



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Μοντέλα Γένεσης Κοιτασμάτων

Ενότητα 2: Κοιτάσματα χρωμίτη

Μαρία Οικονόμου

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος

Κοιτάσματα χρωμίτη

Κοιτάσματα χρωμίτη σε εστρωμένες
διεισδύσεις

Εστρωμένες διεισδύσεις

- ✓ Bushveld Complex
- ✓ Stillwater Complex
- ✓ Great Dyke



Bushveld

Το σύμπλεγμα Bushveld είναι η μεγαλύτερη εστρωμένη διείσδυση στην γη

Κύρια πηγή:

- χρωμίου,
- βαναδίου και
- των στοιχείων της ομάδας του λευκοχρύσου (PGE).



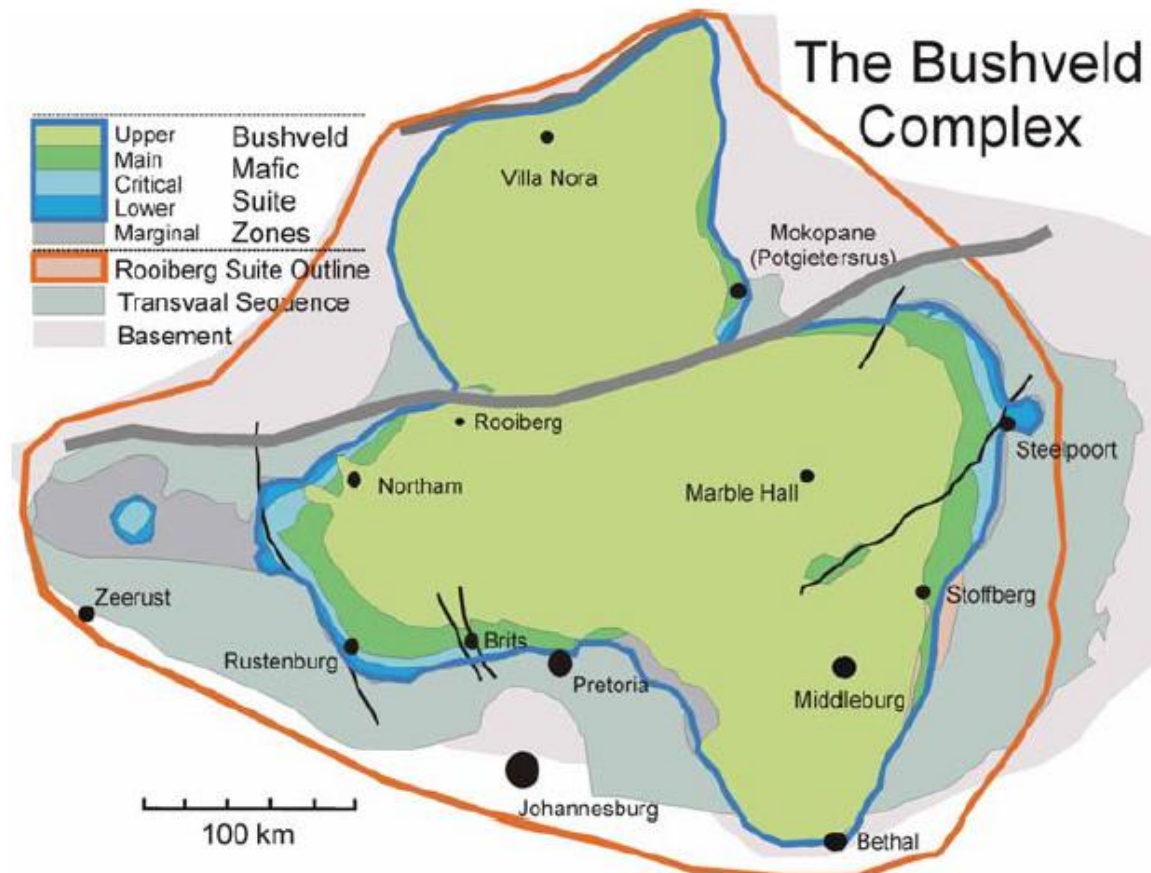
Εστρωμένες διεισδύσεις σε κρατονικές μάζες

Αρχαϊκής ηλικίας (2.500Μα)

Εστρωμένες διεισδύσεις

Σύμπλεγμα Bushveld

Το σύμπλεγμα Bushveld(1/2)

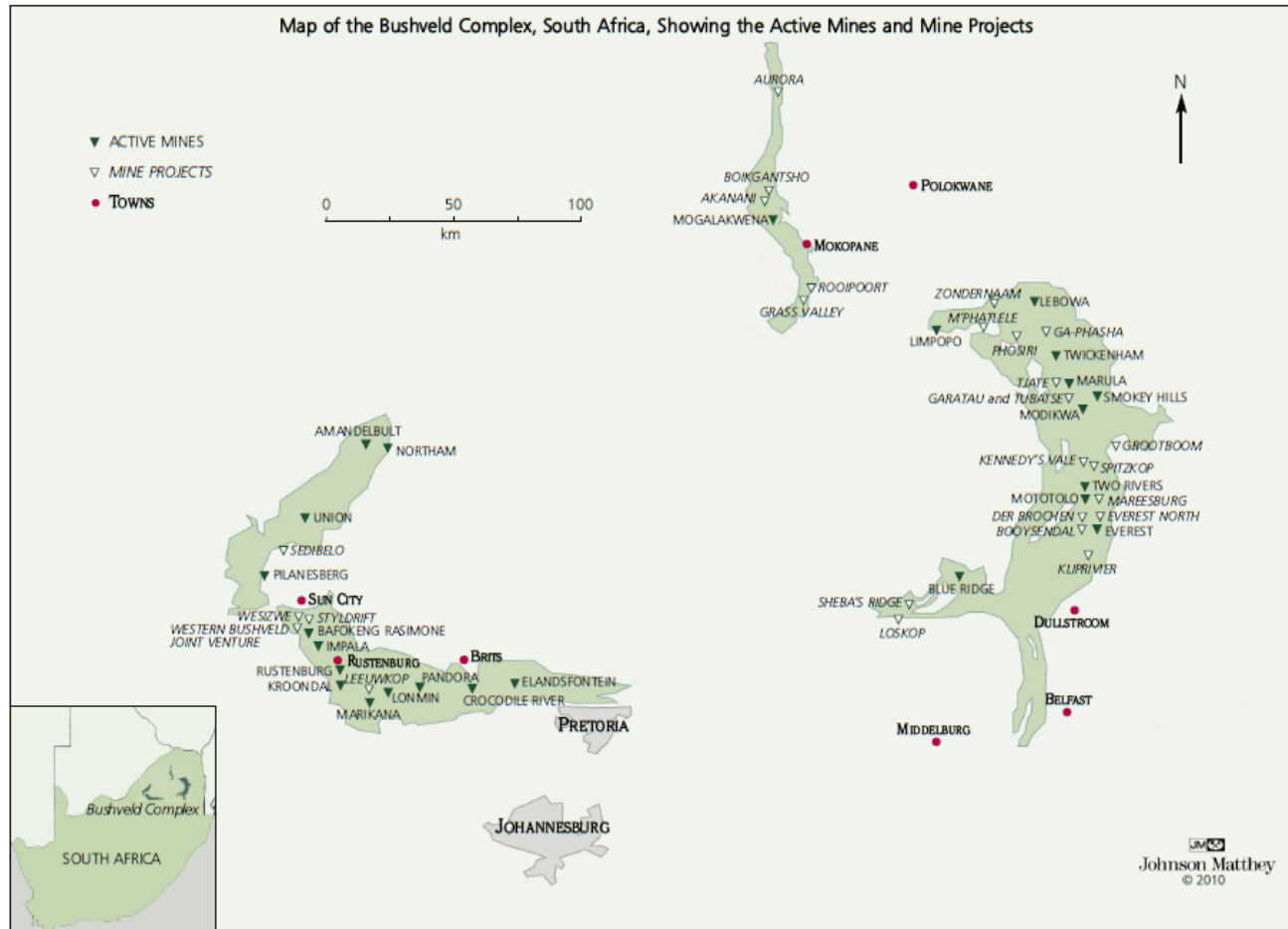


. Postulated extent of the original Rooiberg Volcanic Suite (Kruger, 2004)

Εικόνα 1



Το σύμπλεγμα Bushveld (2/2)



Εικόνα 2

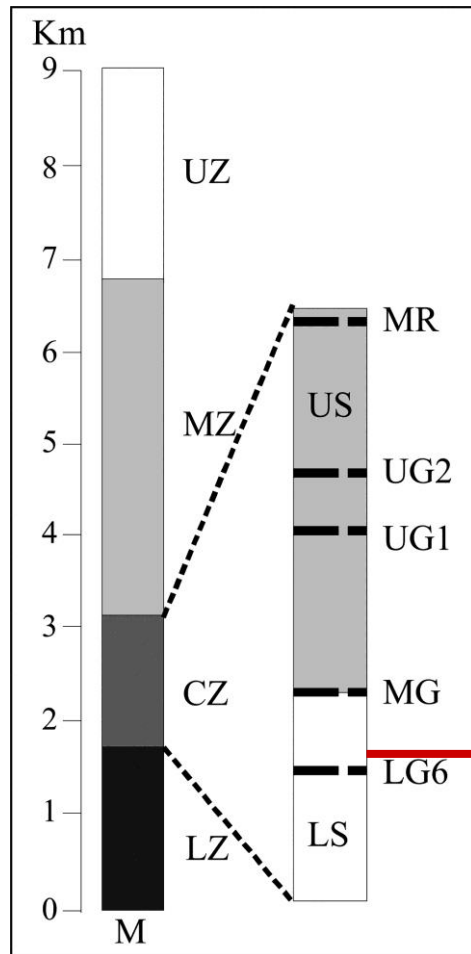


Το σύμπλεγμα Bushveld υποδιαιρείται σε 4 κύριες ζώνες:

- Fe-γάββροι και Fe-διορίτες της **ανώτερης ζώνης**
- νορίτες, γάββροι και ανορθοσίτες
- **κρίσιμη ζώνη**, η οποία φιλοξενεί τους αξιόλογους χρωμιτικούς ορίζοντες LG6 και τους PGE-πλούσιους ορίζοντες Merensky και UG-2.
- **κατώτερη** που αποτελείται κυρίως από βρονζιτίτες, χαρτσβουργίτες και δουνίτες



