



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

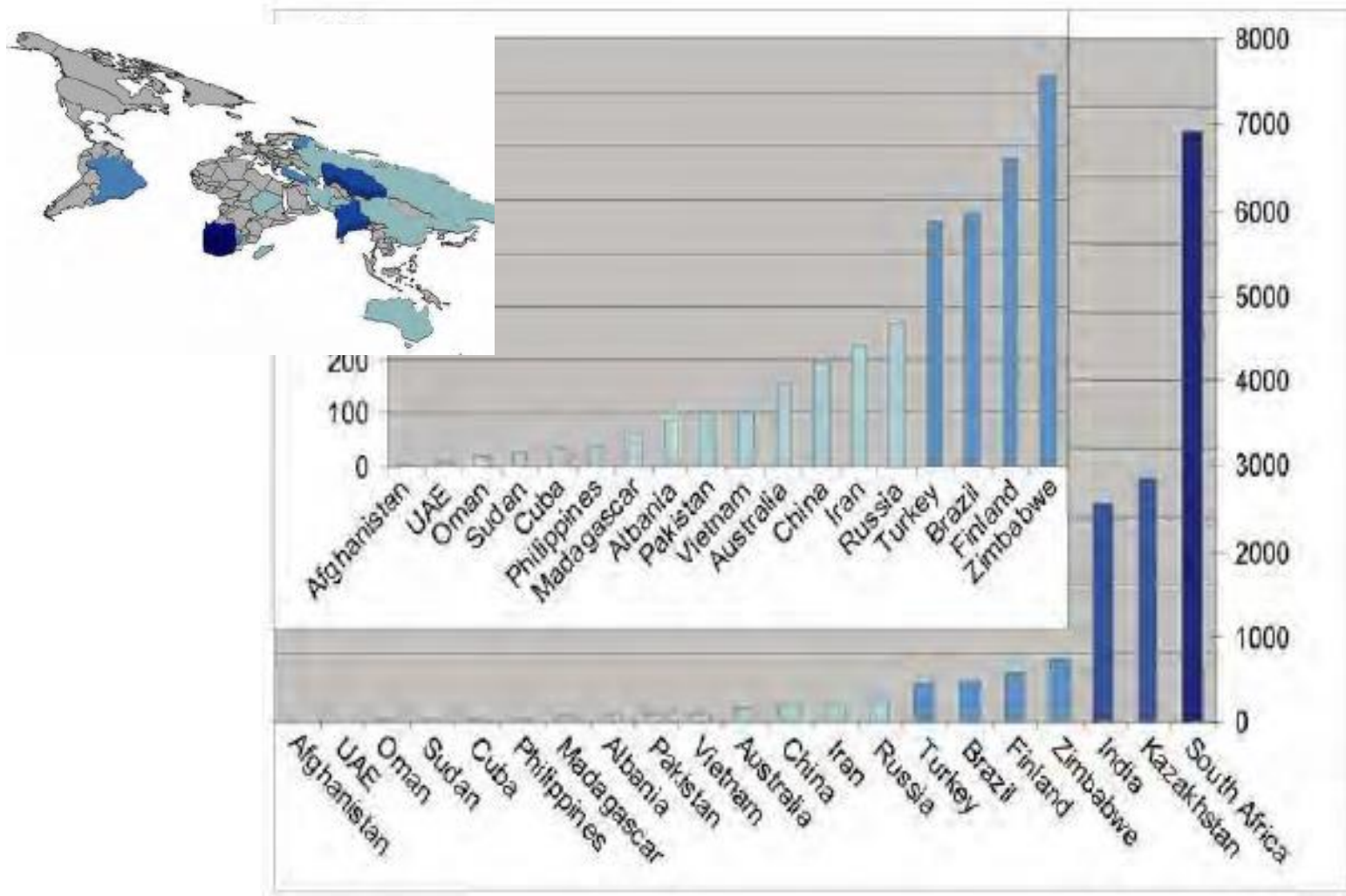
Ανασκόπηση

Ο χρωμίτης $(\text{Mg, Fe}^{2+})(\text{Cr, Al, Fe}^{3+})_2\text{O}_4$

- ❑ Ιχνοστοιχεία: V, Ti, Mn, Ni, Zn, Co, PGE.
- ❑ Σχηματίζει μεγάλα κοιτάσματα σε:
 1. Εστρωμένες διεισδύσεις (κύρια πηγή, >80%),
 2. Οφιολιθικά συμπλέγματα,
 3. Τύπου Αλάσκας και
 4. Κοματίτες.



Ετήσια παραγωγή χρωμίτη



Εικόνα 1

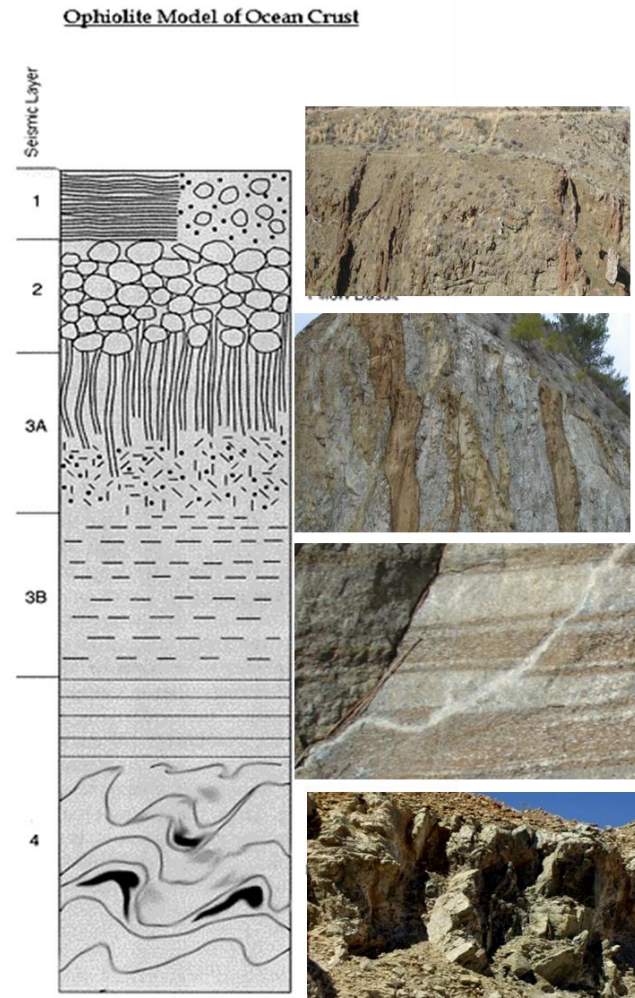


Εμπλουτισμένο μετάλλευμα χρωμίτη- τροφοδοσία του εργοστασίου και την παραγωγή FeCr



