức tạo thành chủ yếu từ các thành tạo lục nguyên phun

trào bị biến chất chủ yếu ở tương amphibolite đến tương đá phiến lục (hình 1).

Đới khâu Tam Kỳ-Phước Sơn bao gồm các đá trầm tích xen phun trào bị biến chất chứa các thể siêu mafic-mafic phân bố rải rác của phức hệ Hiệp Đức, Núi Ngọc và các thể mafic đến trung tính xâm nhập bị biến chất. Các đá siêu mafic-mafic của phức hệ Hiệp Đức được xem như là một bộ phận của phức hệ ophiolite Tam Kỳ-Hiệp Đức (Dung et al., 2006; Izokh et al., 2006; Tri, 2009). Đới khâu Tam Kỳ-Phước Sơn được chia thành hai phần theo đặc điểm thạch học. Phần phía bắc là các đá phiến epidot-amphibolit, đá phiến granat-biotit-sillimanit, biotit-muscovit và gneiss chứa hornblen biotit. Các đá biến chất này chứa các thể amphibolit dạng thấu kính, các khối orthogneiss có tuổi magma trong khoảng 1,85-1,42 tỷ năm (Wang et al., 2022). Phần phía nam phát triển rộng rãi các đá migmatite và các đá granit anatectic có nguồn gốc nóng chảy vỏ của phức hệ Chu Lai và khối granitoid Trà Bồng. Bên trong các đá migmatit thường chứa các thể tù là các đá amphibolit, metagabro, đá trầm tích biến chất. Tuổi biến chất và biến dạng xác định bằng các phương pháp khác nhau tập trung trong khoảng 255-245 tr.n (Lepvrier et al., 2004; Nakano et al., 2013). Các thành tạo trầm tích phun trào biến chất của đới khâu Tam Kỳ-Phước Sơn bị uốn nếp đa pha (Tran et al., 2014) với cấu trúc hiện tại là một nếp lồi lớn kéo dài theo phương á vĩ tuyến hình thành trong giai đoạn cuối của quá trình trôi lộ kiến tạo của phức hệ Ngọc Linh trong Trias sớm-giữa (Faure et al., 2018). Đới cấu trúc này bị tác động bởi một hệ thống các đới xiết trượt bằng phải có quy mô lớn kéo dài theo phương á vĩ tuyến với tuổi $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ trong khoảng 240-230 tr.n (Tich et al., 2007).

Đới cấu trúc tây Pô Kô được hình thành chủ yếu từ các đá trầm tích phun trào biến chất. Chúng phân cách với phức hệ Ngọc Linh bằng đới xiết trượt Pô Kô phương á kinh tuyến (hình 1). Dọc theo đới xiết trượt Pô Kô xuất hiện các thể mafic siêu mafic thuộc phức hệ Pleiwack (DGMVN, 1997). Các thành tạo trầm tích biến chất hệ tầng Khâm Đức và Đak Long bị các phức hệ magma Diên Bình, Bền Giảng-Quế Sơn và Hải Vân xuyên cắt. Đới này giao với đới cấu trúc Tam Kỳ-Phước Sơn ở khu vực Phước Sơn-Đak Sa và phương cấu trúc chuyển về tây bắc đông nam.



Hình 1. Sơ đồ địa chất khu vực vị trí lấy mẫu nghiên cứu

(Nền địa chất tổng hợp từ bản đồ địa chất :1200.000 của cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam)

2.2 Phức hệ Ngọc Linh

Phức hệ Ngọc Linh tạo thành cấu trúc vòm migmatit chứa các khối đá biến chất tương granulit dưới dạng thể sót có kích thước thay đổi từ vài mét đến kilomet. Các

thể granulit biến chất từ đá ban đầu là đá trầm tích và đá mafic cùng với các thể biến chất tàn dư khác có dạng khúc dồi hoặc dạng thấu kính nằm lẫn trong các đá migmatit và đá gneiss sáng màu. Ở phần phía tây-tây nam

của phức hệ Ngọc Linh, thành phần thạch học chủ yếu là các đá granulit 2 pyroxen, đá gneiss chứa granat-orthopyroxen-biotit. Ở phần phía đông và đông bắc, chủ yếu là các đá amphibolit, đá gneiss hornblend-biotit, gneiss biotit-silimanit và gneiss biotit-granat. Các dẫn liệu về địa niên biểu cho thấy các đá granulite, amphibolite và gneiss có tuổi biến chất tập trung trong khoảng 255-245 tr.n giống như ở phức hệ Khâm Đức (Nakano et al., 2013; Osanai et al., 2004) Một số thể amphibolit, granulit và gneiss cung cấp di chỉ magma có tuổi từ ~1400-1470 triệu năm (Nakano et al., 2021; Xu et al., 2022) và tuổi Paleozoi sớm (Carter et al., 2001; Nagy et al., 2001; Trong et al., 2021).

2.3 Phức hệ Kan Nack

Phức hệ Kan Nack phân bố ở phần đông nam của địa khu Kon Tum và bao gồm 2 phần phân cách nhau bởi đới xiết trượt Sông Kôn. Phần phía tây chủ yếu là các đá biến chất tương granulit trong điều kiện ~900-1050°C và 0.9-1.5 GPa (Jiang et al., 2023; Nakano et al., 2013; Osanai et al., 2004). Phần này ghi nhận tuổi biến chất Trias sớm là phổ biến với di chỉ của một số thể sót tổ hợp khoáng vật biến chất tuổi Ordovic-Silua (Jiang et al.,

2023; Nakano et al., 2013). Phần phía đông bảo tồn chủ yếu các đá biến chất cùng tương granulit như ở phía tây nhưng tuổi biến chất chủ yếu là Ordovic-Silua (Jiang et al., 2023; Nakano et al., 2013; Roger et al., 2007).

3. Đặc điểm mẫu nghiên cứu

Các mẫu định hướng được đo và lấy mẫu tại vết lộ đá gốc ít bị phong hóa. Tại vết lộ, dùng địa bàn để xác định góc phương vị đường phương, góc dốc và hướng dốc của mặt phân phiến và góc nghiêng của tuyến trượt trên mặt phiến so với phương nằm ngang, đánh dấu mặt trên hoặc dưới của mẫu. Để xác định các đặc trưng của ellipsoid biến dạng, 20 mẫu thạch học định hướng đã được lựa chọn từ các đá biến chất biến dạng dẻo, trong đó 15 mẫu từ phức hệ Khâm Đức thuộc đới khâu Tam Kỳ-Phước Sơn, 4 mẫu thuộc phức hệ Ngọc Linh và 1 mẫu thuộc phức hệ tây Kan Nack. Mỗi mẫu được định hướng theo thể nằm của mặt phân phiến và hướng kéo dài của khoáng vật. Các mẫu đá định hướng được chọn chủ yếu là đá chứa khoáng vật thạch anh và feldspar là các khoáng vật nhạy cảm với biến dạng dẻo. Vị trí lấy mẫu, kiểu thạch học và thể nằm mặt ép phiến được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Vị trí lấy mẫu và đặc điểm mẫu nghiên cứu

So TT	Ký hiệu mẫu	Kinh độ (Đông)	Vĩ độ (Bắc)	Kiểu thạch học	Phức hệ	Thể nằm mặt phiến và tuyến trượt (Li)
1	KT95	108° 33' 14"	14° 47' 30"	Gneiss mylonite	Ngọc Linh	040 30E Li 120
2	KT112	108° 36' 16"	14° 55' 32"	Đá phiến thạch anh feldspar mica	Ngọc Linh	160 15W Li 120
3	KT147	108° 25' 45"	15° 13' 3"	Đá phiến thạch anh mica	Ngọc Linh	050 40E Li 020
4	KT288	108° 02' 3"	15° 32' 7"	Metagreywacke	Khâm Đức	110 15N Li 050
5	KT298	108° 18' 46"	15° 28' 39"	Đá phiến thạch anh, feldspar mica	Khâm Đức	120 10N Li 110
6	KT341	108° 02' 4"	15° 30' 47"	Amphibolite mylonite	Khâm Đức	060 80S Li 055
7	KT342	108° 01' 39"	15° 30' 12"	Đá phiến thạch anh feldspar	Khâm Đức	150 20N Li 050
8	KT344	108° 08' 58"	15° 31' 42"	Ultramyylonite	Khâm Đức	090 88N Li 090
9	KT373	107° 49' 25"	15° 32' 38"	Đá phiến thạch anh, felspart, biotit, silimanit	Khâm Đức	130 45S Li 140
10	KT431	107° 49' 18"	15° 33' 40"	Đá phiến thạch anh feldspar biotit	Khâm Đức	120 65S Li 300
11	KT432	107° 49' 15"	15° 32' 13"	Ultramyylonite L-Tectonite	Khâm Đức	120 45S Li 120
12	KT433	107° 48' 59"	15° 31' 19"	Đá phiến thạch anh, micas	Khâm Đức	120 40S Li 120
13	KT435	107° 49' 49"	15° 27' 49"	Amphibolite mylonite	Khâm Đức	090 80S Li 000