Κρίσιμη ζώνη

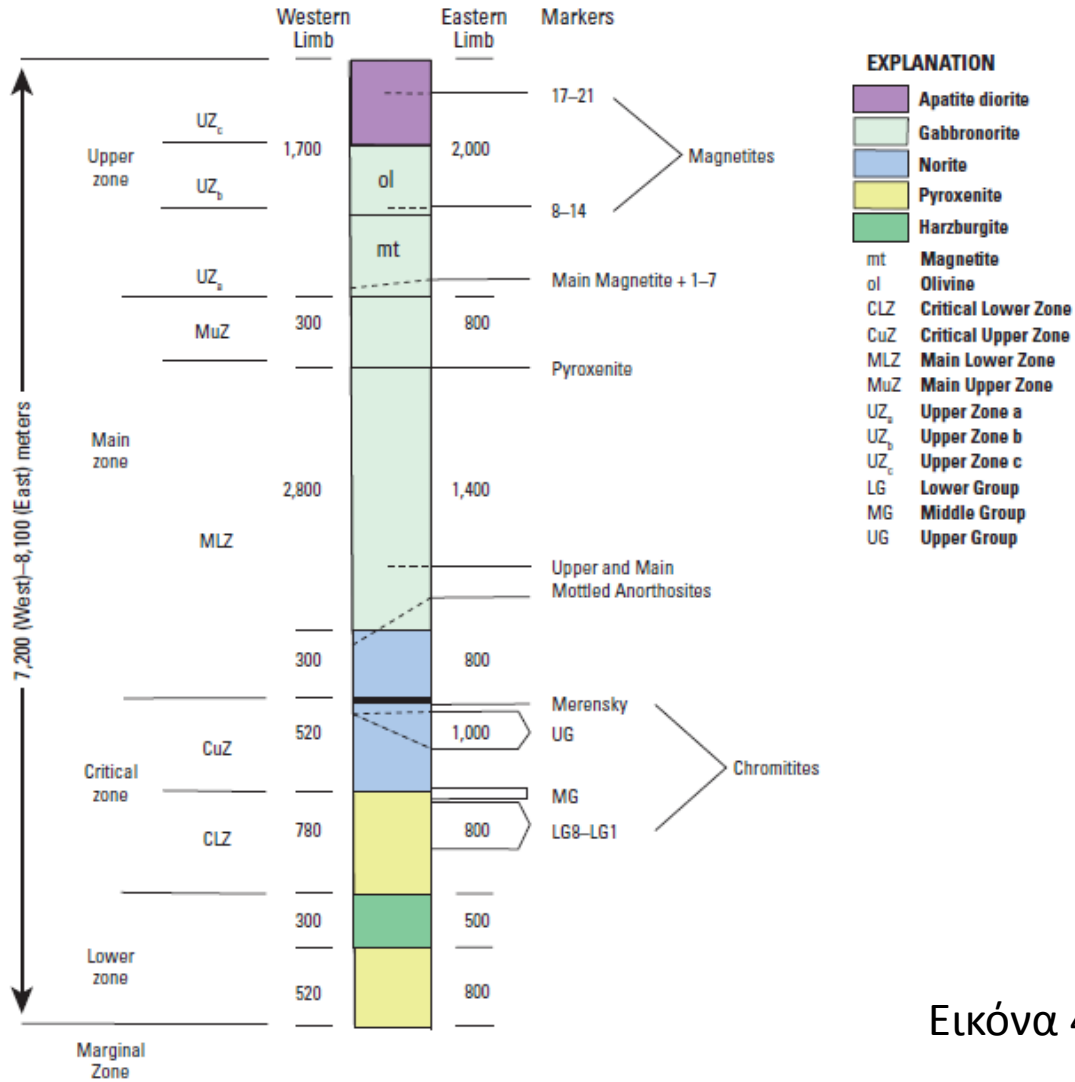


φιλοξενεί τους
αξιόλογους
χρωμιτικούς
ορίζοντες LG6

Εικόνα 3

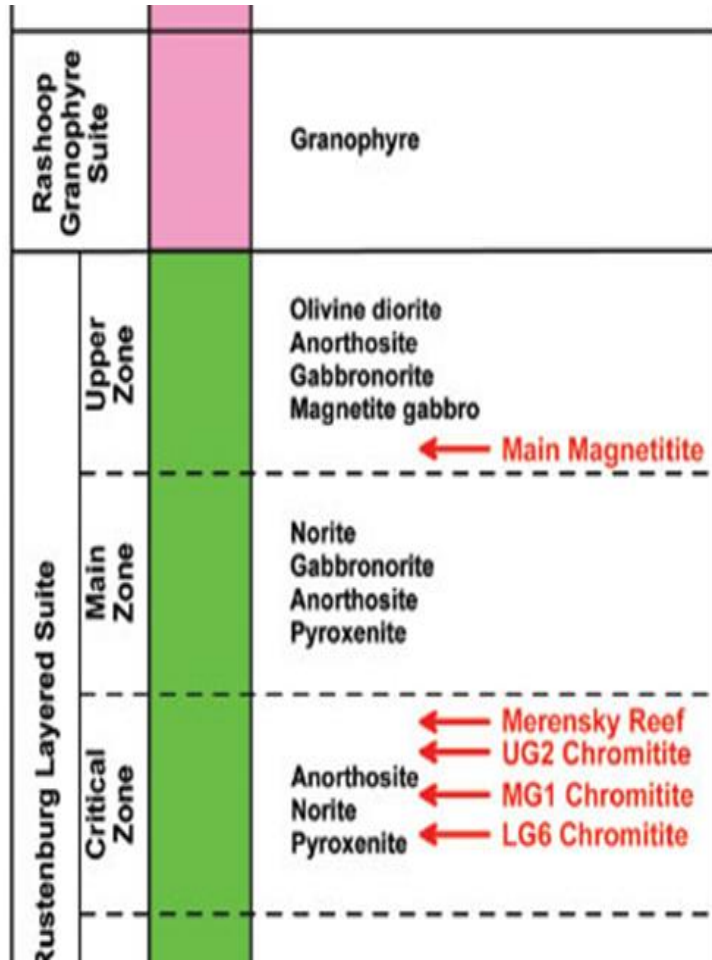


Κυκλικές ενότητες



Εικόνα 4

Μεταλλεύματα από την κρίσιμη ζώνη (1/2)



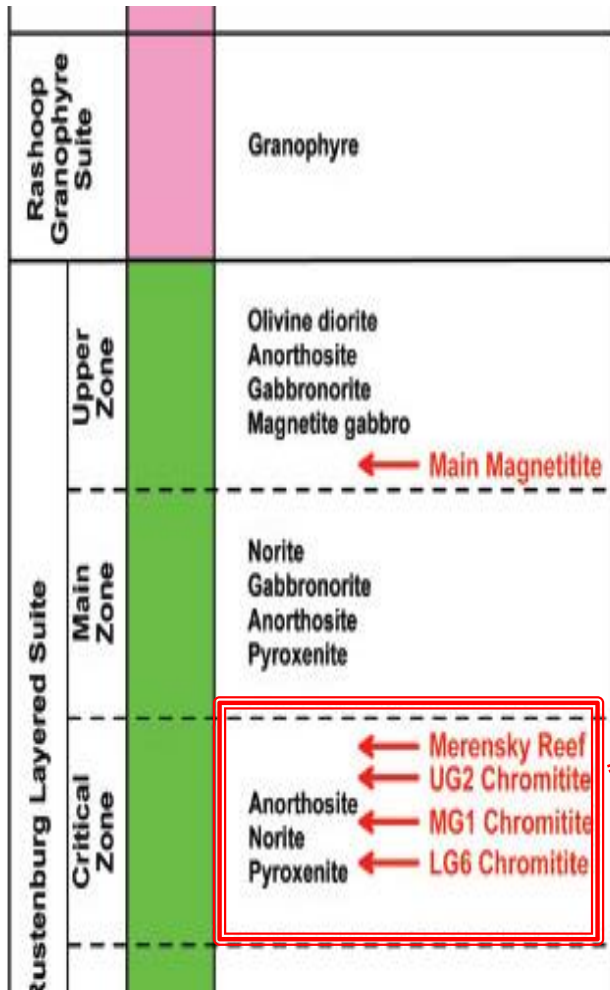
Εικόνα 6

Στρώματα μαγνητίτη

Εικόνα 5



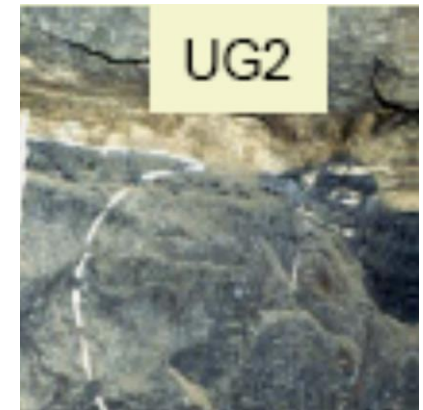
Μεταλλεύματα από την κρίσιμη ζώνη (2/2)



Εικόνα 7



Εικόνα 8



Εικόνα 9



Στρώματα χρωμίτη

Εικόνα 10

Ορίζοντες χρωμίτη από την κατώτερη ζώνη (LG)(1/2)



Figure 26. Outcropping of the Bushveld Lower Group 6 (LG6) chromitite seam. Photograph courtesy of Klaus J. Schulz, U.S. Geological Survey.