**Κοιτάσματα χρωμίτη που
συνδέονται με Οφιολιθικά
συμπλέγματα**

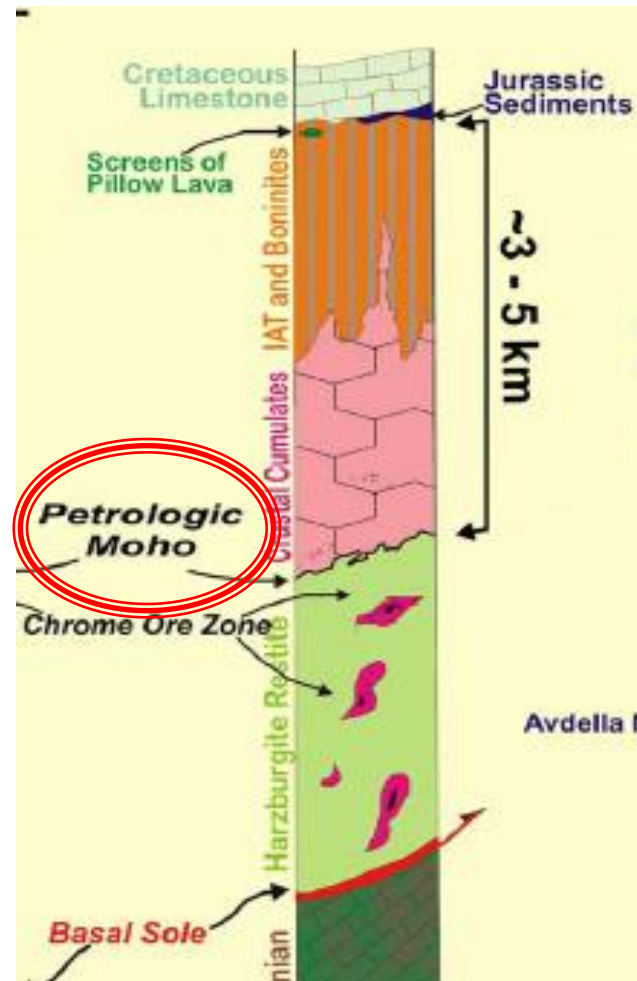
Στρωματογραφική στήλη Οφιολιθικού συμπλέγματος



Εικόνα 4

Τα κύρια αποθέματα χρωμίτη εντοπίζονται κάτω από την Πετρολογική Μοχο

Επαφή μεταξύ
μαγματικής και
μανδιακής
σειράς



Εικόνα 5

Ιστολογικοί τύποι (σλίρεν)

(πλαστική παραμόρφωση)



Εικόνα 6



Εικόνα 7



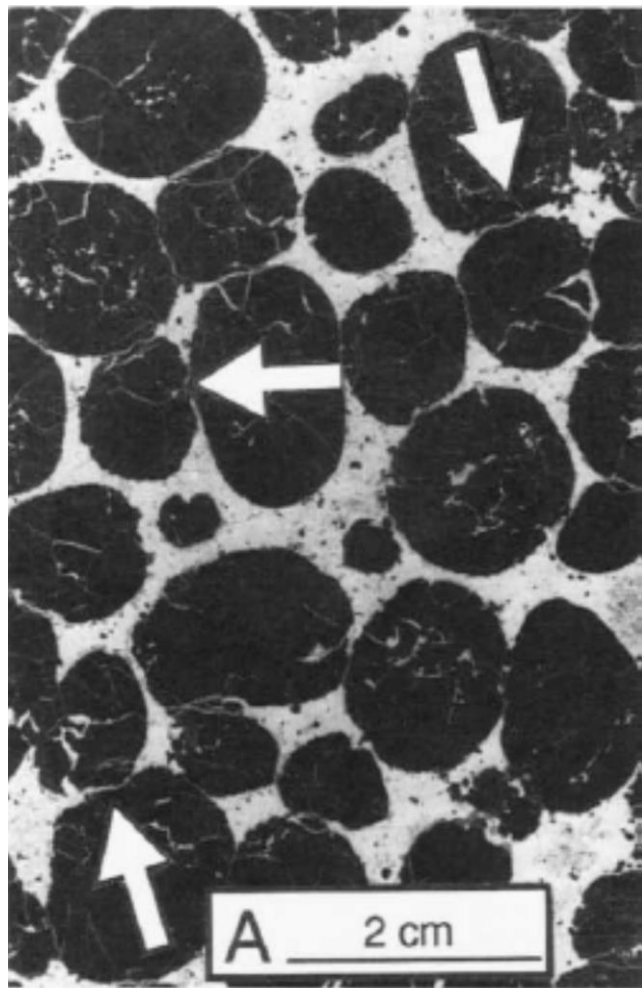
Πλαστική παραμόρφωση χρωμιτικού μεταλλεύματος



Εικόνα 8



Ιστολογικοί τύποι/μορφή λεοπαρδάλεως

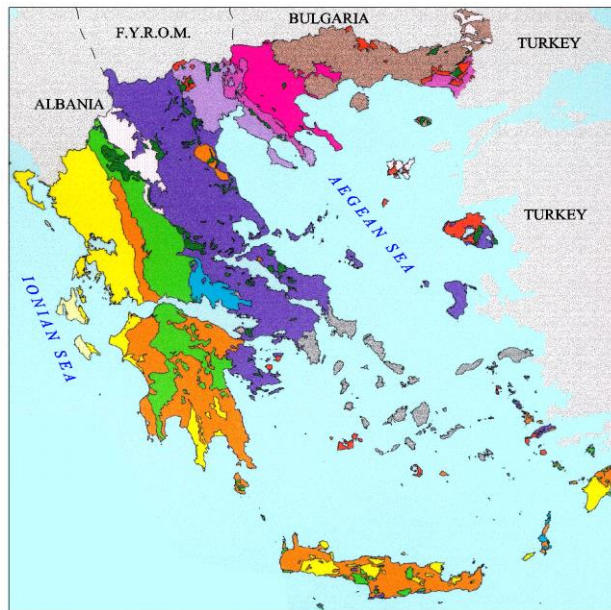


Παρατηρείται μόνο σε
οφιολιθικά
συμπλέγματα

Εικόνα 9



Κατανομή οφιολιθικών συμπλεγμάτων



LEGEND

Metamorphic Massifs	External Geotectonic Zones
Rhodope Massif	Parnassus-Ghioua Zone
Servo-Macedonian Massif	Olonos-Pindos Zone
Internal Geotectonic Zones	Gavrovo-Tripolis Zone
Circum Rhodope Belt	Ionian or Adriatico-Ionian Zone
Axios Zone	Paxos or Pre-Apulian Zone
Pelagonian & Sub-Pelagonian Zone	Molasse
Attico-Cycladic Massif or Complex	Boetian Zone