14	KT504	108° 20' 25"	15° 28' 49"	Mylonite	Khâm Đức	170 20E 160
15	KT505	108° 16' 29"	15° 26' 5"	Amphibolite mylonite	Khâm Đức	120 30N Li 160
16	KT507	108° 07' 42"	15° 30' 30"	Đá phiến thạch anh mica granat	Khâm Đức	080 40S Li 310
17	KT517	108° 08' 38"	15° 21' 19"	Gneiss	Khâm Đức	110 90 Li 090
18	KT524	108° 19' 49"	14° 22' 1"	Đá phiến thạch anh feldspar mica	Kan Nack	110 30S Li 020
19	KT534	108° 26' 6"	15° 13' 23"	Quartzit mylonite	Khâm Đức	070 35SE Li 080
20	KT569	107° 44' 53"	15° 03' 28"	Đá phiến thạch anh feldspar biotit	Ngọc Linh	020 80W Li 210

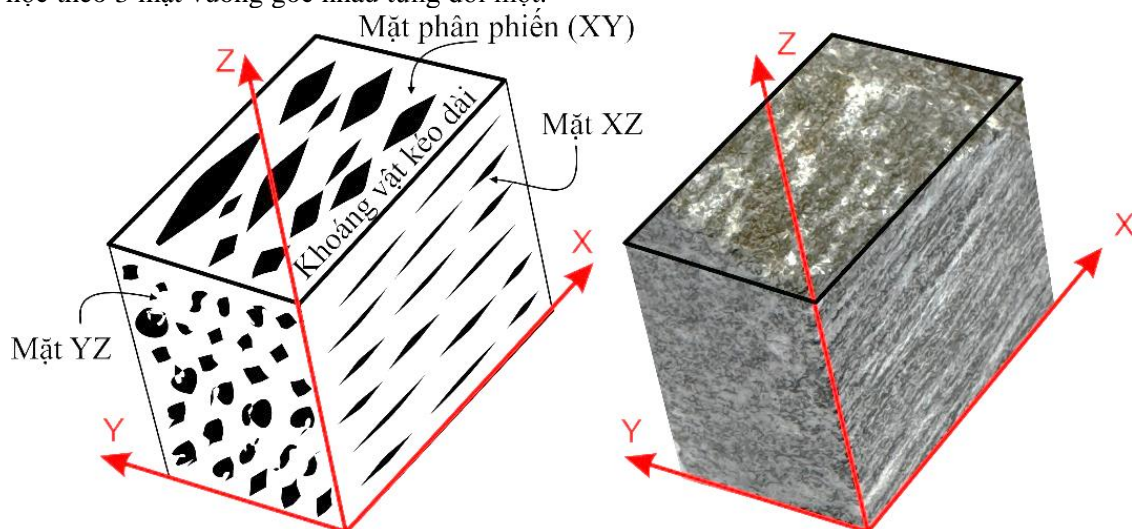
Ghi chú: 020 80W Li 210: 020 là phương vị đường phương, 80 là góc dốc đồ về tây, Li là tuyến kéo dài khoáng vật, 210 là phương kéo dài khoáng vật. Các chữ N, S, E, W chỉ phương bắc, nam, đông, tây

4. Phương pháp nghiên cứu

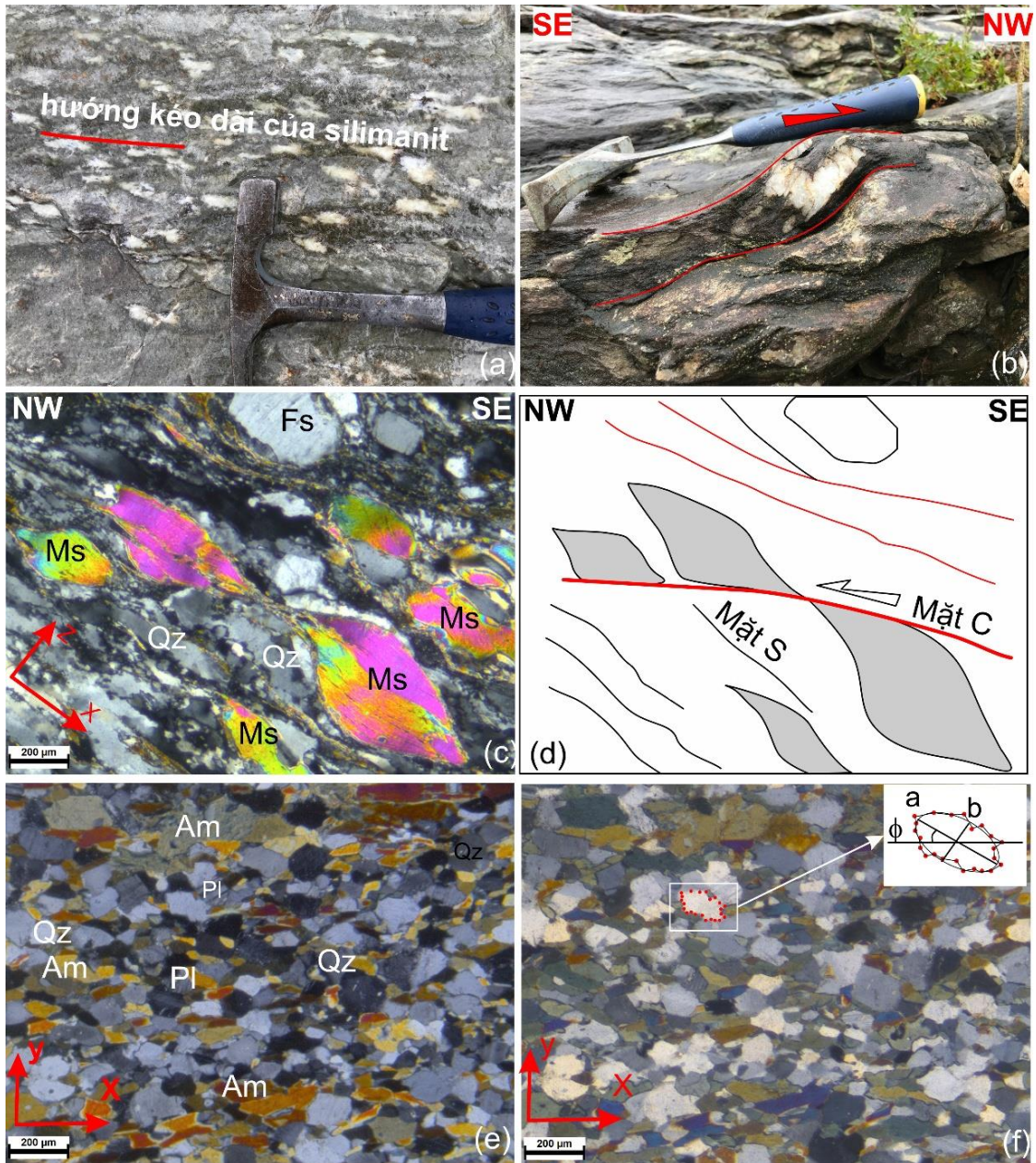
4.1 Chuẩn bị mẫu định hướng

Một hình ellipsoid biến dạng được xác định bởi ba trục $X > Y > Z$. Trong các đá bị biến dạng, mặt ép phiến, là mặt chứa trục X và Y trong đó trục X trùng với phương kéo dài của khoáng vật, trục Y vuông góc với trục X, trục Z vuông góc với mặt ép phiến. Để xác định được các thông số mô tả ellipsoid biến dạng cần phải định hướng mẫu theo hệ tọa độ biến dạng (X, Y, Z) và liên kết với hệ tọa độ địa lý gắn với thể nằm của các yếu tố cấu trúc bao gồm thể nằm mặt ép phiến, góc chúi và phương vị đường phương của hướng kéo dài khoáng vật (hình 2). Để xây dựng lại ellipsoid biến dạng của đá, mỗi mẫu định hướng được cắt và mài thành lát mỏng thạch học theo 3 mặt vuông góc nhau từng đôi một.

Mặt XY là mặt được cắt mài song song với mặt phiến. Mặt XZ được cắt song song với phương kéo dài của khoáng vật đồng thời vuông góc với mặt phiến. Mặt YZ được cắt theo vuông góc với mặt phiến và song song với trục Y. Các lát cắt sau đó được mài thành lát mỏng thạch học tiêu chuẩn, đánh bóng bằng bột mài kim cương. Các lát mỏng đơn lẻ được sử dụng để xác định tỷ số giữa trục dài và trục ngắn của ellip biến dạng và góc giữa trục dài của ellip biến dạng với phương của một trong 3 trục X, Y hoặc Z tùy theo lát mỏng và được phân tích theo phương pháp Rf/Phi. Để phục hồi được ellipsoid biến dạng 3 chiều, mỗi mẫu sẽ cần phân tích đồng thời 3 lát mỏng định hướng với số đo thể nằm của từng lát mỏng trong hệ tọa độ biến dạng và hệ tọa độ địa lý.