Εικόνα 11



Ορίζοντες χρωμίτη από την κατώτερη ζώνη (LG)(2/2)



Εικόνα 12



Χρωμίτης από την κατώτερη ζώνη (LG)



Εικόνα 13



Διάφοροι ιστολογικοί τύποι χρωμίτη

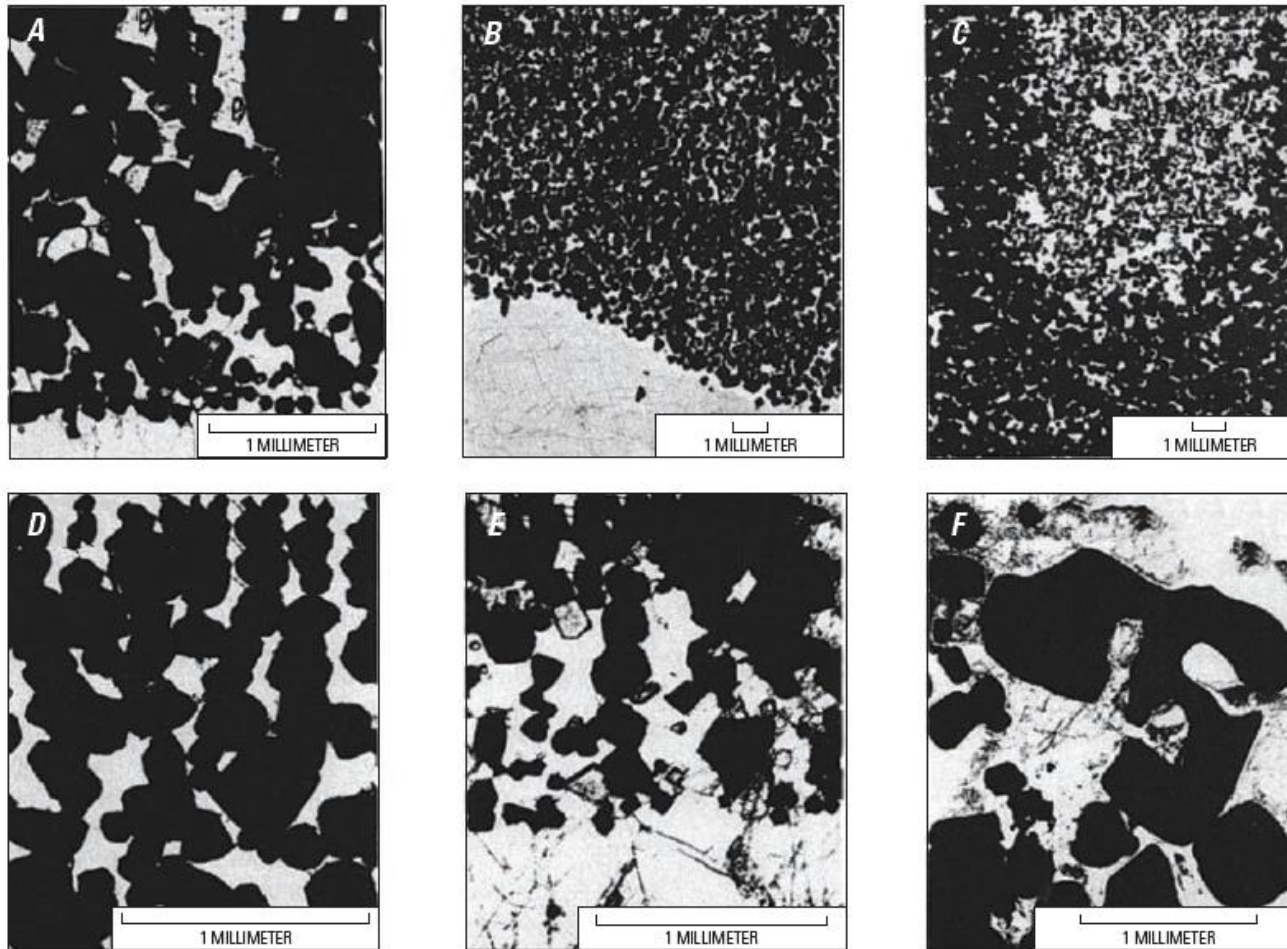


Figure 37. Photomicrographs of typical Bushveld chromite grains illustrating textural features. From Eales and Reynolds (1986, fig. 7) **Εικόνα 14**

Ο χρωμιτίτης UG1 στον ποταμό Dwars

Bushveld complex, UG reefs

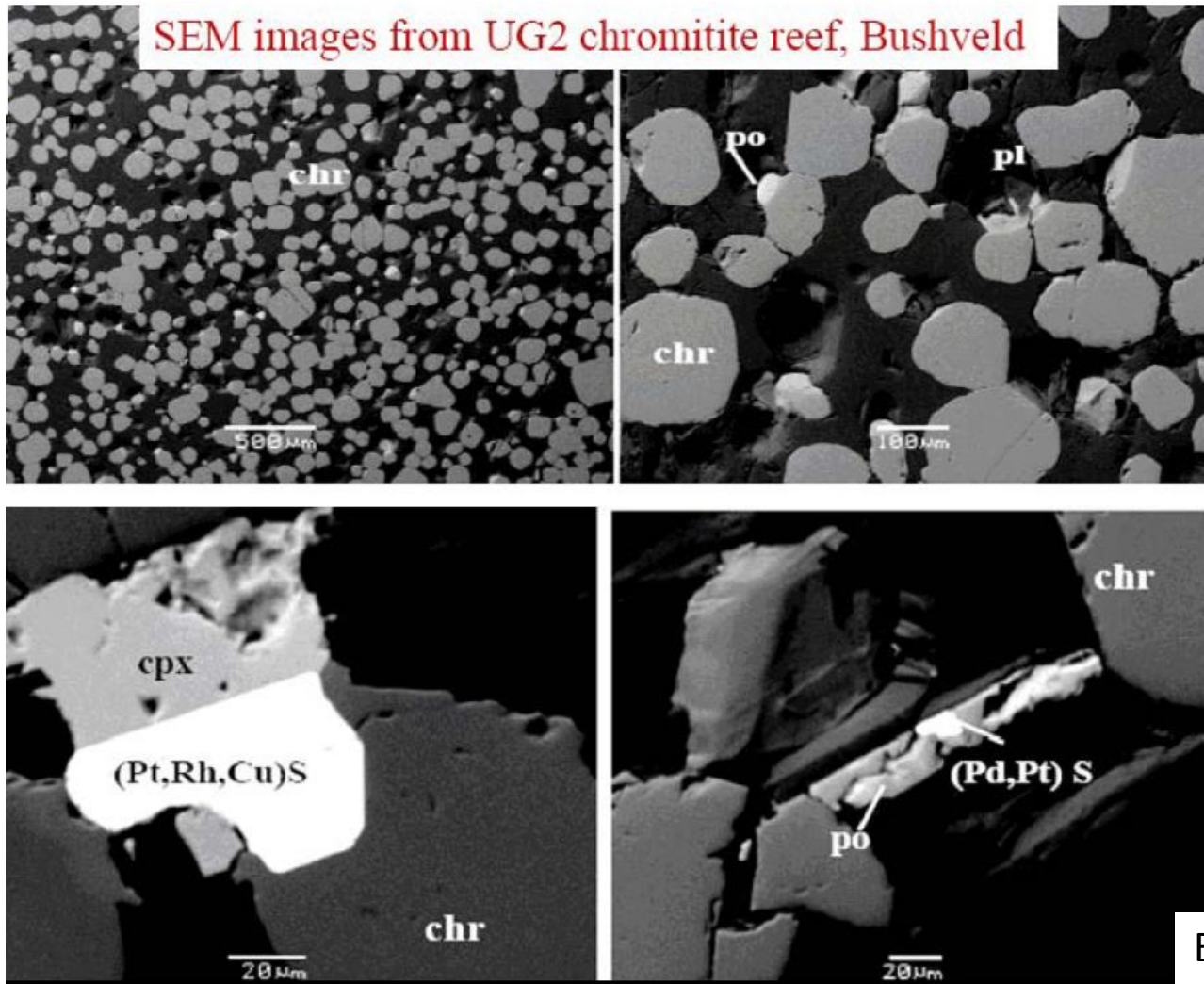


UG Chromitite reef
associated with
anorthosite

Εικόνα 15



Εικόνες από το SEM για τον χρωμιτίτη UG2 του Bushveld



Εικόνα 16

Χημική σύσταση χρωμίτη

Αναλύσεις από χρωμιτίτες της Κρίσιμης Ζώνης (1/2)

	26.	25.	24.	23.	22.	21.	20.	19.	18.
Δείγμα	61-46- 260	15-128	15-18	15-35-A- 2-1	15-35-B- 2	15-36-1	15-48	15-125- C-2	11-15-B
TiO ₂	1,29	0,62	0,89	1,01	1,24	1,19	1,14	0,93	0,97
FeO	23,86	22,20	19,64	22,13	22,77	21,83	23,31	21,48	23,61
MgO	7,45	8,47	10,20	8,32	8,38	9,16	7,48	9,12	7,60
Cr ₂ O ₃	44,77	45,74	41,62	43,48	43,82	43,66	44,13	43,01	43,86
Al ₂ O ₃	13,69	16,67	16,77	15,67	15,67	15,78	14,99	17,18	16,03
V ₂ O ₃	0,46	0,35	0,30	0,40	0,61	0,43	0,43	0,51	0,59
Fe ₂ O ₃	8,41	5,89	10,19	7,48	7,59	9,00	8,00	7,55	6,86
Total	99,93	99,92	99,61	98,49	100,06	101,05	99,84	99,78	99,52

Πίνακας 1



Χημική σύσταση χρωμίτη

Αναλύσεις από χρωμιτίτες της Κρίσιμης Ζώνης (2/2)

	17.	16.	15.	14.	13.	12.	11.	10.	9.
Δείγμα	8-146	11-16-1	15-148	15-19-83	J.M.	11-241	12-33	J-40	W-53-23
TiO ₂	0,67	0,72	0,75	0,84	0,63	0,58	0,61	0,55	0,52
FeO	19,54	20,84	20,70	19,83	20,18	19,03	19,22	18,96	17,99
MgO	10,23	9,60	9,57	10,02	9,53	10,07	10,20	10,21	10,82
Cr ₂ O ₃	42,16	42,18	43,04	43,36	46,45	47,31	47,42	47,70	49,43
Al ₂ O ₃	18,00	13,30	17,95	16,70	14,26	14,49	14,83	14,48	14,67
V ₂ O ₃	0,47	0,37	0,33	0,33	0,38	0,23	0,27	0,27	0,22
Fe ₂ O ₃	8,27	8,11	7,25	8,32	8,54	7,44	7,35	7,31	5,61
Total	99,34	100,12	99,15	99,39	99,97	99,15	99,89	99,48	99,26