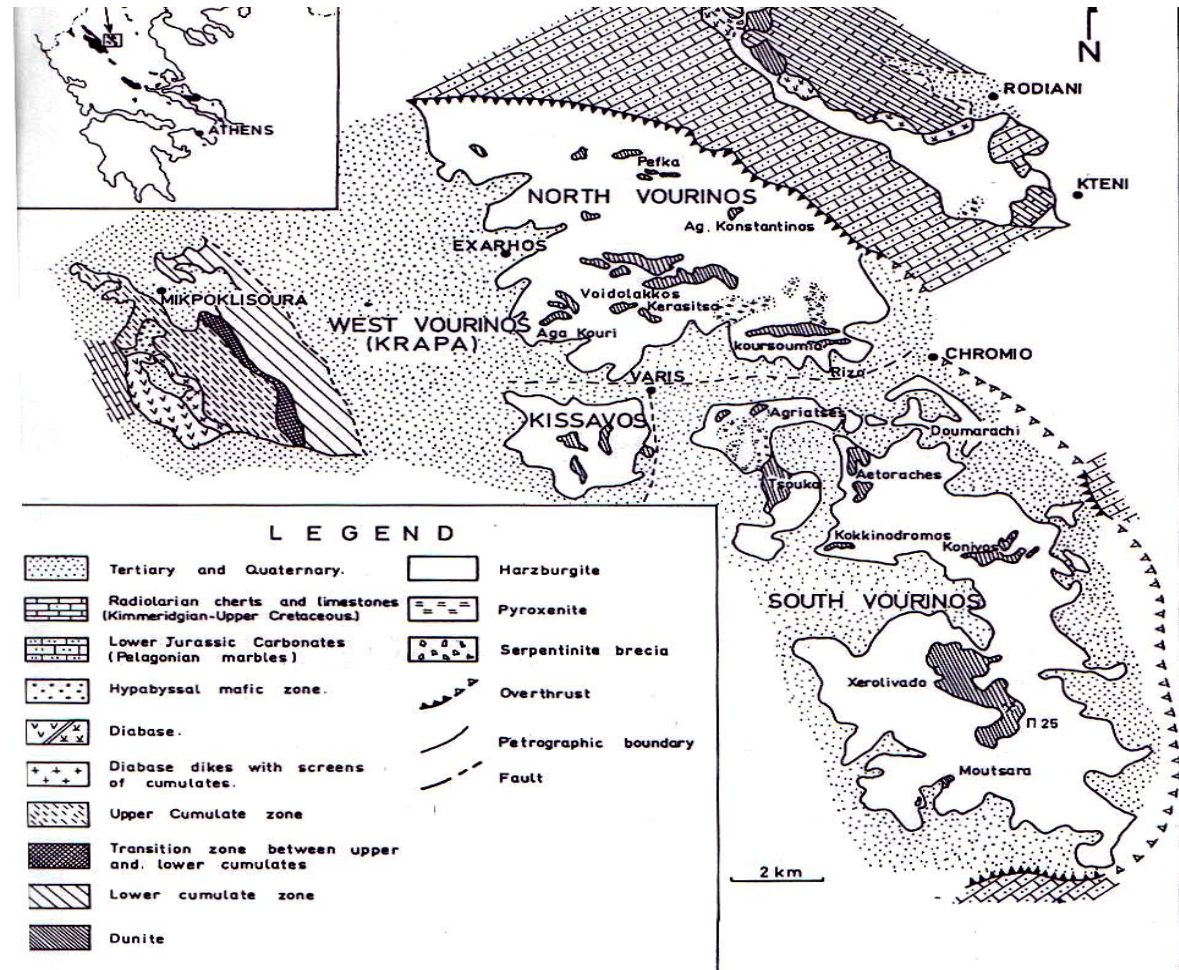
Figure 1. Structural zones of the Hellenides (Modified after Mountrakis, 1992)