Hình 2. Sơ đồ khối chỉ ra định hướng kéo dài của khoáng vật trên mặt phiến. X, Y, Z biểu diễn các trục biến dạng chính của ellipsoid biến dạng với $X > Y > Z$. Mặt phẳng XY biểu diễn mặt ép phiến và trùng với mặt biến dạng XY của ellipsoid biến dạng, mặt XZ cắt song song với phương khoáng vật kéo dài đồng thời vuông góc với mặt ép phiến, mặt YZ vuông góc với mặt ép phiến và phương khoáng vật kéo dài.



Hình 3. Ảnh vết lộ và ảnh lát mỏng thạch học đại diện cho các mẫu nghiên cứu. (a) Định hướng kéo dài của khoáng vật silimanit trên mặt ép phiến, (b) chỉ thị sigma minh chứng chuyển động của vỏ trên di chuyển về phía tây bắc, (c) ảnh lát mỏng thạch học (mặt XZ), (d) hình vẽ minh họa chuyển động kiến tạo phân vỏ trên di chuyển về phía tây bắc với chỉ thị chuyển động kiểu sigma, cá mica và S/C (KT298), (e) đá phiến thạch anh, feldspar mica dưới 2 nicon (KT433), (f) cách xác định ellipoid biến dạng với trục dài a và trục ngắn b, (ϕ là góc giữa trục dài và phương trục X) sử dụng bù màu $\frac{1}{4}$ lamda. Am: amphibol, Fs: feldspar, Pl: plagioclas, Ms: muscovit, Qz: thạch anh. Mặt S là mặt ép phiến, C là mặt trượt dẻo Các dấu hiệu chuyển động kiến tạo tạo S/C, các mica, sigma xem trong (Passchier and Trouw, 1996)

4.2 Phương pháp xác định ellipsoid biến dạng từ ba mặt cắt

Phương pháp xác định ellipsoid biến dạng của đá dựa trên nguyên lý các hạt khoáng vật ban đầu có hình dạng bất kỳ sẽ phân bố đồng đều theo ba chiều không gian. Khi bị biến

chất và biến dạng, các khoáng vật sẽ tái kết tinh và sắp xếp có định hướng. Dưới tác dụng của ứng suất kiến tạo, vật liệu có xu hướng chảy dẻo từ miền ứng suất cao sang miền ứng suất thấp. Ở quy mô mà biến dạng có thể được coi là liên tục và đồng nhất, biến dạng

trong không gian ba chiều được mô tả là sự thay đổi hình dạng của một hình cầu có bán kính bằng 1 đơn vị. Khi bị biến dạng, hình cầu đơn vị này trở thành một hình ellipsoid ba trục có hình dạng và định hướng 3 trục trong hệ tọa độ địa lý. Phương trình mô tả hình ellipsoid biến dạng này như sau

$$\frac{x^2}{(1+\varepsilon_1)^2} + \frac{y^2}{(1+\varepsilon_2)^2} + \frac{z^2}{(1+\varepsilon_3)^2} = 1$$

Trong đó $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ biểu diễn mức độ dãn dài hay co ngắn của 3 trục ellipsoid so với bán kính hình cầu ban đầu được tính bằng 1. Ba trục chính của ellipsoid biến dạng cuối cùng sẽ là $X=(1+\varepsilon_1), Y=(1+\varepsilon_2), Z=(1+\varepsilon_3)$ với $X>Y>Z$ tương ứng với trục kéo dãn cực đại (X), trục trung gian (Y) và trục co ngắn cực đại (Z). Để xác định được ellipsoid biến dạng của mẫu đá, trước hết cần xác định các ellipsoid biến dạng trong mặt phẳng hai chiều theo các lát cắt có phương khác nhau trên cùng mẫu đá. Trong mỗi lát cắt, hình dạng của các hạt thạch anh hoặc feldspar được xác định rõ ranh giới dưới kính hiển vi thạch học sử dụng ánh sáng phân cực dưới 2 nicon kết hợp với sử dụng bù màu $\frac{1}{4}$ lamda. Các lát mỏng thạch học được chụp ảnh kỹ thuật số với tỷ lệ xác định sẽ được phân tích, xác định các ranh giới rõ nét giữa các hạt khoáng vật và được chuyển thành đa giác sau đó được tính chuyển chuyển thành hình ellip có diện tích, tọa độ tâm và ba moment quán tính bậc hai tương tự với hình đa giác tương ứng với hạt khoáng vật trong lát mỏng. Từ các hình ellip trong lát mỏng, sẽ xác định được 2 giá trị: (i) tỷ số R của trục dài chia cho trục ngắn của từng hình ellip biến dạng, (ii) góc ϕ (phi) là góc tạo thành giữa trục dài của hình ellip và phương của một trong ba trục X, Y, Z theo lát mỏng tương ứng. Chi tiết của phương pháp xác định ellip tương đương được cho trong (Yamaji, 2008, 2013). Tổ hợp các thông số của các hình ellip từ 3 lát mỏng định hướng sẽ được dùng để xác định hình dạng của ellipsoid biến dạng với 3 trục X, Y, Z theo phương pháp giải bài toán ngược của (Robin,

2002; Vollmer, 2018). Bên cạnh 3 trục X, Y, Z, các hình ellipsoid biến dạng được phân biệt bởi hệ số hình dạng và độ lớn biến dạng bằng biểu đồ Flinn và Nadal-Hsu (Mookerjee and Peek, 2014).

Trong biểu đồ Flinn hệ số hình dạng KF được tính như sau (Robin, 2002; Vollmer, 2018

$$KF = \frac{R_{xy}-1}{R_{yz}-1} \quad (1)$$

Trong biểu đồ Nadal-Hsu hình dạng và cường độ biến dạng được tính theo tỷ số Lode (v) và cường độ biến dạng (ε) được tính toán theo công thức sau (Robin, 2002; Vollmer, 2018:

$$v = \frac{\ln(R_{yz})-\ln(R_{xy})}{\ln(R_{yz})+\ln(R_{xy})} \quad (2)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{3}} \sqrt{(\ln R_{xy})^2 + (\ln R_{yz})^2 + (\ln R_{zx})^2} \quad (3)$$

Trong đó R_{xy}, R_{yz}, R_{zx} là tỷ số trục dài trên trục ngắn của ellip biến dạng xác định trong mặt cắt XY, YZ và mặt cắt ZX tương ứng.

5. Kết quả

5.1 Kết quả xác định ellip biến dạng 2 chiều

Các mẫu lát mỏng được chuẩn bị theo phương pháp trình bày ở mục 4.1 được phân tích dưới kính hiển vi thạch học Axioscope trang bị camera số. Mỗi lát mỏng của từng mẫu được phân tích khoảng từ 50 đến 90 hạt khoáng vật. Các hạt khoáng vật thạch anh hoặc felspars được lựa chọn sẽ được xác định trục dài và trục ngắn của hình ellip tương đương theo như hình 3f. Mỗi hình ellip sẽ xác định được tỷ số R và góc phi. Tất cả các giá trị R và phi của của từng lát mỏng sẽ được tính trung bình từ tổng số hạt khoáng vật được phân tích. Kết quả trung bình của tỷ số R giữa trục dài trên trục ngắn và giá trị phi theo từng lát mỏng thạch học định hướng của 20 mẫu được cho trong bảng 2. Trong đó N là số lượng hạt khoáng vật được phân tích, giá trị R và Phi là giá trị trung bình của N hạt cùng với sai số tương ứng.

Bảng 2. Kết quả xác định tỷ số R trục dài/trục ngắn của ellip biến dạng trong lát mỏng thạch học và góc phi. Hướng lát mỏng xác định theo quy tắc bàn tay phải