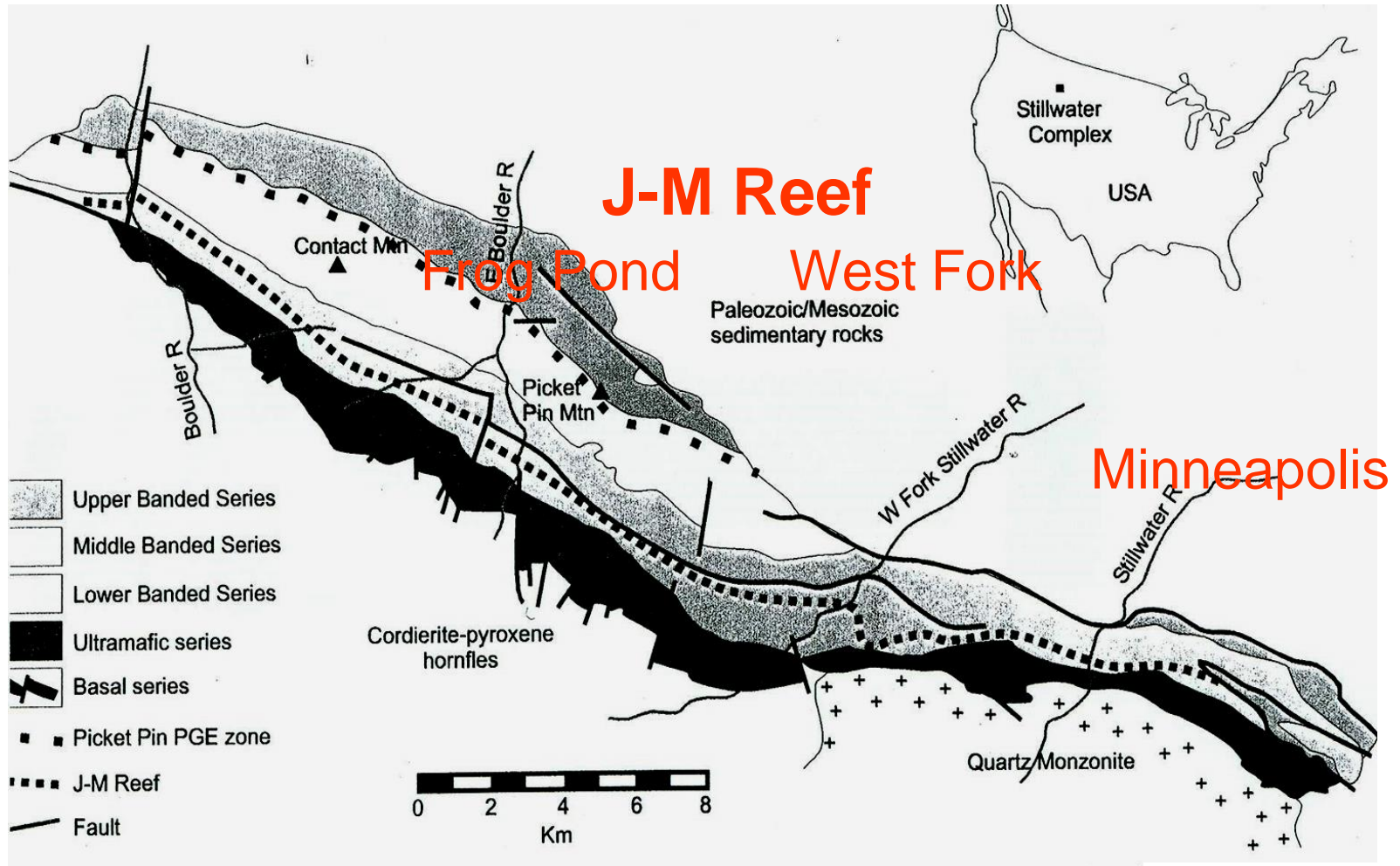
Πίνακας 2



Εστρωμένες διεισδύσεις

Σύμπλεγμα Stillwater

Το σύμπλεγμα Stillwater (1/2)



Εικόνα 17

Το σύμπλεγμα Stillwater (2/2)

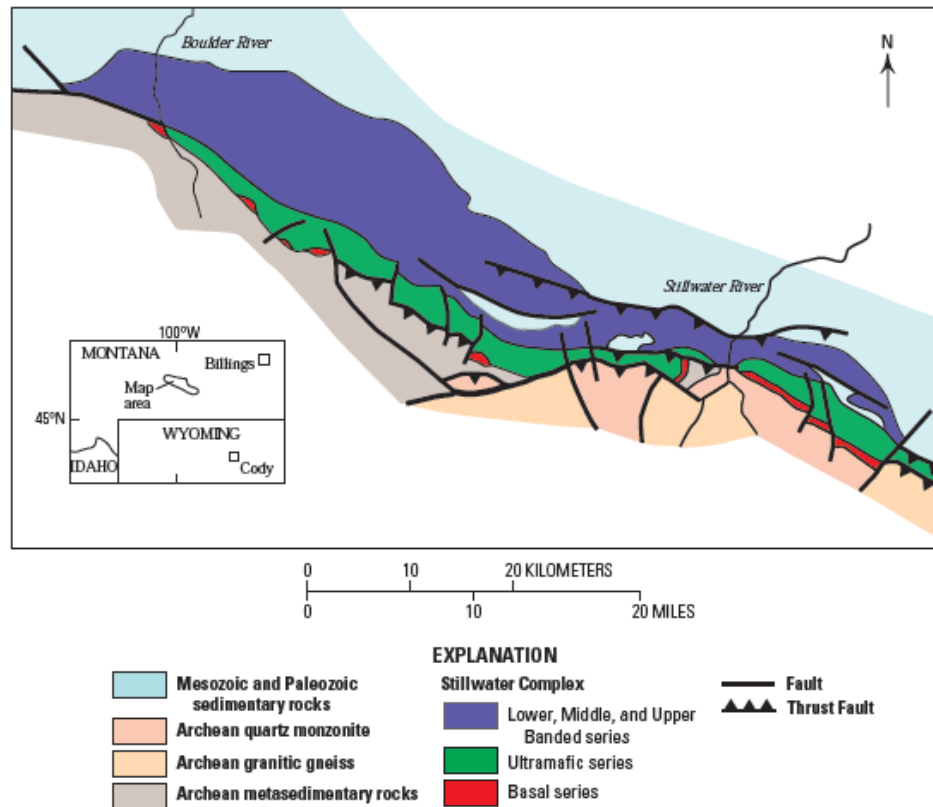
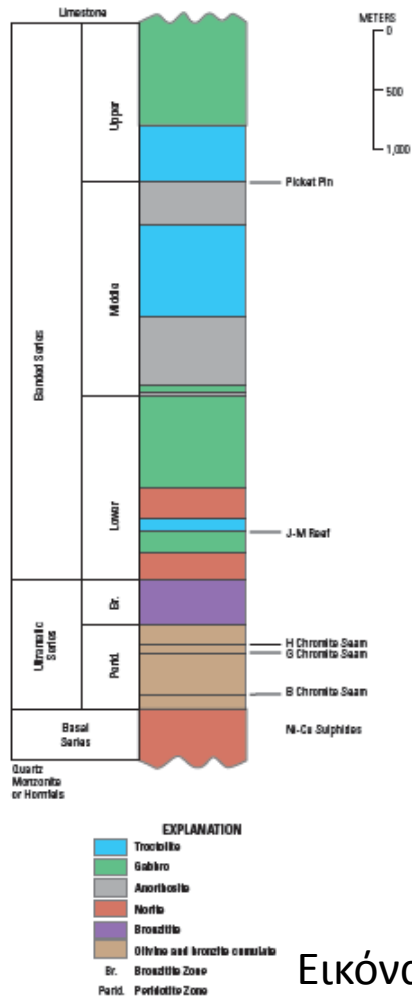


Figure 5. Generalized geologic map of the Stillwater Complex, Montana. Modified from Campbell and Murck (1993).

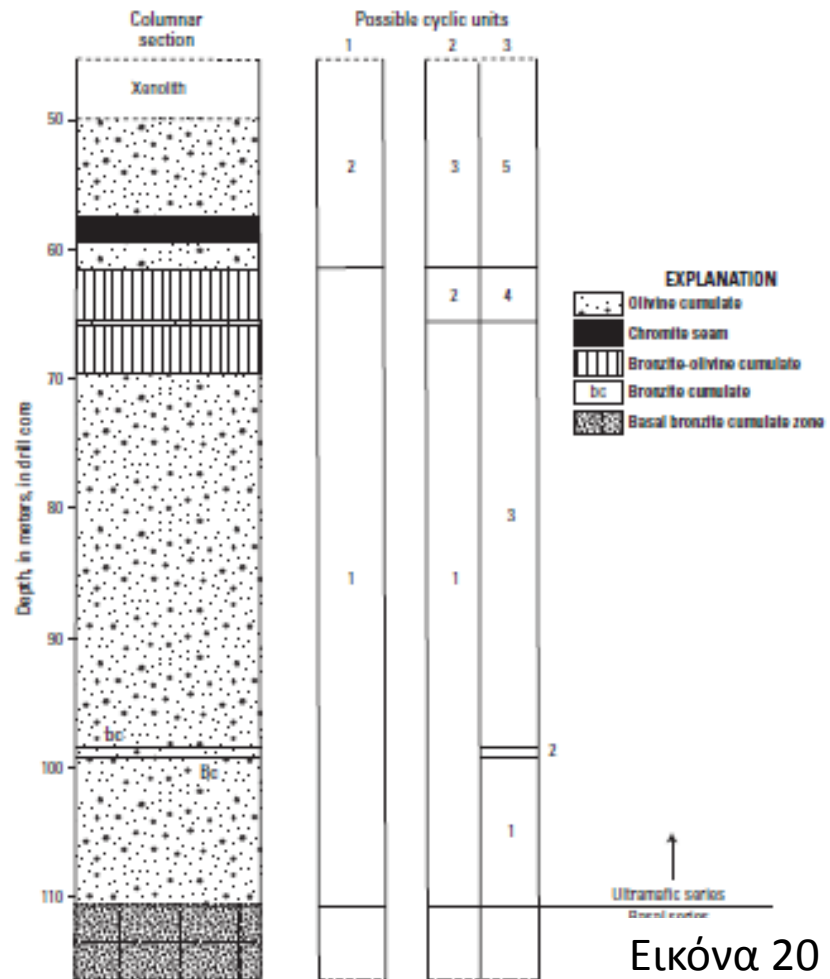
Εικόνα 18

Στρωματογραφική στήλη, Stillwater

Η γενετική σημασία των κυκλικών ενοτήτων στην μεταλλογένεση του χρωμίτη



Εικόνα 19



Εικόνα 20

Ορίζοντες χρωμίτη



Figure 27. Typical chromite-bearing rock from the Stillwater Complex. Photograph courtesy of Bruce Lipin, U.S. Geological Survey.