Γενικά τα οφιολιθικά συμπλέγματα εντοπίζονται σε ορογενετικές ζώνες

Εικόνα 10

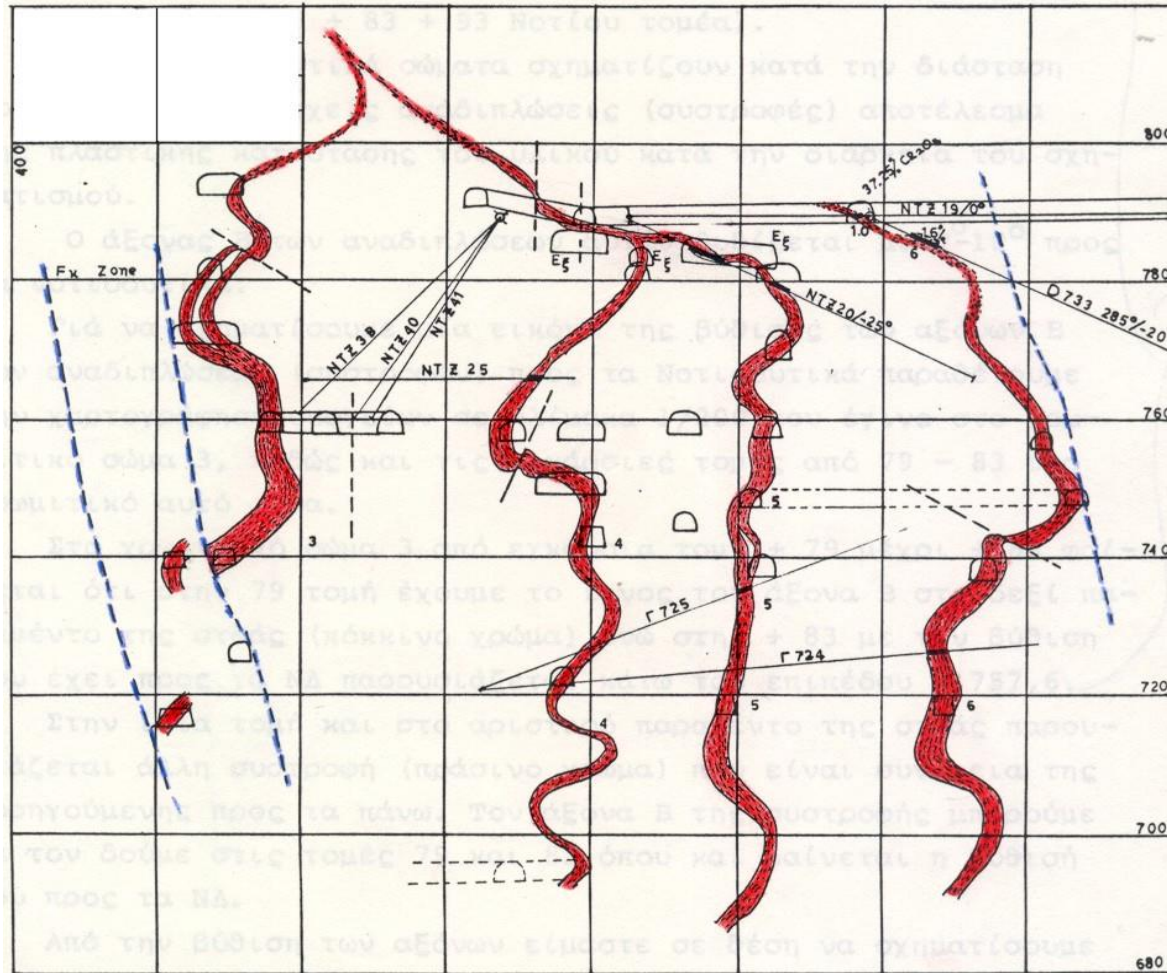
Οφιολιθικό σύμπλεγμα Βουρίνου

Αποθέματα
> 10 εκατ.τον



Εικόνα 11

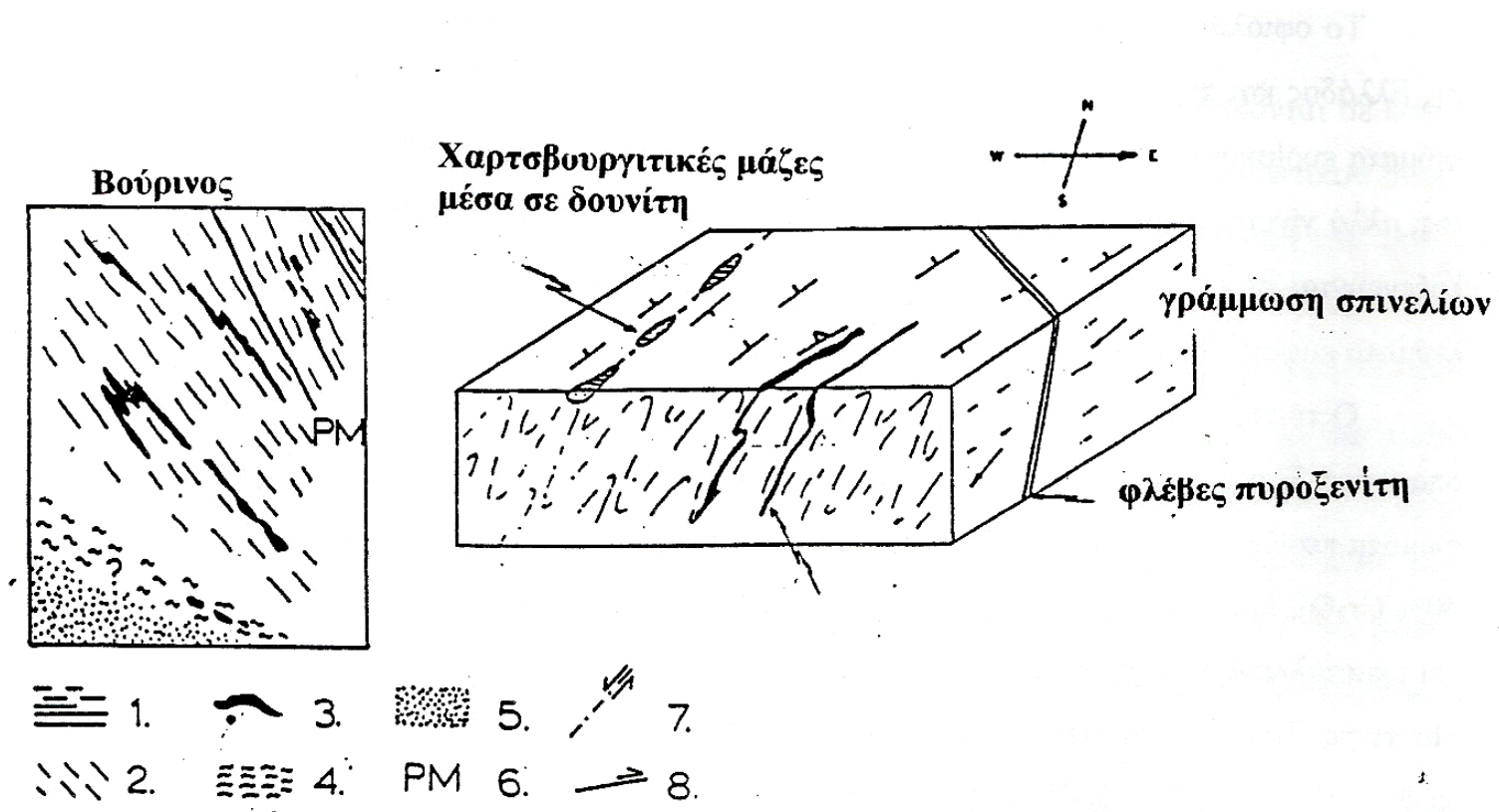
Μεταλλείο Ξερολείβαδο, Βούρινο



Εικόνα 12



Πλαστική παραμόρφωση χρωματικών σωμάτων και υπερβασικών πετρωμάτων

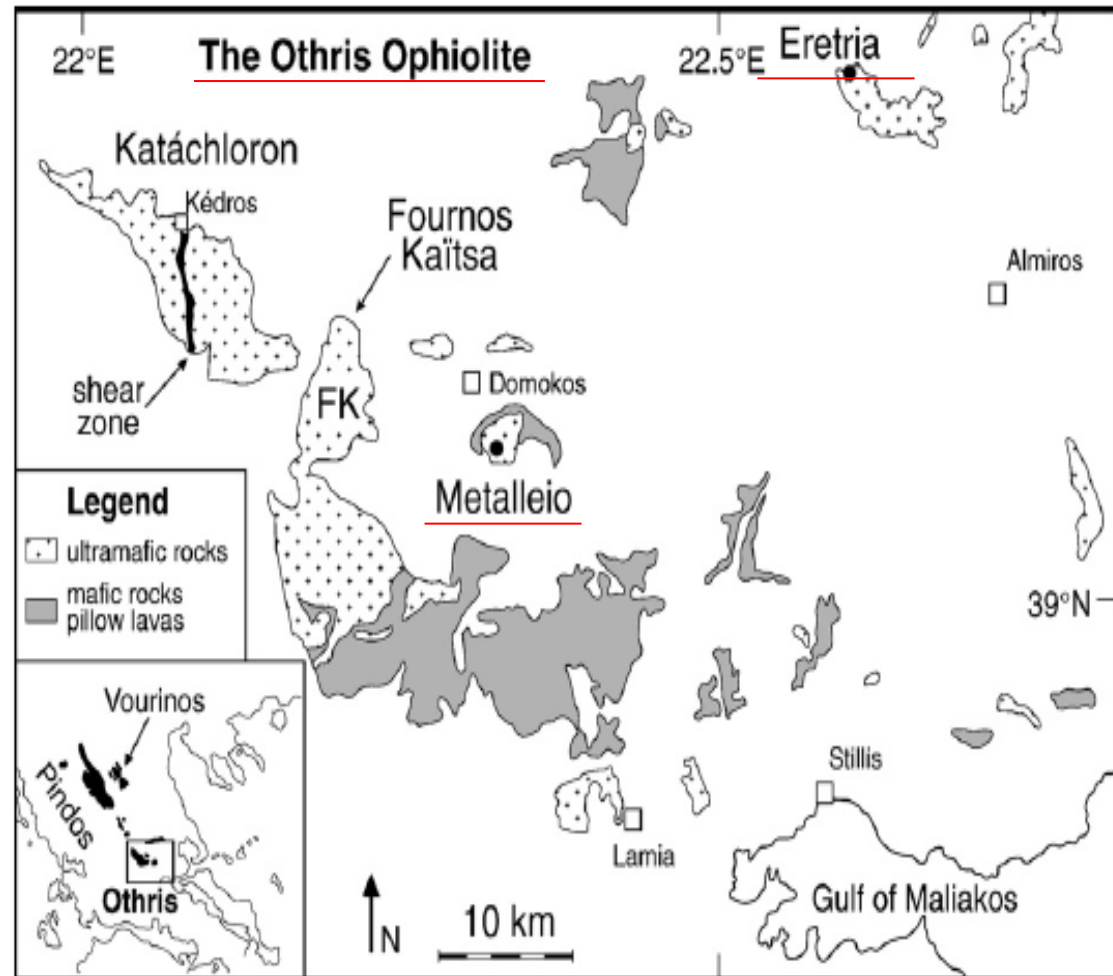


Εικόνα 13



Όθρυς

Φιλοξενεί μόνο
πυρίμαχου
τύπου χρωμίτη



Εικόνα 14

ΧΗΜΙΣΜΟΣ ΧΡΩΜΙΤΗ

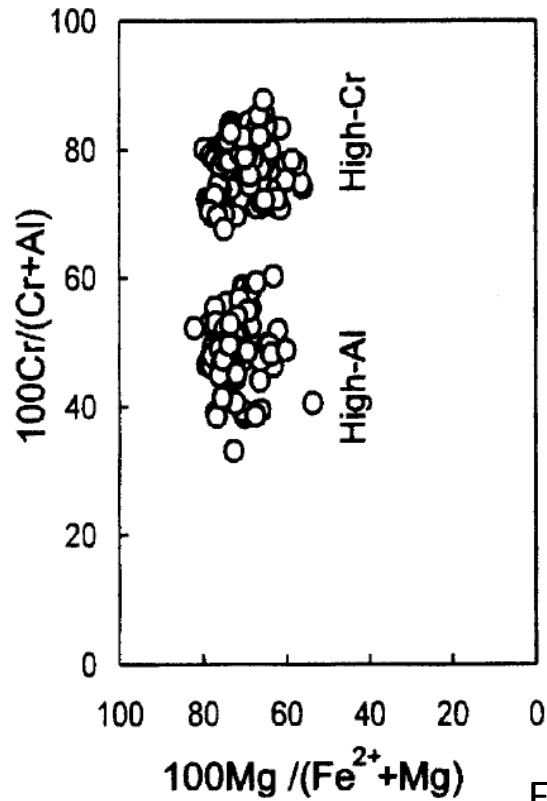
Al ₂ O ₃	16,12	15,46	18,78	19,48	23,24	16,34	14,64	12,42