Stt	Ký hiệu mẫu	N	R	Phi (°)	Đường phương (°)	Góc dốc (°)	Stt	Ký hiệu mẫu	N	R	Phi (°)	Đường phương	Góc dốc
1	KT95XY	65	2.24 ± 0.03	8.7 ± 1	40	30	11	KT432XY	76	2.33 ± 0.2	14.0 ± 1	300	40
	KT95XZ	60	2.10 ± 0.02	0.20 ± 2	303	85		KT432XZ	68	1.86 ± 0.1	21.2 ± 2	297	49
	KT95YZ	70	1.37 ± 0.01	11.9 ± 1	209	61		KT432YZ	80	1.87 ± 0.1	22.0 ± 2	29	88
2	KT112XY	85	2.01 ± 0.01	179.5 ± 1	160	15	12	KT433XY	88	1.59 ± 0.2	24.2 ± 2	300	40
	KT112XZ	80	1.99 ± 0.02	165.4 ± 1	298	79		KT433XZ	78	1.78 ± 0.1	8.0 ± 1	297	50
	KT112YZ	78	1.46 ± 0.01	0.3 ± 1	31	79		KT433YZ	90	1.38 ± 0.1	3.9 ± 1	30	88
3	KT147XY	60	2.08 ± 0.01	177.7 ± 1	50	40	13	KT435XY	76	2.45 ± 0.2	5.0 ± 2	90	80
	KT147XZ	66	2.11 ± 0.01	174.6 ± 2	246	51		KT435XZ	77	2.35 ± 0.2	4.2 ± 2	271	9
	KT147YZ	73	1.30 ± 0.01	158.7 ± 2	149	82		KT435YZ	81	2.32 ± 0.2	21.9 ± 1	181	89
4	KT288XY	78	1.67 ± 0.02	175.5 ± 2	290	15	14	KT504XY	56	1.83 ± 0.1	179.0 ± 2	350	20
	KT288XZ	67	1.28 ± 0.01	172.7 ± 2	48	83		KT504XZ	66	1.40 ± 0.1	170.7 ± 2	181	71
	KT288YZ	75	1.19 ± 0.02	57.0 ± 2	140	77		KT504YZ	75	1.42 ± 0.1	8.5 ± 1	90	86
5	KT298XY	65	2.11 ± 0.02	8.9 ± 2	300	10	15	KT505XY	67	1.68 ± 0.2	170.8 ± 2	300	30
	KT298XZ	66	2.57 ± 0.02	0.2 ± 1	110	80		KT505XZ	80	1.59 ± 0.2	172.3 ± 2	169	70
	KT298YZ	78	1.51 ± 0.01	11.6 ± 1	200	87		KT505YZ	81	1.66 ± 0.2	175.2 ± 1	72	69
6	KT341XY	55	1.52 ± 0.01	2.9 ± 1	60	80	16	KT507XY	64	1.43 ± 0.1	179.2 ± 2	80	40
	KT341XZ	65	1.46 ± 0.01	0.0 ± 1	245	10		KT507XZ	68	1.83 ± 0.1	170.2 ± 1	324	69
	KT341YZ	67	1.28 ± 0.01	74.6 ± 1	150	90		KT507YZ	73	1.16 ± 0.1	18.9 ± 1	220	58

Stt	Ký hiệu mẫu	N	R	Phi (°)	Đường phương (°)	Góc dốc (°)	Stt	Ký hiệu mẫu	N	R	Phi (°)	Đường phương	Góc dốc
7	KT342XY	70	1.59 ± 0.01	3.9 ± 2	330	20	17	KT517XY	75	1.39 ± ±	169.6 ± 2	280	80
	KT342XZ	71	1.47 ± 0.01	14.8 ± 1	231	87		KT517XZ	78	1.53 ±	177.1 ± 2	37	22
	KT342YZ	75	1.37 ± 0.01	7.0 ± 3	139	70		KT517YZ	73	1.32 ±	3.2 ± 1	187	71
8	KT344XZ	68	1.76 ± 0.01	170.7 ± 2	271	80	18	KT524XY	69	1.22 ±	9.2 ± 1	110	30
	KT344XY	66	1.92 ± 0.01	173.6 ± 2	42	15		KT524XZ	73	2.37 ±	178.5 ± 1	200	90
	KT344YZ	56	1.71 ± 0.01	174.8 ± 1	180	79		KT524YZ	75	1.82 ±	1.8 ± 1	290	60
9	KT373XY	67	1.80 ± 0.02	171.2 ± 2	130	45	19	KT534XY	72	1.83 ±	176.1 ± 1	70	35
	KT373XZ	56	1.64 ± 0.01	178.9 ± 2	291	47		KT534YZ	75	1.89 ±	6.8 ± 1	265	55
	KT373YZ	62	1.49 ± 0.01	5.8 ± 2	31	80		KT534XZ	77	2.13 ±	8.0 ± 1	170	83
10	KT431XY	60	1.79 ± 0.02	2.2 ± 1	120	65	20	KT569XY	80	2.22 ±	2.1 ± 2	200	80
	KT431XZ	68	1.88 ± 0.01	178.4 ± 3	322	32		KT569XZ	74	2.18 ±	178.2 ± 2	306	35
	KT431YZ	71	1.77 ± 0.02	178.1 ± 3	216	80		KT569YZ	88	1.52 ±	5.7 ± 1	104	57

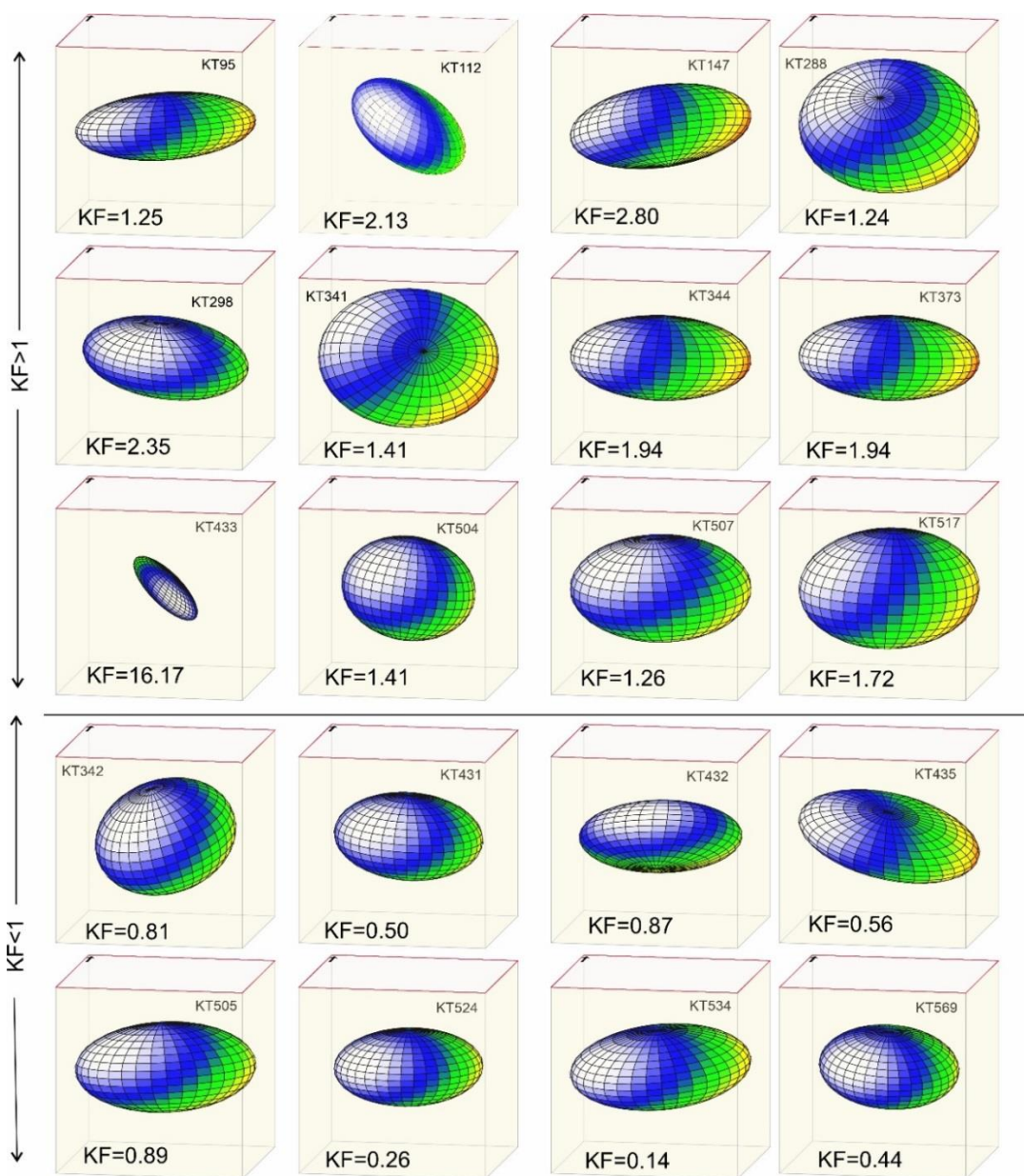
Ghi chú: quy tắc bàn tay phải áp dụng cho mẫu KT95: 300 40 có nghĩa là khi nhìn về phía 300° thì hướng đổ của mặt lát mỏng về phía tay phải 40°

5.2 Kết quả xác định ellipsoid trong không gian ba chiều từ 3 lát cắt định hướng

Kết quả xác định các thông số ellipsoid biến dạng 3 chiều được cho ở (bảng 3).