Εικόνα 21

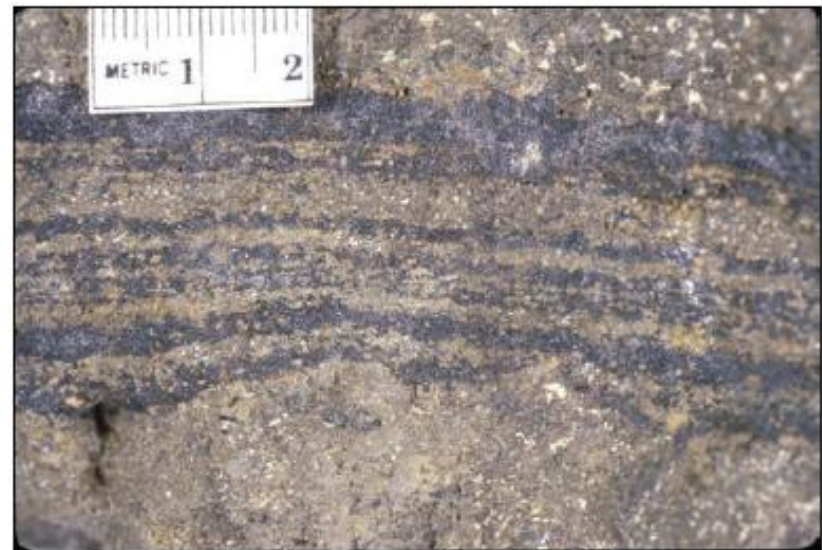


Figure 29. Thin chromite-bearing seams (black) located in the Stillwater Complex. Photograph courtesy of Michael Zientek, U.S. Geological Survey.

Εικόνα 22



Εστρωμένες διεισδύσεις

Σύμπλεγμα Great Dyke

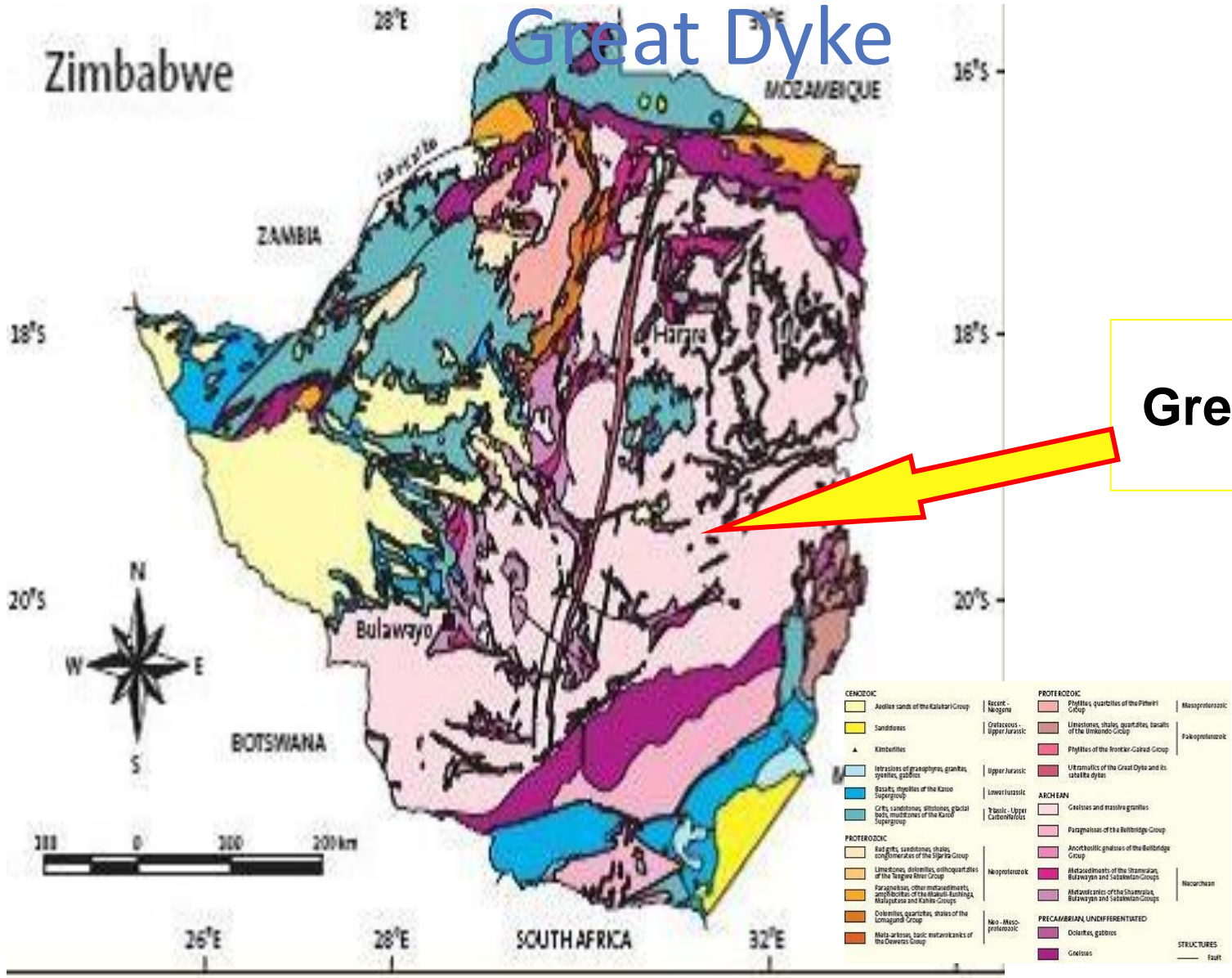
Γεωγραφική θέση κοιτασμάτων Bushveld και Great Dyke



Εικόνα 23



Great Dyke

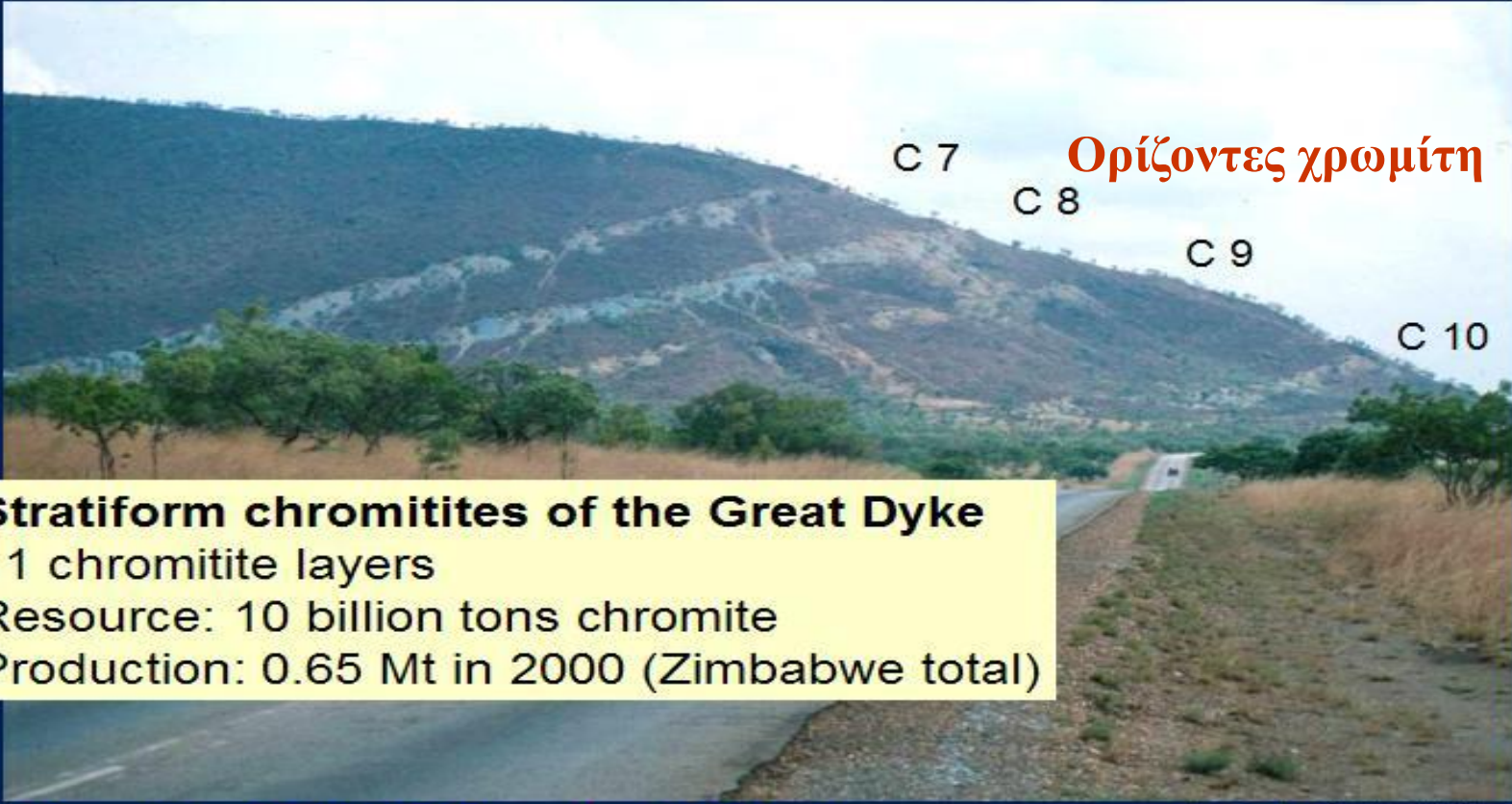


Great Dyke

Εικόνα 24



Εστρωμένοι χρωμιτίτες του Great Dyke



Ορίζοντες χρωμίτη

C 7
C 8
C 9
C 10

Stratiform chromitites of the Great Dyke
11 chromitite layers
Resource: 10 billion tons chromite
Production: 0.65 Mt in 2000 (Zimbabwe total)