Cr ₂ O ₃	55,72	53,88	51,67	51,11	41,62	54,37	56,5	58,67
Fe ₂ O ₃	0,02	2,13	0,67	0,76	3,96	1,58	0,12	0,43
FeO	15,71	16,83	15,41	13,34	19,71	13,45	15,99	15,22
MgO	12,35	11,51	12,66	13,96	10,94	13,45	11,84	12,04
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	0,37	0,41	n.d.	0,51	n.d.
Total	99,92	99,81	99,18	99,02	99,88	99,19	99,6	98,78
Cr#	69,87	70,04	64,64	63,74	54,56	63,12	72,13	76,01
Mg#	58,4	54,91	59,44	65,08	49,76	69,06	56,88	58,51

Πίνακας 1



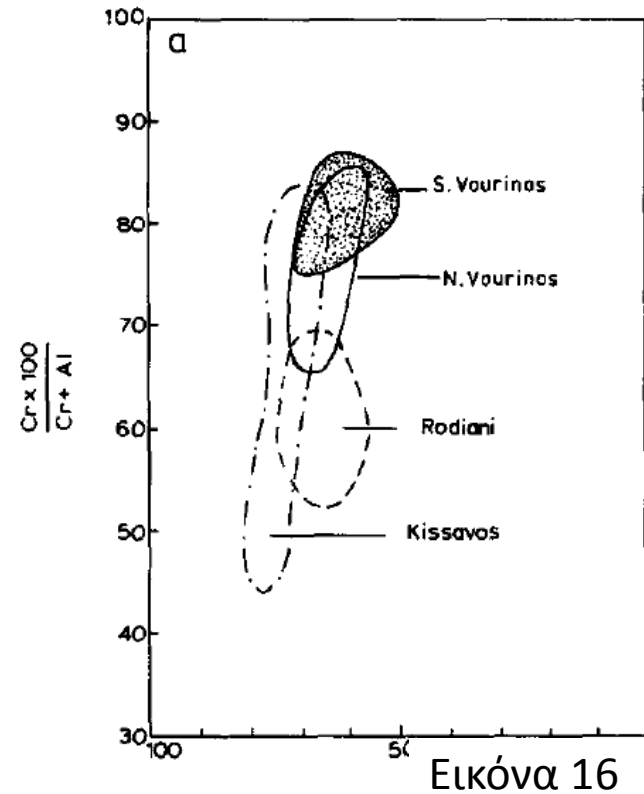
Διακύμανση της χημικής σύστασης χρωμίτη (1/2)