Bảng 3. Kết quả xác định các thông số ellipsoid biến dạng 3 chiều

I D	Mẫu	X	Y	Z	X/Z	Y/Z	X/Y	KF	ϵ	V	Phươn g vị trục X	Góc chủi X	Phươn g vị trục Y	Góc chủi Y	Phươn g vị trục Z	Góc chủi Z	Sai số X 95%	Sai số Y 95%	Sai số Z 95%
1	KT95	1.67	0.97	0.62	2.70	1.57	1.72	1.25	0.70	-0.09	260	4	350	2	101	86	0.28	0.12	0.05
2	KT112	1.79	0.90	0.62	2.88	1.46	1.98	2.13	0.76	-0.29	150	11	57	15	276	71	0.19	0.07	0.03
3	KT147	1.66	0.89	0.68	2.46	1.31	1.87	2.80	0.65	-0.40	229	1	320	21	137	69	0.11	0.04	0.03
4	KT288	1.28	0.99	0.79	1.62	1.25	1.30	1.24	0.34	-0.09	95	3	188	50	3	40	0.09	0.06	0.05
5	KT298	1.84	0.89	0.61	3.02	1.46	2.07	2.35	0.80	-0.32	130	1	220	13	34	77	0.19	0.08	0.04
6	KT341	1.29	0.98	0.80	1.62	1.23	1.32	1.41	0.34	-0.15	65	4	167	73	334	16	0.08	0.05	0.04
7	KT342	1.33	1.02	0.74	1.80	1.38	1.31	0.81	0.42	0.09	170	8	262	16	53	72	0.13	0.09	0.04
8	KT344	1.68	0.92	0.65	2.59	1.42	1.82	1.94	0.68	-0.26	38	7	128	1	223	83	0.18	0.07	0.04
9	KT373	1.68	0.92	0.65	2.59	1.42	1.82	1.94	0.68	-0.26	288	1	18	6	193	84	0.18	0.07	0.04
10	KT431	1.45	1.08	0.64	2.27	1.69	1.35	0.50	0.59	0.28	148	1	58	0	317	89	0.16	0.09	0.03
11	KT432	1.77	1.02	0.56	3.18	1.84	1.73	0.87	0.82	0.05	310	13	45	19	189	67	0.79	0.19	0.10
12	KT433	3.18	0.63	0.50	6.33	1.25	5.06	16.1	1.42	-0.76	154	7	61	24	260	65	1.80	0.36	0.23
13	KT435	1.81	1.10	0.51	3.57	2.16	1.65	0.56	0.91	0.21	114	11	208	19	355	68	0.45	0.16	0.04
14	KT504	1.35	0.97	0.76	1.77	1.28	1.39	1.41	0.41	-0.15	339	3	69	8	228	82	0.11	0.07	0.04
15	KT505	1.45	1.01	0.68	2.14	1.49	1.44	0.89	0.54	0.05	287	5	197	2	86	85	0.13	0.08	0.04
16	KT507	1.39	0.98	0.73	1.89	1.33	1.42	1.26	0.45	-0.10	293	2	202	10	34	80	0.14	0.08	0.04
17	KT517	1.32	0.96	0.79	1.66	1.22	1.37	1.72	0.36	-0.24	42	2	132	4	286	85	0.08	0.06	0.04
18	KT524	1.46	1.16	0.59	2.47	1.97	1.25	0.26	0.67	0.50	3	1	93	0	185	89	0.19	0.11	0.04
19	KT534	1.40	1.22	0.59	2.37	2.07	1.15	0.14	0.66	0.69	260	6	169	6	30	82	0.16	0.11	0.03
20	KT569	1.53	1.11	0.59	2.60	1.88	1.38	0.44	0.69	0.32	156	5	246	2	355	85	0.28	0.16	0.04

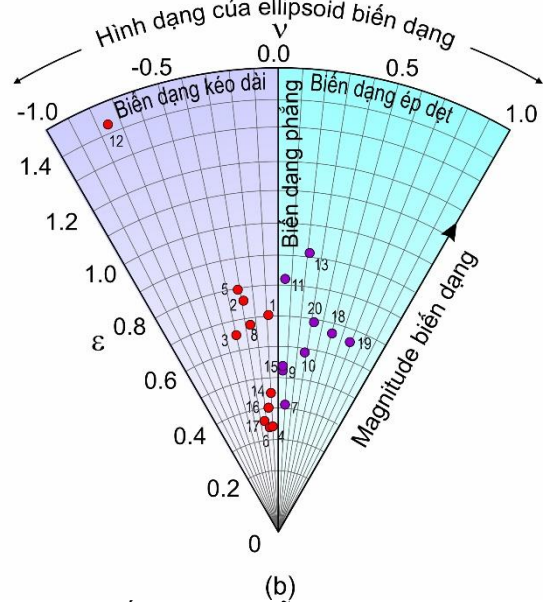
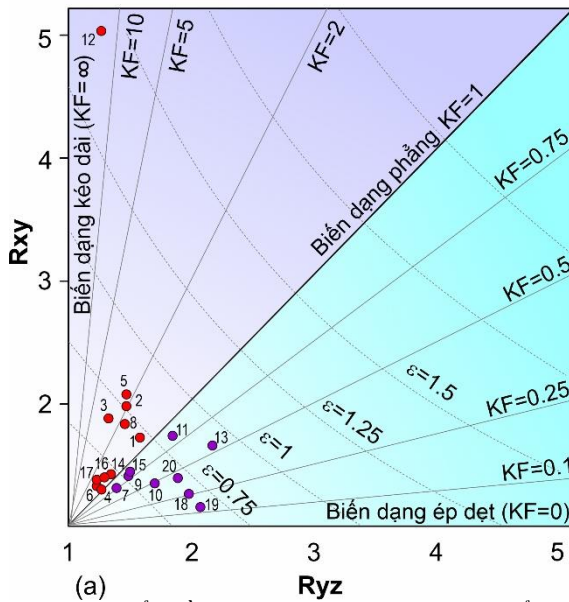


Hình 4. Đặc điểm hình dạng ellipsoid biến dạng các mẫu nghiên cứu.

Các kết quả xác định các giá trị R, phi của từng hạt khoáng vật trong cả 3 lát mỏng cùng với định hướng của lát mỏng trong hệ tọa độ địa lý của từng mẫu được cho ở bảng 2 sẽ được sử dụng để tính toán các thông số đầy đủ của ellipsoid biến dạng trong không gian 3 chiều. Các thông số của ellipsoid biến dạng bao gồm độ lớn của 3 trục X, Y, Z và định hướng của chúng trong hệ tọa độ địa lý thể hiện bằng góc phương vị và góc chúi của trục X, Y, Z. Sai số của các trục X, Y, Z trong bảng 3 là sai số tính từ tổng số hạt khoáng vật đo trong cả 3 lát mỏng của mẫu với độ tin cậy 95%. Các giá trị còn lại được tính trực tiếp từ

giá trị của X, Y và Z.

Trên cơ sở các thông số ở bảng 3, hình dạng của ellipsoid biến dạng cuối cùng được xây dựng lại trong hệ tọa độ địa lý và được thể hiện ở hình 4. Mũi tên chỉ phương bắc với góc quay 10 độ về đông, mặt phẳng nằm ngang nghiêng 10 độ về phía nam. Các hình ellipsoid đều thuộc dạng 3 trục nằm trung gian giữa dạng ép dẹt và kéo dài. Riêng mẫu KT433 có ellipsoid dẹt và kéo dài tương đối lớn theo trục X. Hình dạng này phản ánh chế độ kiến tạo căng dẫn mạnh đã xảy ra trong đới Khâm Đức.



Hình 5. Biểu đồ Flinn (a) và Nadai-Hsu (b) biểu diễn ellipsoid biến dạng các mẫu nghiên cứu. Vị trí của các hình tròn màu đỏ biểu diễn mức độ biến dạng của mẫu. Chữ số trong hình tương ứng với số thứ tự mẫu trong bảng 1

6. Thảo luận

6.1 Đặc điểm và phân bố ellipsoid biến dạng trên biểu đồ Flinn và Nadai-Hsu

Trên biểu đồ Flinn và Nadai-Hsu (hình 5a và 5b), các mẫu nghiên cứu có ellipsoid biến dạng chia thành 2 nhóm. Nhóm ellipsoid thứ nhất (gồm các mẫu KT95, KT112, KT147, KT288, KT298, KT341, KT344, KT433, KT504, KT507, KT517) có hệ số hình dạng $KF > 1$ và $v < 0$ tương ứng với ellipsoid có dạng kéo dài theo trục X. Nhóm ellipsoid thứ 2 (gồm các mẫu KT373, KT431, KT 435, KT505, KT524, KT 534, KT569) có $KF < 1$ và $v > 0$ tương ứng với ellipsoid có dạng ép dẹt mạnh. Các mẫu nhóm 2 có đặc điểm ellipsoid ép dẹt thường phân bố gần với các đới xiết trượt (hình 1) và thuộc phức hệ Khâm Đức. Các mẫu này gần với các đới xiết trượt trong đới cấu trúc Tam Kỳ-Phước Sơn và đới xiết trượt Pô Kô. Trong khi đó các mẫu có $KF > 1$ và $v < 0$ thuộc nhóm 1 lấy trong phức hệ Ngọc Linh, Kan Nack và Khâm Đức nhưng xa các đới xiết trượt. Sự khác biệt giữa hai nhóm này có thể giải thích do tác động bổ sung của hoạt động xiết trượt cuối cùng làm gia tăng mức độ biến dạng nén ép lên các mẫu đã bị biến dạng trước đó. Điều này phù hợp với hệ số phản ánh độ lớn biến dạng ϵ của các mẫu có ellipsoid ép dẹt lớn hơn của mẫu có