Chromitites C 7 – C 10, south of Mutorashanga

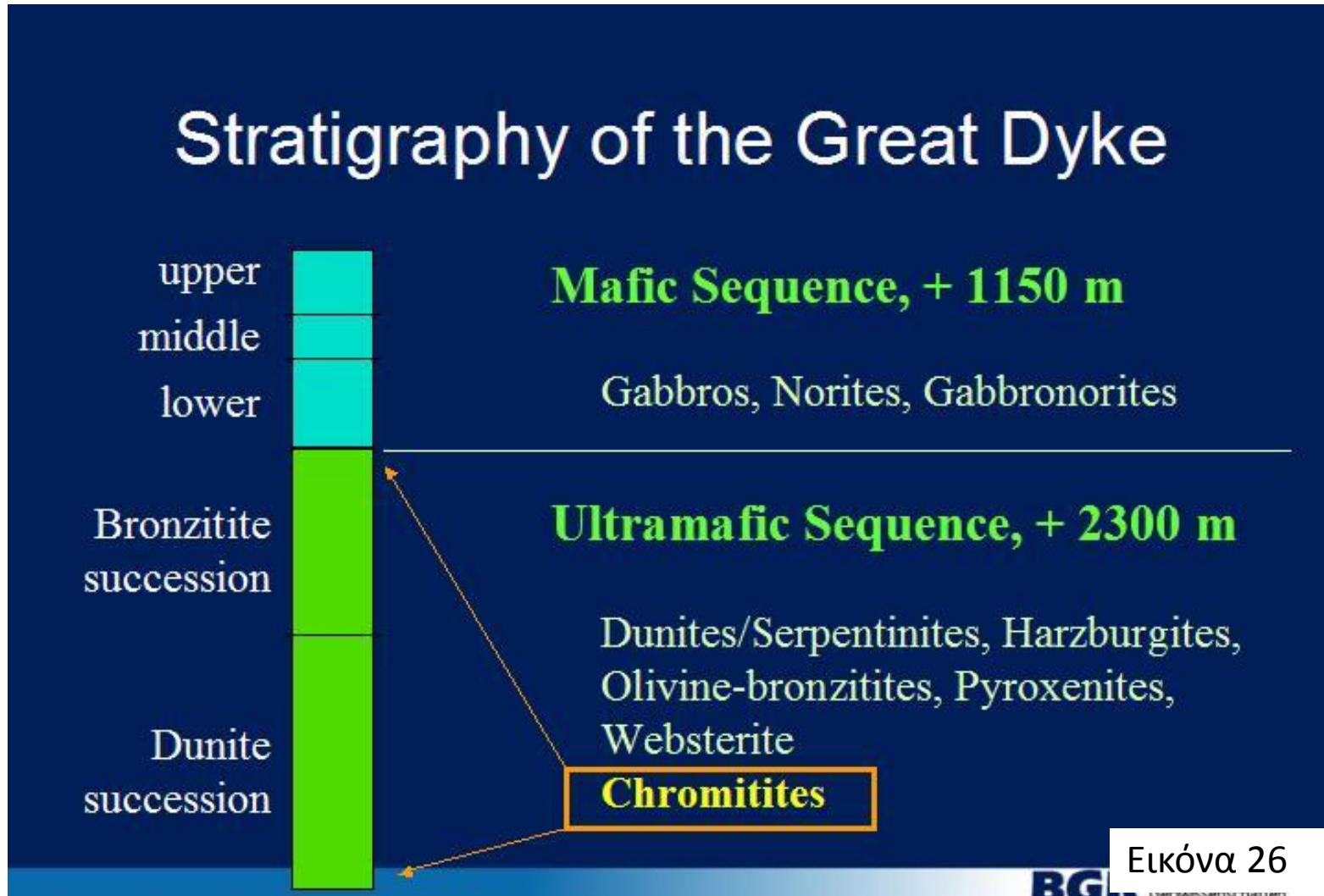
BGR Bundesanstalt für
Geowissenschaften
und Rohstoffe
GEOZE

1

Εικόνα 25



Στρωματογραφική στήλη του Great Dyke

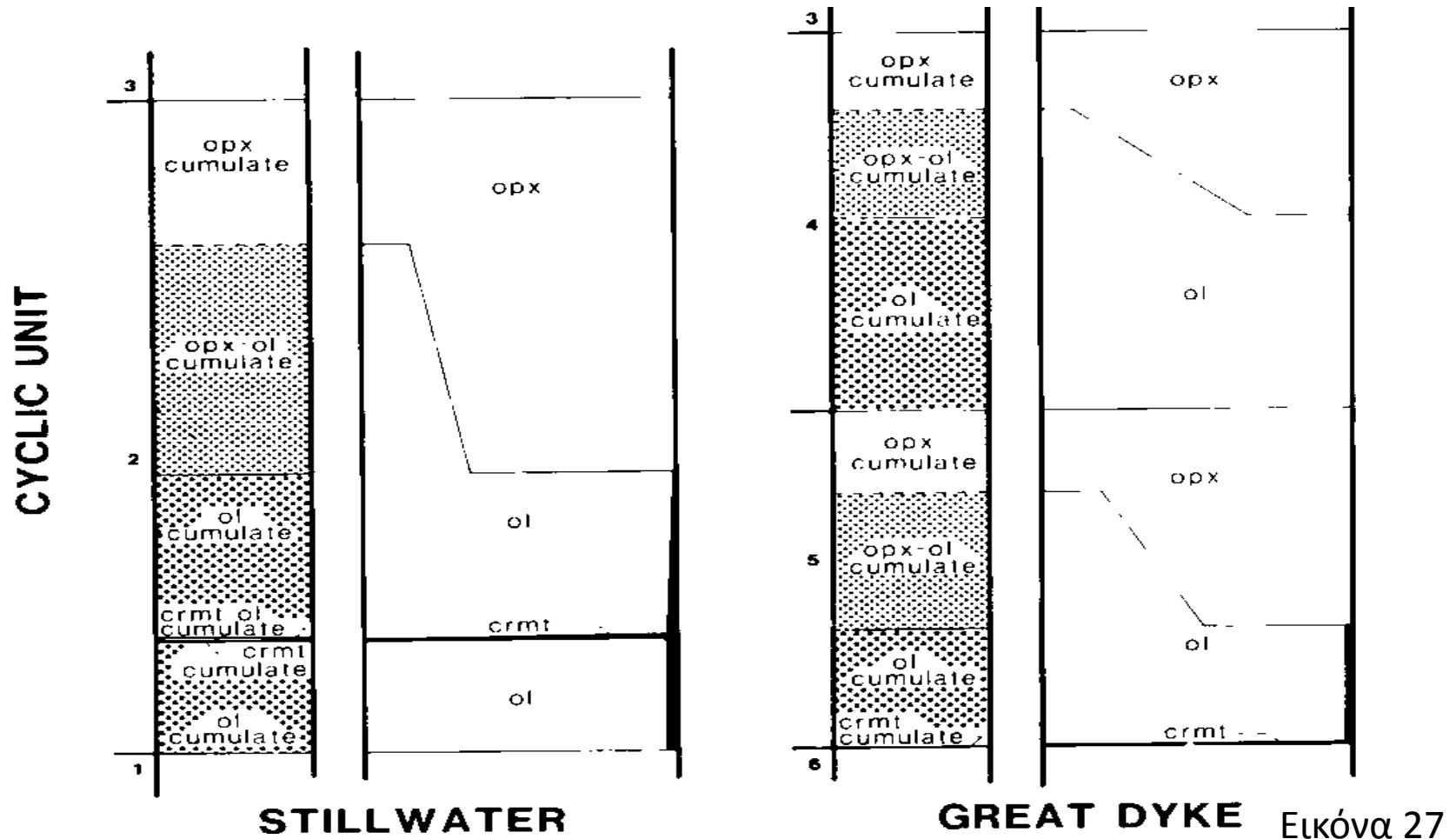


Εικόνα 26

BGL



Οι κυκλικές ενότητες αποτελούν κοινό χαρακτηριστικό των εστρωμένων διεισδύσεων

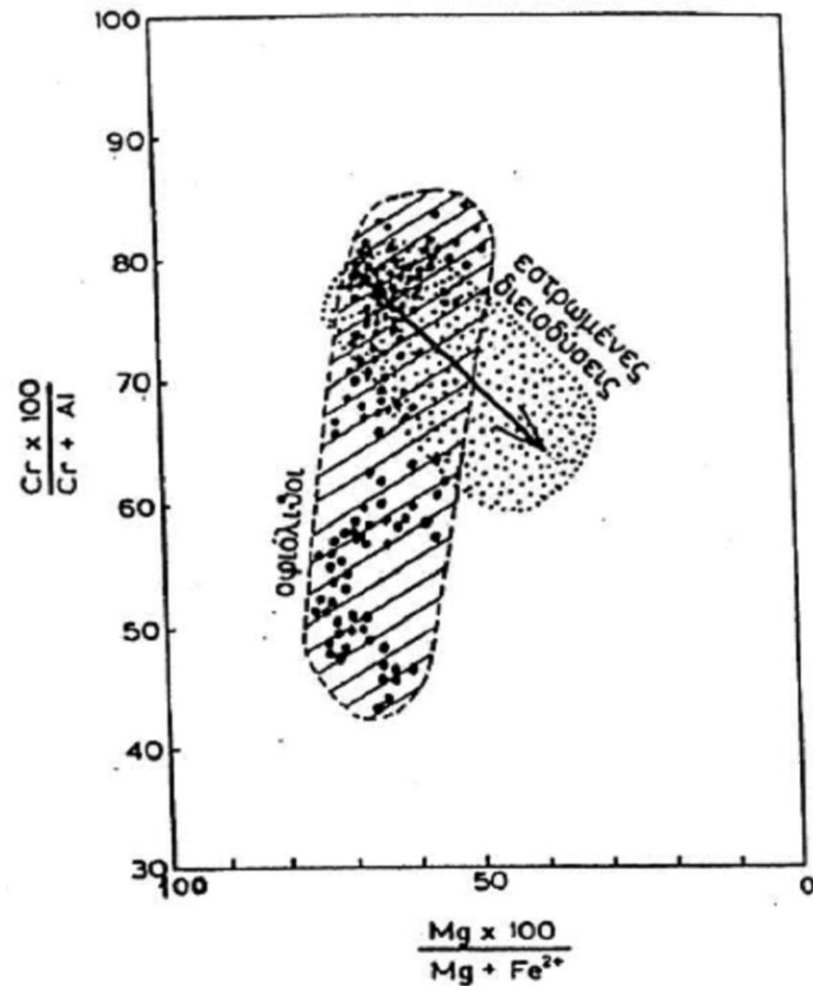


Πώς σχηματίζονται τα κοιτάσματα χρωμίτη;