Διακύμανση της χημικής
σύστασης χρωμίτη



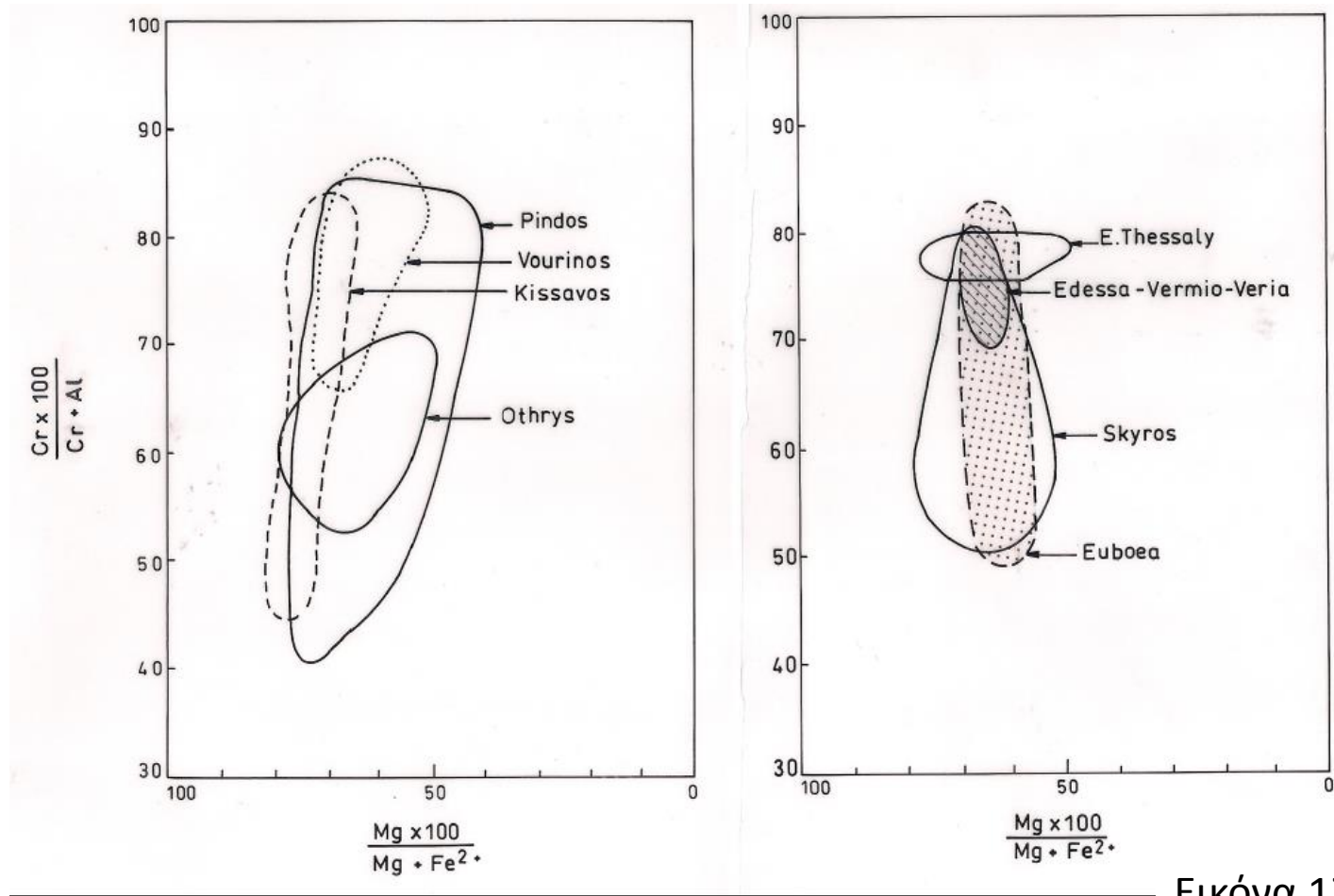
Εικόνα 15

Διακύμανση χημικής σύστασης χρωμίτη
στο κοίτασμα του Βουρίνου



Εικόνα 16

Διακύμανση της χημικής σύστασης χρωμίτη στην Ελλάδα



Εικόνα 17

Κοιτάσματα χρωμίτη σε οφιολιθικά συμπλέγματα Προκαμβρίου/Μεσοζωικού.

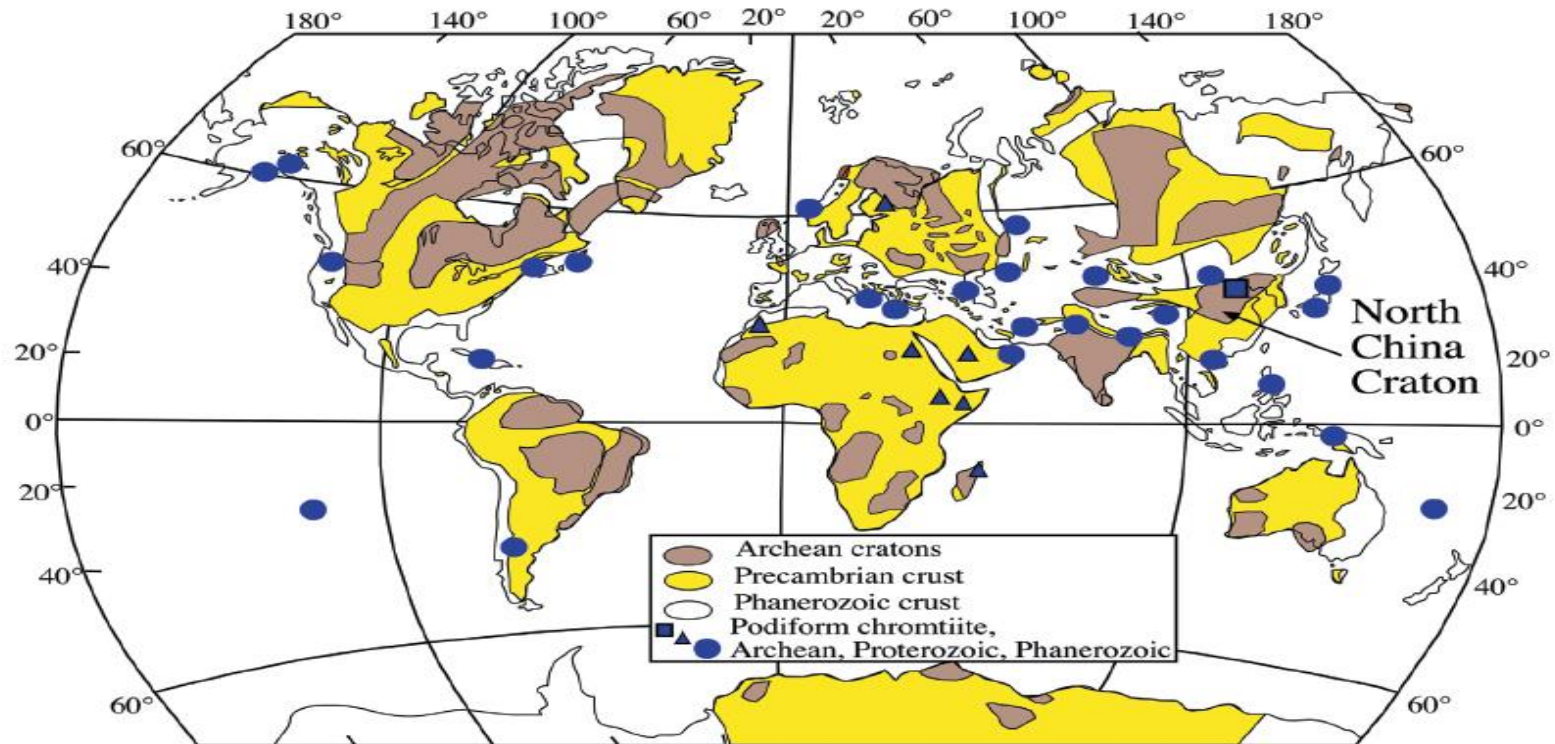
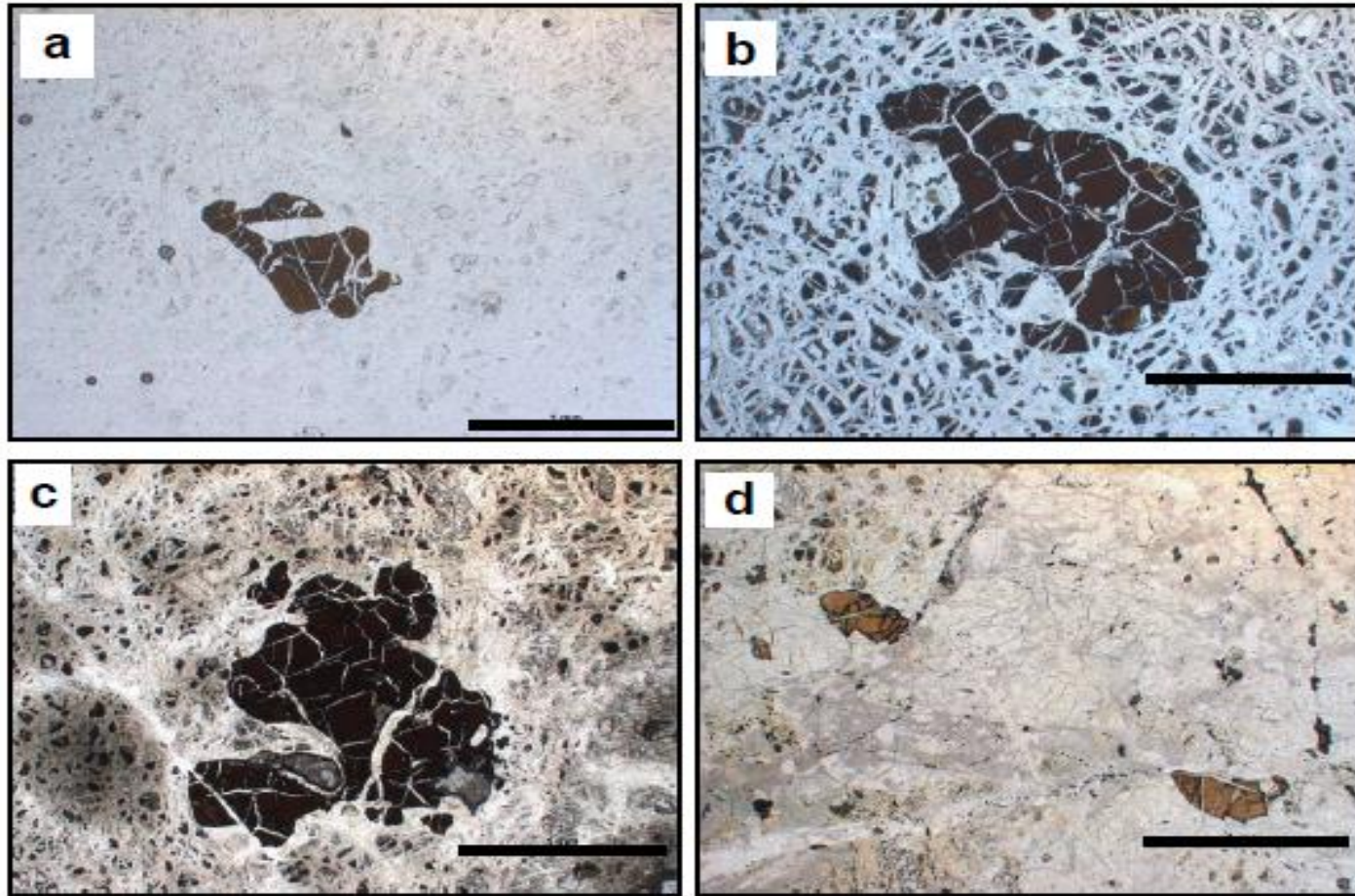