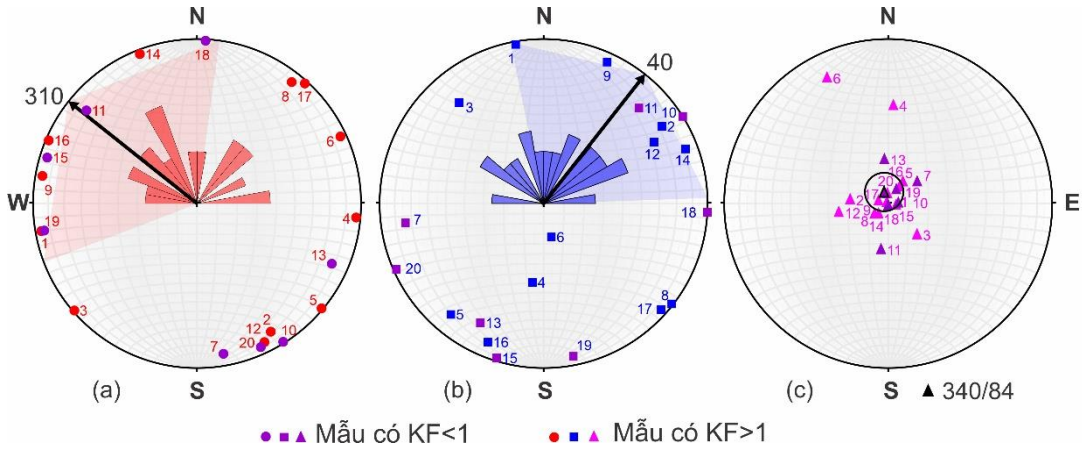
ellipsoid dạng kéo dài (hình 5). Trên biểu đồ Nadai-Hsu (hình 5b), các mẫu có mức độ ép dẹt phân bố xa góc tọa độ hơn. Mức độ biến dạng tập trung trong khoảng 0.3 đến 1.5 (hình 5).

6.2 Định hướng 3 trục ellipsoid biến dạng trong hệ tọa độ địa lý

Để đánh giá sự phân bố của trục biến dạng căng dãn cực đại X và trục nén ép co ngắn cực đại Z, các số liệu định hướng của 3 trục biến dạng X, Y, Z được biểu diễn trên lưới chiếu Schmidt bán cầu dưới (hình 6). Hình 6a, 6b và 6c lần lượt biểu diễn góc phương vị đường phương và góc chúi của trục X, trục Y và trục Z của ellipsoid biến dạng. Trên biểu đồ hình 6a, phương trung bình của trục kéo dài cực đại X có hướng 310 độ và đều có góc chúi rất thoải. Riêng 4 mẫu có số thứ tự 3 (KT147 thuộc phức hệ Ngọc Linh), 6, 8, và 17 (tương ứng với mẫu KT341, KT344, KT517 thuộc phức hệ Khâm Đức) có trục X kéo dài theo phương đông bắc tây nam với góc chúi thoải, trong khi trục trung gian Y lại phân bố theo phương tây bắc đông nam. Sự khác biệt về phương của trục kéo dài X của 4 mẫu nêu trên có thể được giải thích do chuyển dịch xiết trượt phải muộn hơn gây nên. Trục trung gian Y của ellipsoid biến dạng có phương trung bình 40 độ. Đặc biệt đáng lưu ý là hầu hết trục Z của các ellipsoid

biên dạng phân bố tập trung ở tâm lưới chiếu với góc dốc gần thẳng đứng. Đặc điểm phân bố gần thẳng đứng của trục co ngắn cực đại Z phản ánh chế độ biến dạng dẻo mạnh nhất là chế độ căng dẫn với phương căng dẫn trung bình tập trung chủ yếu theo hướng tây bắc-đông nam tương ứng với phương kéo dài cực

đại của trục X. Kết hợp với các nghiên cứu về chỉ thị chuyển động kiến tạo ở quy mô vết lộ và vi kiến tạo trong lát mỏng thạch học, hướng chuyển động kiến tạo gây nên biên dạng dẻo mạnh nhất tương ứng với chuyển dịch của phần vỏ trên kéo căng về phía tây bắc (hình 3b, c & d).



Hình 6. Biểu đồ phân bố vị trí các trục chính của ellipsoid biến dạng trên lưới chiếu Schmidt bán cầu dưới cùng với biểu đồ hoa hồng. (a) phân bố của trục kéo dài cực đại với phương trung bình 310 độ; (b) phân bố của trục trung gian với phương trung bình 40 độ; (c) phân bố trung bình của trục co ngắn cực đại (hình tam giác đen) gần thẳng đứng với góc chúi 84 độ về 340 độ. Số thứ tự trong hình tương ứng với số thứ tự của mẫu trong bảng 1.

6.3 Chế độ biến dạng kiến tạo Permi muộn-Trias sớm

Đặc điểm hình dạng ellipsoid ba chiều và định hướng của các trục biến dạng chính thể hiện trạng thái biến dạng dẻo của các đá phản ánh đặc điểm của chuyển động kiến tạo tương ứng. Nếu như độ lớn của trục X xấp xỉ trục Y thì ellipsoid biến dạng có dạng ép dẹt và tương ứng với chế độ nén ép theo trục Z, Khi độ lớn của trục Y xấp xỉ với trục Z thì ellipsoid có dạng kéo dài và tương ứng với chế độ căng dẫn theo trục X. Ở địa khu Kon Tum, các mẫu nghiên cứu có ellipsoid biến dạng phân bố gần đường $KF=1$ hoặc $v=0$, tức là mang đặc điểm của cả ép dẹt và kéo dài cho thấy chế độ biến dạng có sự kết hợp của cả xiết trượt (simple shear) và xiết ép (pure shear). Hình dáng của ellipsoid biến dạng cùng với giá trị phương vị và góc chúi của 3 trục biến dạng chính X, Y, Z ở bảng 2 và hình 6 cho thấy cả hai nhóm ellipsoid biến dạng kiểu ép dẹt và kéo dài đều có chung định hướng của trục biến dạng co ngắn cực đại Z với góc chúi gần dốc đứng, trung bình

đạt tới 84 độ và phương kéo dài X tương ứng với phương căng dẫn trung bình theo hướng tây bắc-đông nam. Tổ hợp các đặc điểm này gợi ý rằng hoạt động biến dạng dẻo của đá biến chất Permi muộn-Trias sớm ở địa khu Kon Tum được hình thành trong quá trình nén ép theo phương thẳng đứng từ dưới sâu đi lên đồng thời với căng dẫn theo phương tây bắc-đông nam. Kết quả của nghiên cứu này cho thấy hoạt động biến dạng dẻo Permi-Trias của các đá biến chất ở địa khu Kon Tum đã hình thành trong bối cảnh căng dẫn là chính. Các nghiên cứu điều kiện nhiệt độ áp suất và thời gian cuối cùng hình thành các đá biến chất ở các phức hệ Khâm Đức và Ngọc Linh cũng như Kan Nack cho thấy chúng hình thành trong điều kiện giảm áp đẳng nhiệt (Nakano et al., 2004; Osanai et al., 2001). Đặc điểm biến chất như vậy hoàn toàn phù hợp với chế độ biến dạng kiến tạo căng dẫn với lực đẩy kiến tạo thẳng đứng từ dưới lên. Mặt khác, căng dẫn chính có phương tây bắc-đông nam trùng khớp với các nghiên cứu cấu trúc vĩ mô của Faure và cộng sự (Faure et al., 2018) về quá trình trôi lộ kiến tạo hình

thành cấu trúc vòm với phức hệ nhân biến chất cao phân bố ở phần trung tâm của địa khu Kon Tum với chuyển dịch kiến tạo vỏ trên trượt về phía tây bắc.

Các nghiên cứu về thạch luận có xu hướng giải thích các hoạt động magma, biến chất và biến dạng dẻo đi kèm xảy ra trong giai đoạn Permi-Trias ở địa khu Kon Tum là do sự kiện va chạm ghép nối giữa khối Sino-Vietnam hay khối Nam Trung Hoa với khối Đông Dương dọc đới khâu Ailaoshan-Sông Mã gây ra. Các tài liệu nghiên cứu về đá biến chất eclogite, sản phẩm của quá trình hút chìm theo sau là va chạm tạo núi ở đới khâu Sông Mã, cho thấy chúng được hình thành trong điều kiện áp suất cao, nhiệt độ thấp với đường nhiệt độ-áp suất theo chiều kim đồng hồ và có tuổi tuổi từ 243-230 tr.n (Nakano et al., 2010; Zhang et al., 2013). Tuy nhiên, các kết quả xác định tuổi biến chất và magma của nhiều loại đá khác nhau trong cả phức hệ Khâm Đức, Ngọc Linh và Kan Nack bằng phương pháp zircon U/Pb cũng như $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ cho thấy hoạt động biến chất đẳng nhiệt với áp suất giảm dần ở địa khu Kon Tum bắt đầu sớm hơn từ ~260 và kết thúc ở ~235 tr.n và tập trung trong khoảng 250-245 tr.n (Bui et al., 2020; Carter et al., 2001; Lepvrier et al., 2004; Maluski et al., 2005; Nakano et al., 2013; Nam et al., 2001) và theo sau bởi hoạt động xiết trượt bằng phải trong khoảng 240-230 tr.n (Lepvrier et al., 2004; Tich et al., 2004; Tich et al., 2007). Các dẫn liệu nêu trên cho thấy hoạt động căng dẫn ở địa khu Kon Tum xuất hiện sớm hơn so với biến dạng nén ép liên quan đến va chạm tạo núi Indosini. Do đó, va chạm khâu nối giữa khối Nam Trung Hoa với khối Đông Dương khó có thể là nguyên nhân gây nên quá trình biến dạng căng dẫn dẫn đến trời lộ các đá biến chất bị biến dạng dẻo ở địa khu Kon Tum.