- Κλασματική κρυστάλλωση
- Κλασματική κρυστάλλωση και αφομοίωση πετρωμάτων στον γήινο φλοιό
- Ανάμειξη μαγμάτων



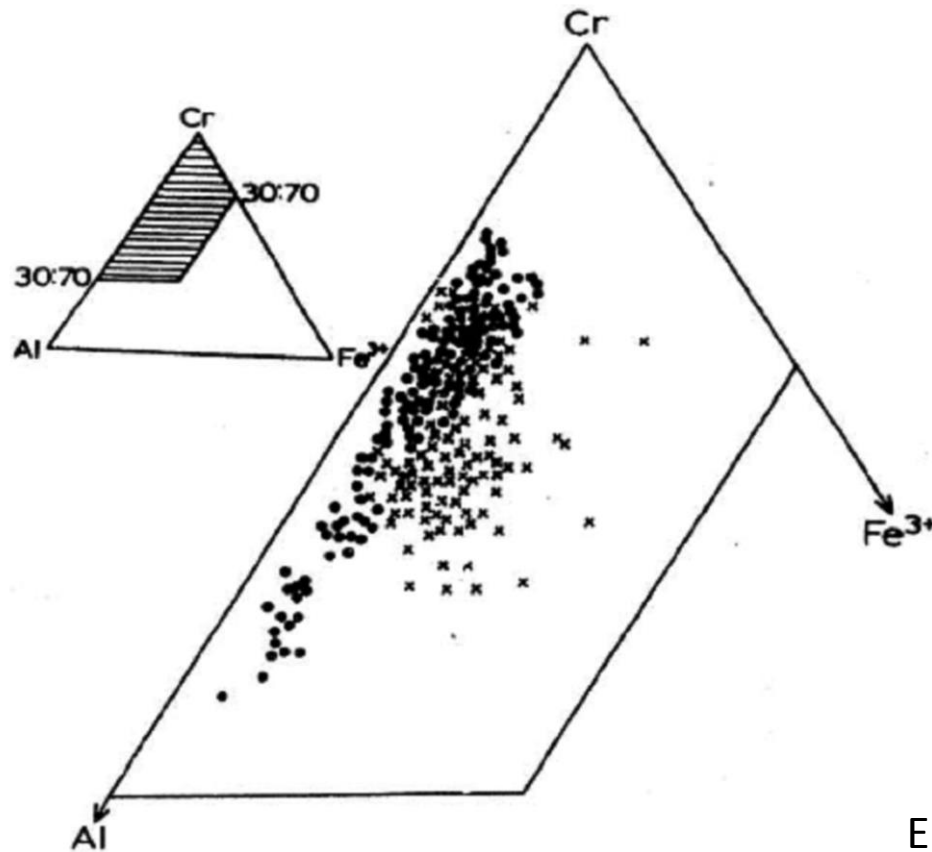
Σύγκριση χημικής σύστασης χρωμίτη σε οφιολιθικά συμπλέγματα και εστρωμένες διεισδύσεις (1/3)



Εικόνα 28

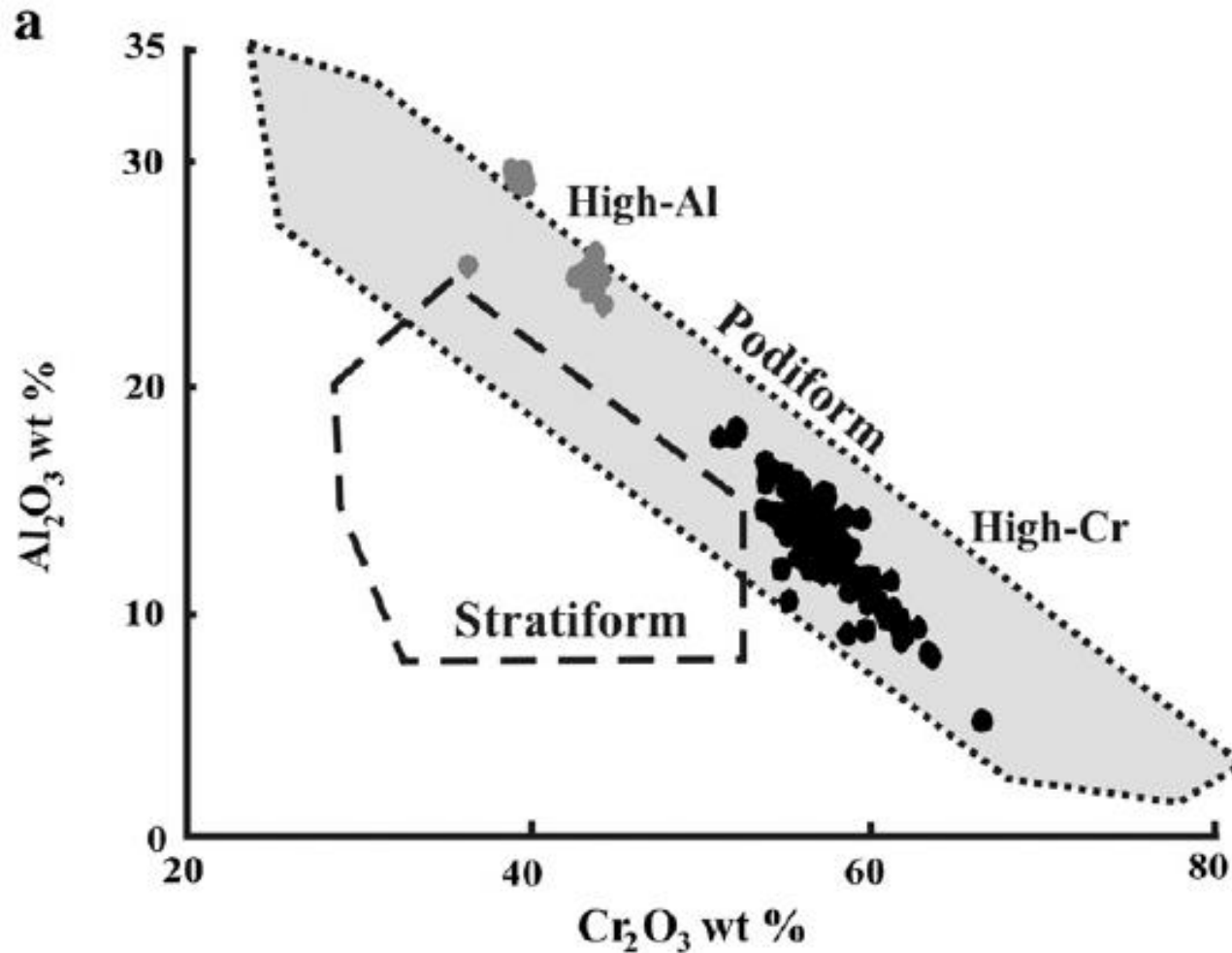


Σύγκριση χημικής σύστασης χρωμίτη σε οφιολιθικά συμπλέγματα και εστρωμένες σεισδύσεις (2/3)



Εικόνα 29

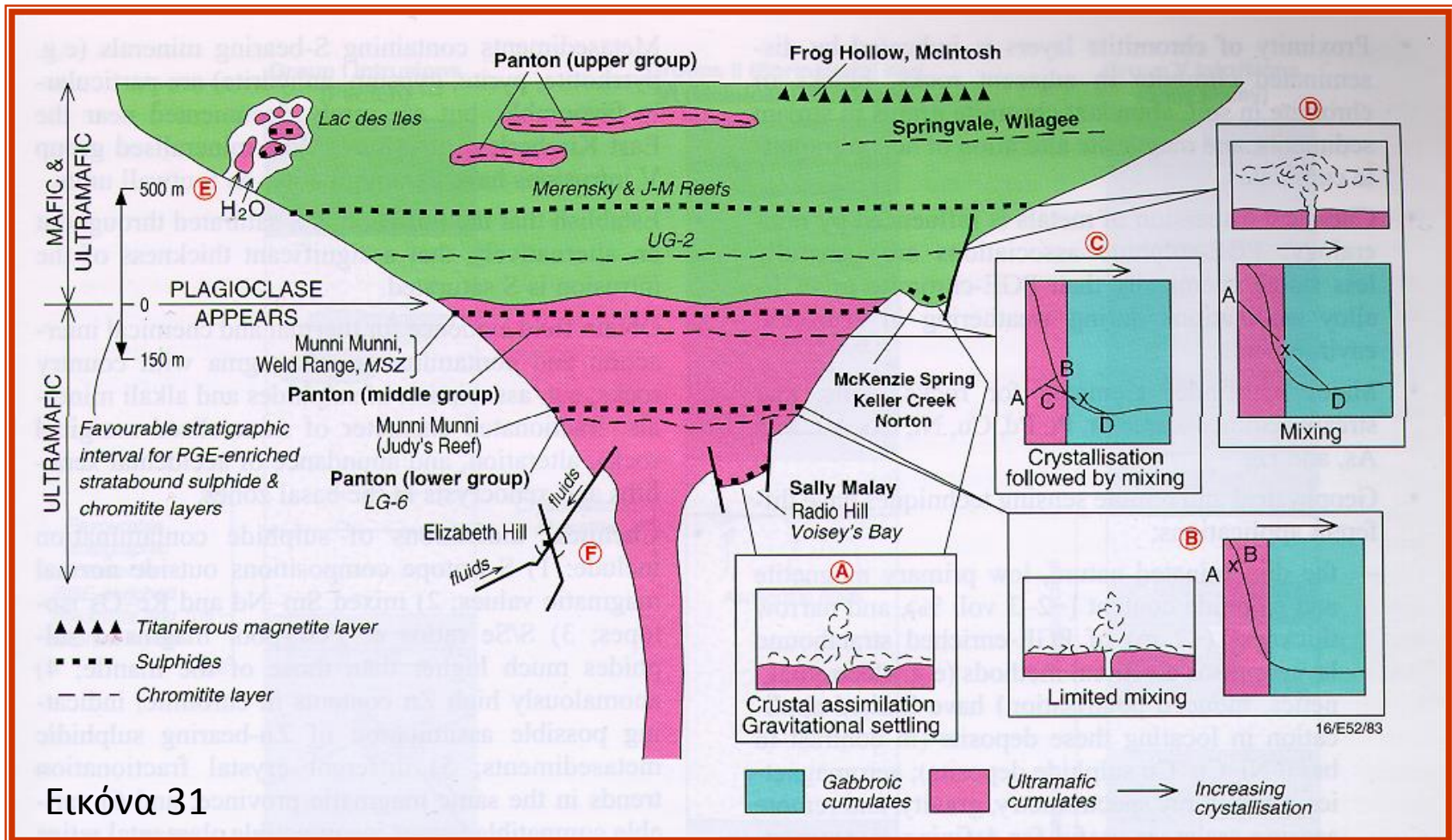
Σύγκριση χημικής σύστασης χρωμίτη σε οφιολιθικά συμπλέγματα και εστρωμένες διεισδύσεις (3/3)