Figure 1. Distribution of Archean cratons, areas underlain by Precambrian crust, and Phanerozoic crust and podiform chromite deposits (modified after Kusky and Polat, 1999). Filled patterns show locations of major ophiolitic podiform chromite deposits in relation to crust and accretionary orogens of different ages. Squares—Archean; triangles—Proterozoic; circles—Phanerozoic. Zunhua podiform chromitites are associated with the 2.505 Ga Dongwanzi and related ophiolites of North China craton.

Εικόνα 18

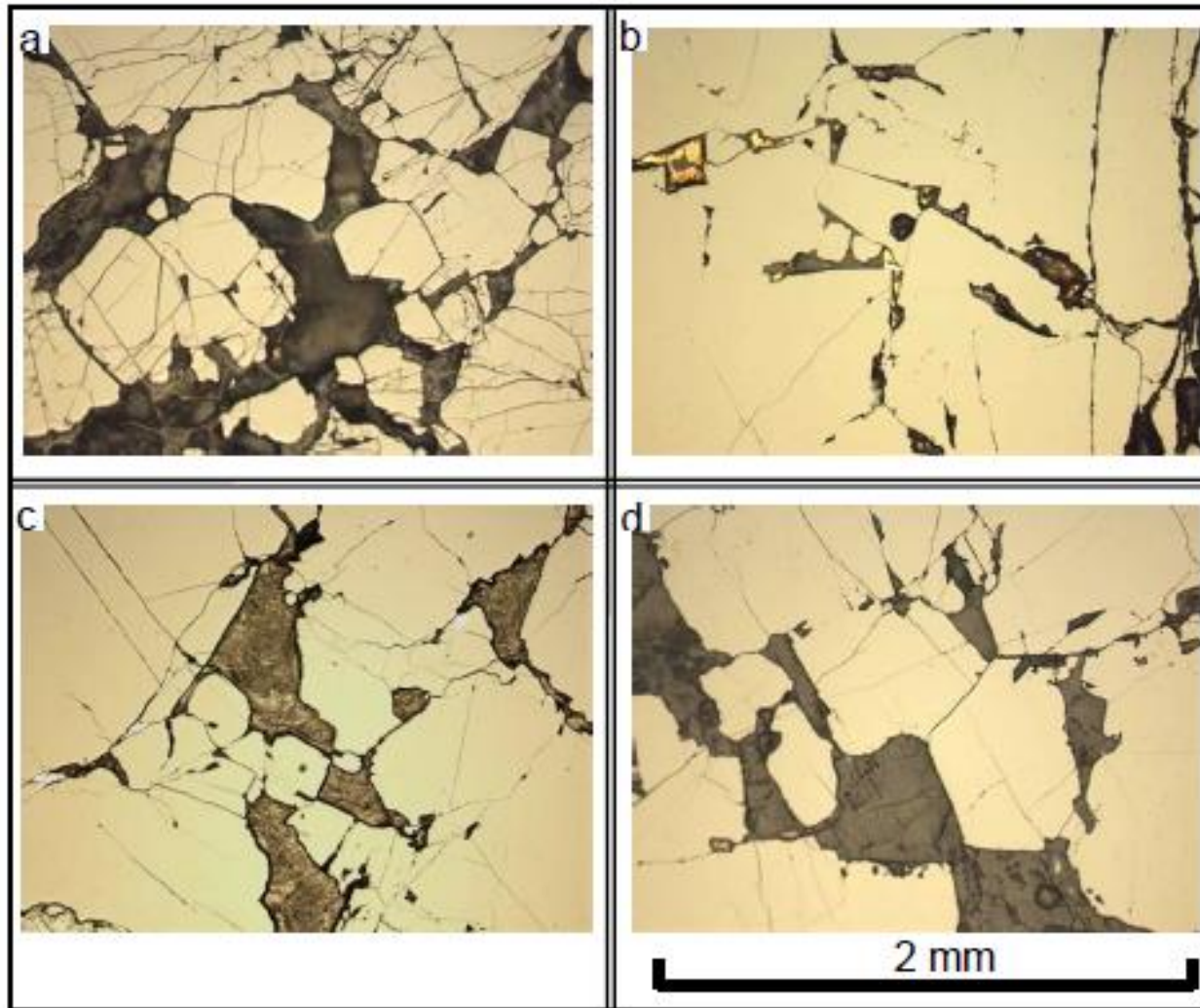
Μορφές χρωμίτη (μικροσκόπιο)