7. Kết luận

Ellipsoid biến dạng của các đá biến chất Permi muộn-Trias sớm thuộc phức hệ Khâm Đức, Ngọc Linh và Kan Nack có đặc trưng trục kéo dẫn cực đại X kéo dài theo phương tây bắc đông nam với trục co ngắn cực đại Z gần thẳng đứng với góc chủi 84° về phía 340° . Mức độ biến dạng tập trung trong khoảng 0.3 đến 1.5.

Quá trình biến dạng dẻo của các đá biến chất tuổi Permi muộn-Trias sớm ở địa khu Kon Tum là quá trình biến dạng 3 chiều diễn ra trong điều kiện căng dẫn theo phương tây bắc-đông nam, phần vỏ trên trượt về phía tây bắc với trục co ngắn cực đại theo phương thẳng đứng từ dưới lên.

Quá trình biến dạng căng dẫn ở địa khu Kon Tum liên quan đến động lực ở phần sâu của thạch quyển và là quá trình độc lập với quá trình va chạm dọc đới khâu Sông Mã.

Nghiên cứu các đặc trưng của ellipsoid biến dạng ba chiều cung cấp những thông tin quan trọng để xác định chế độ biến dạng kiến tạo xảy ra dưới sâu trong vỏ trái đất và cần tiếp tục được áp dụng cho các khu vực khác ở Việt Nam.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ đã tài trợ kinh phí để thực hiện đề tài mã số ĐTĐL.CN 38-23.

Tài liệu tham khảo

Bui, V.T.S., Osanai, Y., Nakano, N., Adachi, T., Kitano, I. and Owada, M., 2020, Timing of high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam: Constraints from zircon-monazite multi-geochronology and trace elements geochemistry of zircon-monazite-garnet. *Journal of Asian Earth Sciences*, 187: 104084. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104084>.

Carter, A., Roques, D., Bristow, C. and Kinny, P., 2001, Understanding Mesozoic accretion in Southeast Asia: Significance of Triassic thermotectonism (Indosinian orogeny) in Vietnam. *Geology*, 29(3): 211-214. [https://doi.org/10.1130/0091-7613\(2001\)029<0211:UMAI SA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0091-7613(2001)029<0211:UMAI SA>2.0.CO;2).

DGMVN. 1997, Geological and mineral resources map on 1:200.000 Department of Geology and Minerals of Viet Nam, Hanoi.

Dung, P.T., Hoa, T.T., Phuong, N.T., Anh, T.T. and Nien, B.A., 2006, Characteristics of mineral composition (Olivine, Pyroxene, Chromian Spinel) of ultramafic intrusions in the edge of the Kon Tum geoblock. *Journal of Geology, Hanoi, Series B*, 28: 47-57.

Faure, M., Nguyen, V.V., Hoai, L.T.T. and Lepvrier, C., 2018, Early Paleozoic or Early-Middle Triassic collision between the South China and Indochina Blocks: The controversy resolved? Structural insights from the Kon Tum

massif (Central Vietnam). *Journal of Asian Earth Sciences*, 166: 162-180. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.07.015>.

Hieu, P.T., Yang, Y.-Z., Binh, D.Q., Nguyen, T.B.T., Dung, L.T. and Chen, F., 2015, Late Permian to Early Triassic crustal evolution of the Kontum massif, central Vietnam: zircon U-Pb ages and geochemical and Nd-Hf isotopic composition of the Hai Van granitoid complex. *International Geology Review*, 57: 1877-1888. <https://doi.org/10.1080/00206814.2015.1031194>.

Hoang, N.K., Anh, N.T.Q., Minh, P., Hieu, P.T. and Thao, N.T., 2023, Geochemistry and zircon U-Pb geochronology of the Dak Krong plutonic rocks in the Kontum Massif (central Vietnam) and their petrogenetic implications. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 45(3): 303-325. [10.15625/2615-9783/18411](https://doi.org/10.15625/2615-9783/18411).

Hung, D.D., Tsutsumi, Y., Trung Hieu, P., Trung Minh, N., Minh, P., Thi Dung, N., Ba Hung, N., Komatsu, T., Hoang, N. and Kawaguchi, K., 2022, Van Canh Triassic granite in the Kontum Massif, central Vietnam: geochemistry, geochronology, and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences: X*: 100075. <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2021.100075>.

Izokh, A.E., Tran, T.H., Ngo, T.P. and Tran, Q.H., 2006, Ophiolite ultramafic-mafic associations in the northern structure of the Kon Tum block (Central Vietnam). *Journal of Geology, Hanoi*, 28: 20-26.

Jiang, W., Yu, J.-H., Wang, X., Griffin, W.L., Pham, T., Nguyen, D. and Wang, F., 2020, Early Paleozoic magmatism in northern Kontum Massif, Central Vietnam: Insights into tectonic evolution of the eastern Indochina Block. *Lithos*, 376-377: 105750. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2020.105750>.

Jiang, W., Yu, J.-H., Griffin, W.L., Pham, T., Qian, J. and Nguyen, D., 2023, Tectonic evolution of Southeast Asia documented by two periods of high-grade metamorphism in the Kon Tum Massif, Central Vietnam. *Lithos*, 454-455: 107277. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2023.107277>.

Lepvrier, C., Maluski, H., Tich, V.V., Thi, P.T. and Vuong, N.V., 2004, The early Triassic Indosinian orogeny in Vietnam (Truong Son belt and Kontum massif): implication for the geodynamic evolution of Indochina. *Tectonophysics*, 393(1-4): 87-118. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2004.07.030>.

Maluski, H., Lepvrier, C., Leyreloup, A., Tich, V.V. and Thi, P.T., 2005, 40Ar-39Ar geochronology of the charnockites and granulites of the Kan Nack complex, Kon Tum Massif, Vietnam. *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(4): 653-677. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.07.004>.

Minh, N.T., Dung, N.T., Hung, D.D., Minh, P., Yu, Y. and Hieu, P.T., 2020, Zircon U-Pb ages, geochemistry and isotopic characteristics of the Chu Lai granitic pluton in the Kontum massif, central Vietnam. *Mineralogy and Petrology*, 114(4): 289-303. <https://doi.org/10.1007/s00710-020-00707-x>.

Mookerjee, M. and Peek, S., 2014, Evaluating the effectiveness of Flinn's k-value versus Lode's ratio. *Journal of Structural Geology*, 68: 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2014.08.008>.

Nagy, E.A., Henri Maluski, Claude Lepvrier, Urs Schärer, Phan Truong, T., A. Leyreloup and Van Thich, V., 2001, Geodynamic Significance of the Kontum Massif in Central Vietnam: Composite 40Ar/39Ar and U- Pb Ages from Paleozoic to Triassic. *The Journal of Geology*, 109(6): 755-770. <https://doi.org/10.1086/323193>.

Nakano, N., Osanai, Y., Owada, M., Nam, T.N., Tsunogae, T., Toyoshima, T. and Binh, P., 2004, Decompression process of mafic granulite from eclogite to granulite facies under ultrahigh-temperature condition in the Kontum massif, central Vietnam. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99(4): 242-256. [10.2465/jmps.99.242](https://doi.org/10.2465/jmps.99.242).

Nakano, N., Osanai, Y., Owada, M., Tran Ngoc, N., Toyoshima, T., Binh, P., Tsunogae, T. and Kagami, H., 2007, Geologic and metamorphic evolution of the basement complexes in the Kontum Massif, central Vietnam. *Gondwana Research*, 12(4): 438-453. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2007.01.003>.

Nakano, N., Osanai, Y., Sajeev, K., Hayasaka, Y., Miyamoto, T., Minh, N.T., Owada, M. and Windley, B., 2010, Triassic eclogite from northern Vietnam: inferences and geological significance. *Journal of Metamorphic Geology*, 28(1): 59-76. <https://doi.org/10.1111/j.1525-1314.2009.00853.x>.

Nakano, N., Osanai, Y., Owada, M., Nam, T.N., Charusiri, P. and Khamphavong, K., 2013, Tectonic evolution of high-grade metamorphic terranes in central Vietnam:

Constraints from large-scale monazite geochronology. *Journal of Asian Earth Sciences*, 73: 520-539. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2013.05.010>.

Nakano, N., Osanai, Y., Owada, M., Binh, P., Hokada, T., Kaiden, H. and Bui, V.T.S., 2021, Evolution of the Indochina block from its formation to amalgamation with Asia: Constraints from protoliths in the Kontum Massif, Vietnam. *Gondwana Research*, 90: 47-62. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2020.11.002>.