Εικόνα 30

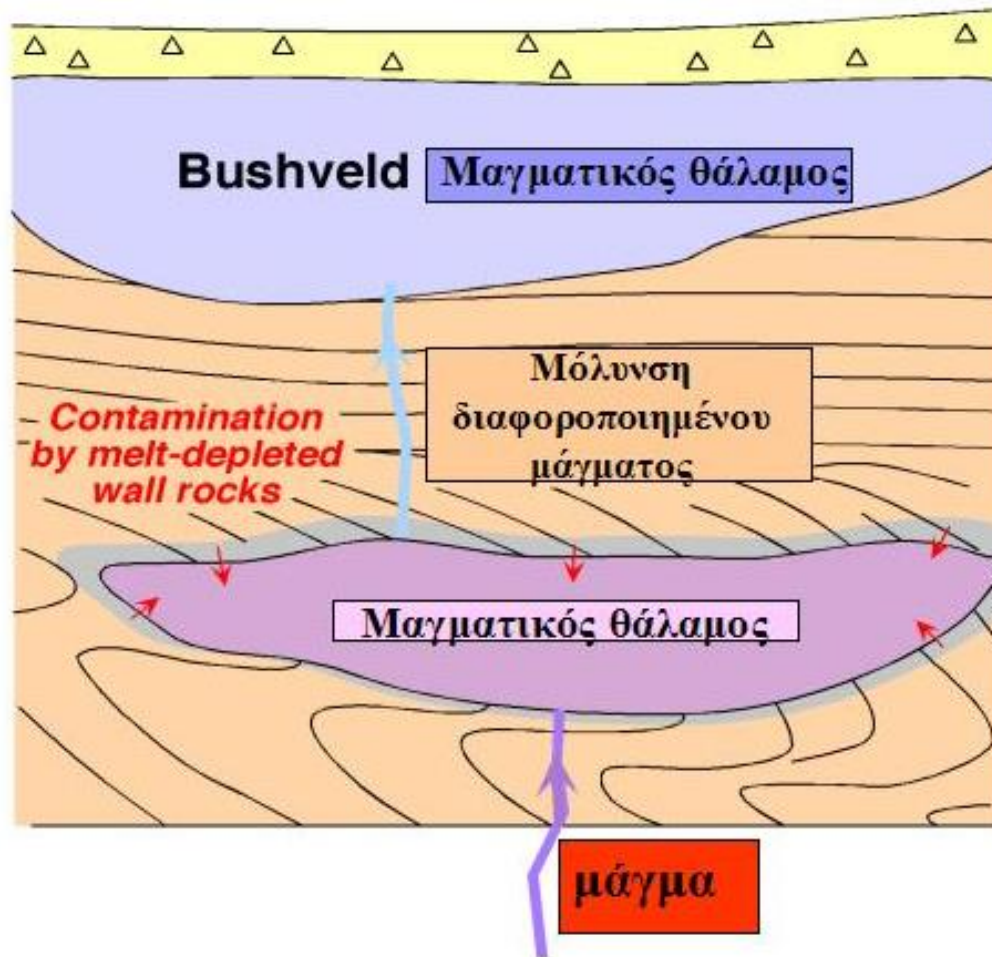


Μοντέλο γένεσης χρωμίτη στο Bushveld /σε εστρωμένες διεισδύσεις



Εικόνα 31

Το Bushveld είναι ένα ανοιχτό σύστημα που τροφοδοτείται από ένα μαγματικό θάλαμο μεγάλου βάθους όπου το μάγμα μολύνεται



Εικόνα 32



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών. Μαρία Οικονόμου, Καθηγήτρια. «Μοντέλα Γένεσης Κοιτασμάτων. Κοιτάσματα χρωμίτη σε εστρωμένες διεισδύσεις». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/GEOL15/>.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 1: Το σύμπλεγμα Bushveld. Copyright School of Geosciences, University of the Witwatersand. Πηγή: The Bushveld Large Igneous Province. Σύνδεσμος: <http://www.largeigneousprovinces.org/>

Εικόνα 2: Το σύμπλεγμα Bushveld. Copyright Johnson Matthey 2015. Πηγή: The platinum group elements deposits of the Bushveld Complex in South Africa. Platinum Metals Rev. 2010, 54 (4) 205. Σύνδεσμος: <http://www.technology.matthey.com>

Εικόνα 3: Στρωματογραφική ακολουθία συμπλέγματος Bushveld. Copyright Schweizerbart Science Publishers. Σύνδεσμος: <http://eurjmin.geoscienceworld.org>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 4: Κυκλικές ενότητες. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 5/7: Μετάλλευμα κύριας ζώνης. Copyright M.Q.W Jones, School of Geosciences, University of the Witwatersrand, Johannesburg. Πηγή: Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. Σύνδεσμος: <http://www.scielo.org.za/>

Εικόνα 6: Μαγνητίτης της ανώτερης ζώνης. Ανοιχτή διανομή. Σύνδεσμος: <http://all-geo.org/highlyallochthonous/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 8: Ορίζοντας Merensky. Copyright reacearchgate.net 2008-2015. Platinum mineralization, Great Dyke and Bushveld Complex-the fate of PGM from sulfide ores via the weathering cycle (oxide ores) into placers. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Σύνδεσμος: <http://www.researchgate.net/>

Εικόνα 9: Ορίζοντας UG2. Copyright reacearchgate.net 2008-2015. Platinum mineralization, Great Dyke and Bushveld Complex-the fate of PGM from sulfide ores via the weathering cycle (oxide ores) into placers. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Σύνδεσμος: <http://www.researchgate.net/>

Εικόνα 10: Ενδιαστρώσεις χρωμίτη. Copyright American Geophysical Union 2015. Σύνδεσμος: <http://blogs.agu.org/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 11/12: Ορίζοντες χρωμίτη από την κατώτερη ζώνη. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 13: Χρωμίτης από την κατώτερη ζώνη. Copyright Mineralogical Association of Canada. Πηγή: Exploration for platinum-group element deposits. Short courses series, vl. 35. Editor J.M. Mungall

Εικόνα 14: Διάφοροι ιστολογικοί τύποι χρωμίτη. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 15: Ο χρωμιτίτης UG1 στον ποταμό Dwars. Copyright Regents of the University of Minnesota 2015. Σύνδεσμος: <http://www.d.umn.edu/>

Εικόνα 16: Εικόνες από το SEM για τον χρωμιτίτη UG2 του Bushveld. Copyright Mineralogical Association of Canada. Πηγή: Exploration for platinum-group element deposits. Short courses series, vl. 35. Editor J.M. Mungall

Εικόνα 17: Το σύμπλεγμα Stillwater. Copyright Mineralogical Association of Canada 2015. Πηγή: petrographic and geochemical characteristics of postmagmatic hydrothermal alteration and mineralization in the J-M Reef, Stillwater Complex, Montana. Canadian Mineralogist 2004, 42:261-277. Σύνδεσμος: <http://www.canmin.org>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 18: Γεωλογικός χάρτης συμπλέγματος Stillwater. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 19/20: Στρωματογραφική στήλη, Stillwater. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 21/22: Ορίζοντες χρωμίτη. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 23: Χάρτης γεωγραφικής θέσης κοιτασμάτων Bushveld και Great dyke. Copyright Ilike2learn.com. Σύνδεσμος: <http://www.ilike2learn.com/>

Εικόνα 24: Γεωλογικός χάρτης της Ζιμπάμπουε. Copyright El Source Book 2015. Σύνδεσμος: <http://www.eisourcebook.org>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 25: Εστρωμένοι χρωμιτίτες του Great Dyke. Copyright reacearchgate.net 2008-2015. Platinum mineralization, Great Dyke and Bushveld Complex-the fate of PGM from sulfide ores via the weathering cycle(oxide ores) into placers. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Σύνδεσμος: <http://www.researchgate.net/>

Εικόνα 26: Στρωματογραφική στήλη του Great Dyke. Copyright reacearchgate.net 2008-2015. Platinum mineralization, Great Dyke and Bushveld Complex-the fate of PGM from sulfide ores via the weathering cycle(oxide ores) into placers. Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR). Σύνδεσμος: <http://www.researchgate.net/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (8/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 27: Σύγκριση κυκλικών ενοτήτων Stillwater και Great Dyke. Copyright Springer-Verlag. Πηγή: Magmatic sulfide deposits; Geology, geochemistry and exploration. Edited by A.J. Naldrett, 2004

Εικόνα 30: Διάγραμμα $Al_2O_3-Cr_2O_3$ για τη σύσταση των χρωμιτών. Copyright Elsevier B.V. Πηγή: Chromite and PGE geochemistry of the Elekdağ Ophiolite (Kastamonu, Northern Turkey): Implications for deep magmatic processes in a supra-subduction zone setting. Ore Geology Reviews 57 (2014), pp 216-228

Εικόνα 31: Μοντέλο γένεσης χρωμίτη σε εστρωμένες διεισδύσεις. Copyright Springer-Verlag. Πηγή: Magmatic sulfide deposits; Geology, geochemistry and exploration. Edited by A.J. Naldrett, 2004



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (9/9)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Πίνακες

Πίνακας 1-2: Χημική σύσταση χρωμίτη. Αναλύσεις από χρωμιτίτες της Κρίσιμης Ζώνης. Πηγή: Chromite in the central sector of the Eastern Bushveld Complex, South Africa. American Mineralogist 1977, 62:1082-1096. Σύνδεσμος: <http://www.minsocam.org/>