Nam, T.N., Sano, Y., Terada, K., Toriumi, M., Van Quynh, P. and Dung, L.T., 2001, First SHRIMP U–Pb zircon dating of granulites from the Kontum massif (Vietnam) and tectonothermal implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19(1): 77-84. [https://doi.org/10.1016/S1367-9120\(00\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S1367-9120(00)00015-8).

Osanai, Y., Owada, M., Tsunogae, T., Toyoshima, T., Hokada, T., Long, T.V., Sajeev, K. and Nakanol, N., 2001, Ultrahigh-Temperature Pelitic Granulites from Kontum Massif, Central Vietnam: Evidence for East Asian Juxtaposition at ca. 250 Ma *Gondwana Research*, 4(4): 720-723. [https://doi.org/10.1016/S1342-937X\(05\)70518-9](https://doi.org/10.1016/S1342-937X(05)70518-9).

Osanai, Y., Nakano, N., Owada, M., Nam, T.N., Toyoshima, T., Tsunogae, T. and Binh, P., 2004, Permo-Triassic ultrahigh-temperature metamorphism in the Kontum massif, central Vietnam. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 99(4): 225-241. <https://doi.org/10.2465/jmps.99.225>.

Passchier, C.W. and Trouw, R.A.T., 1996, Microtectonics. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, 289 pp.

Ramsay, J.G. and Graham, R.H., 1970, Strain variation in shear belts. *Canadian Journal of Sciences*, 7 No3: 786-813.

Ramsay, J.G., 1982, Rock Ductility and its Influence on the Development of Tectonic Structures in Mountain Belts. In: Hsü, K.J. (Editor), *Mountain Building Processes*. Academic Press, London, Orlando, New York, San Diego, Boston, Austin, Tokyo, Sydney, Toronto, pp. 111-127.

Robin, P.-Y.F., 2002, Determination of fabric and strain ellipsoids from measured sectional ellipses — theory. *Journal of Structural Geology*, 24(3): 531-544. [https://doi.org/10.1016/S0191-8141\(01\)00081-5](https://doi.org/10.1016/S0191-8141(01)00081-5).

Roger, F., Maluski, H., Leyreloup, A., Lepvrier, C. and Truong Thi, P., 2007, U-Pb dating of high temperature metamorphic episodes

in the Kon Tum Massif (Vietnam). *Journal of Asian Earth Sciences*, 30(3-4): 565-572. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jseaes.2007.01.005>.

Tich, V.V., Vuong, N.V., Thi, P.T., Maluski, H. and Lepvrier, C., 2004, Ar-Ar age of mylonites and geodynamic significance of Tra Bong shear zone, middle Trung Bo. *Địa chất học*, 285(11-12): 143-149.

Tich, V.V., Maluski, H. and Vuong, N.V., 2007, Ar-Ar age of metamorphic and mylonitic rocks in northern part of the Kon Tum massif: evidence for the Indosinian movement along shear zones between Kon Tum massif and Truong Son belt. *VNU Journal of Science, Earth Sciences*, 23: 253-264. <http://elib.vnu.edu.vn/handle/123456789/1653>.

Tran, H.T., Hau, B.V., Thanh, N.X., Hiep, N.H. and Chi, N.T.K., 2023, Early Triassic Tectonic Evolution of the Northeastern Kontum Massif: New Constraints from the S-type Granite in Ba To Area, Quang Ngai Province, Central Vietnam: 521-533. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20463-0_33.

Tran, T.H., Zaw, K., Halpin, J.A., Manaka, T., Meffre, S., Lai, C.-K., Lee, Y., Le, H.V. and Dinh, S., 2014, The Tam Ky-Phuoc Son Shear Zone in central Vietnam: Tectonic and metallogenic implications. *Gondwana Research*, 26(1): 144-164. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2013.04.008>.

Tran, V.T., Faure, M., Nguyen, V.V., Bui, H.H., Fyhn, M.B.W., Nguyen, T.Q., Lepvrier, C., Thomsen, T.B., Tani, K. and Charusiri, P., 2020, Neoproterozoic to Early Triassic tectono-stratigraphic evolution of Indochina and adjacent areas: A review with new data. *Journal of Asian Earth Sciences*, 191: 104231. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2020.104231>.

Trị, T.V., (Editor), 2009. *Địa chất và tài nguyên Việt Nam* Nxb Khoa học và Công nghệ, 645 pp.

Trong, H.N., Dung, T.L., Ban, X.T., Pham, A.V.T., Thanh, X.N., Ha, N.T. and Ly, L.T.N., 2022, U-Pb zircon LA-ICP-MS and Hf composition in granitogneiss of Chu Lai body and its implication of the Kontum massif, central Vietnam. *Journal of Mining and Earth Sciences (Hanoi University of Mining and Geology)*, 63(4): 35-44. 10.46326/JMES.2022.63(4).04.

Trong, N.H., Zong, K., Liu, Y., Yuan, Y., Hieu, P.T., Dung, L.T. and Minh, P., 2021, Early Paleozoic Arc Magmatism and Accretionary Orogenesis in the Indochina Block, Southeast

Asia. *The Journal of Geology*, 129(1): 33-48. <https://doi.org/10.1086/713727>.

Usuki, T., Lan, C.-Y., Yui, T.-F., Iizuka, Y., Vu, T.V., Tuan, A.T., Okamoto, K., Wooden, J.L. and Liou, J.G., 2009, Early Paleozoic medium-pressure metamorphism in central Vietnam: evidence from SHRIMP U-Pb zircon ages. *Geosciences Journal*, 13: 245-256. <https://doi.org/10.1007/s12303-009-0024-2>.

Vollmer, F.W., 2018, EllipseFit: Strain and Fabric Analysis Software User Manual, Version 3.6.0.

Wang, Y., Cawood, P.A., Qian, X., Hieu, P.T., Yu, X., Xu, C. and Zhang, F., 2022, Archean records in the Kontum Complex (Central Vietnam) and implications for Precambrian crustal evolution in Indochina. *Precambrian Research*, 383: 106919. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2022.106919>.

Xu, C., Gan, C., Hieu, P.T., Qian, X., Minh, P., Zhang, F. and Wang, Y., 2022, Geochronology and Geochemistry of

Mesoproterozoic Mafic Rocks in the Kontum Complex and Its Implication for the Columbia Reconstruction. *Lithosphere*, 2022(1): 4967935. 10.2113/2022/4967935.

Yamaji, A., 2008, Theories of strain analysis from shape fabrics: A perspective using hyperbolic geometry. *Journal of Structural Geology*, 30(12): 1451-1465. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2008.07.011>.

Yamaji, A., 2013, Comparison of methods of algebraic strain estimation from Rf/φ data: A unified theory of 2D strain analysis. *Journal of Structural Geology*, 49: 4-12. <https://doi.org/10.1016/j.jsg.2013.01.011>.

Zhang, R.Y., Lo, C.-H., Chung, S.-L., Grove, M., Omori, S., Iizuka, Y., Liou, J. and Tri, T.V., 2013, Origin and Tectonic Implication of Ophiolite and Eclogite in the Song Ma Suture Zone between the South China and Indochina Blocks. *Journal of Metamorphic Geology*, 32(1): 49-62. DOI: 10.1111/jmg.12012.

Summary

Characterization of finite strain ellipsoid of the Late Permian-Early Triassic metamorphic complexes in the Kon Tum terrain

Luong Thi Thu Hoai¹, Nguyen Van Vuong¹, Bùi Văn Đông¹,

Vũ Tiến Thành², Trần Thị Thanh Nhân¹, Phan Đức Lễ³

(1) Faculty of Geology, VNU, Hanoi University of Science, Hanoi, Vietnam

(2) Information, Archives and Geological Museum Center, Department of Geology and Minerals of Viet Nam, Ministry of Agriculture and Environment

(3) The Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, Ministry of Agriculture and Environment

Corresponding author: vuongnv@gmail.com

The parameters of finite strain ellipsoid determined from the regional metamorphic rocks record the relevant tectonic regime. The ductilely deformed Late Permian-Early Triassic metamorphic rocks, formed at depth, are widely exposed in the Kon Tum terrane and record a long tectonic history. In order to characterize the Late Permian-Early Triassic tectonic regime for the Kon Tum terrane, 20 oriented samples of gneiss and crystalline schist were selected from the Kham Duc, Ngoc Linh, and Kan Nack complexes for analyzing the finite strain ellipse by Rf/Phi method and determination of the finite strain ellipsoid from a combination of 3 thin sections oriented perpendicularly to the three principal strain axes. The analysis results indicate that the Late Permian-Early Triassic metamorphic rocks in the Kon Tum terrane are characterized by 3-dimensional finite strain ellipsoids with maximum stretching axis X elongated in a northwest-southeast direction and a maximum shortening axis Z nearly vertically. These strain geometries are consistent with a northwest-southeast striking extensional regime during the Late Permian-Early Triassic with vertical shortening during exhumation of ductile rocks in the Kon Tum terrane.

Keywords: Finite strain ellipsoid, Kon Tum terrain, Kham Duc complex, Ngoc Linh complex, Kan Nack complex, Late Permian-Early Triassic deformation.