Εικόνα 19

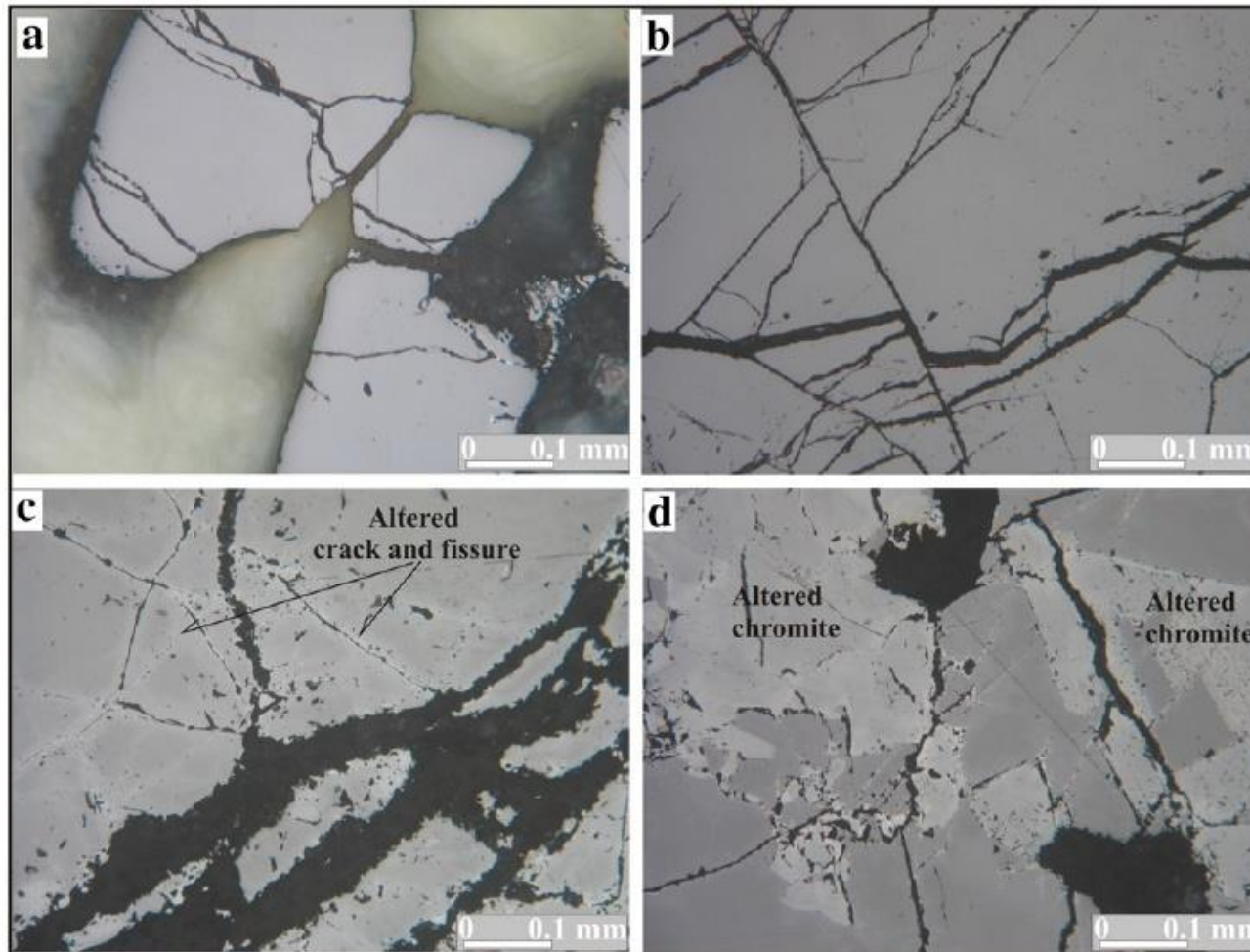


Εικόνες από μεταλλογραφικό μικροσκόπιο, μετάλλευμα χρωμίτη (1/5)



Εικόνα 20

Εικόνες από μεταλλογραφικό μικροσκόπιο



Εικόνα 21



Πού και Πώς σχηματίζονται τα
κοιτάσματα χρωμίτη;

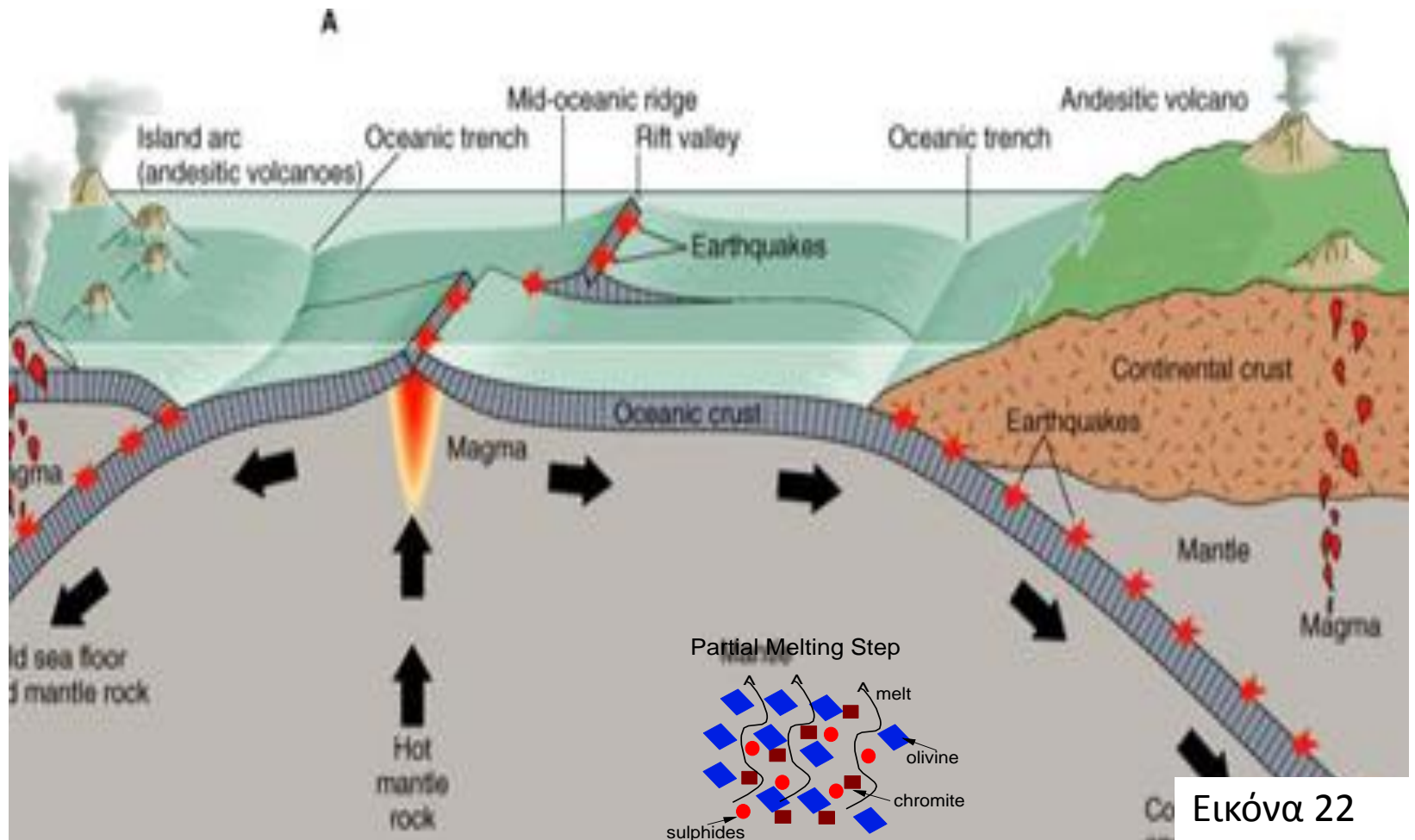
Παράγοντες που επηρεάζουν την χημική σύσταση του χρωμίτη ;

Οι διαφορές στην χημική σύσταση των μεταλλευμάτων χρωμίτη έχουν αποδοθεί σε διαφορές της σύστασης του μητρικού μάγματος.

- **Γεωτεκτονικό περιβάλλον ;**
- **Διαφοροποίηση ;**
- **Αντιδράσεις μάγματος – πετρωμάτων ;**

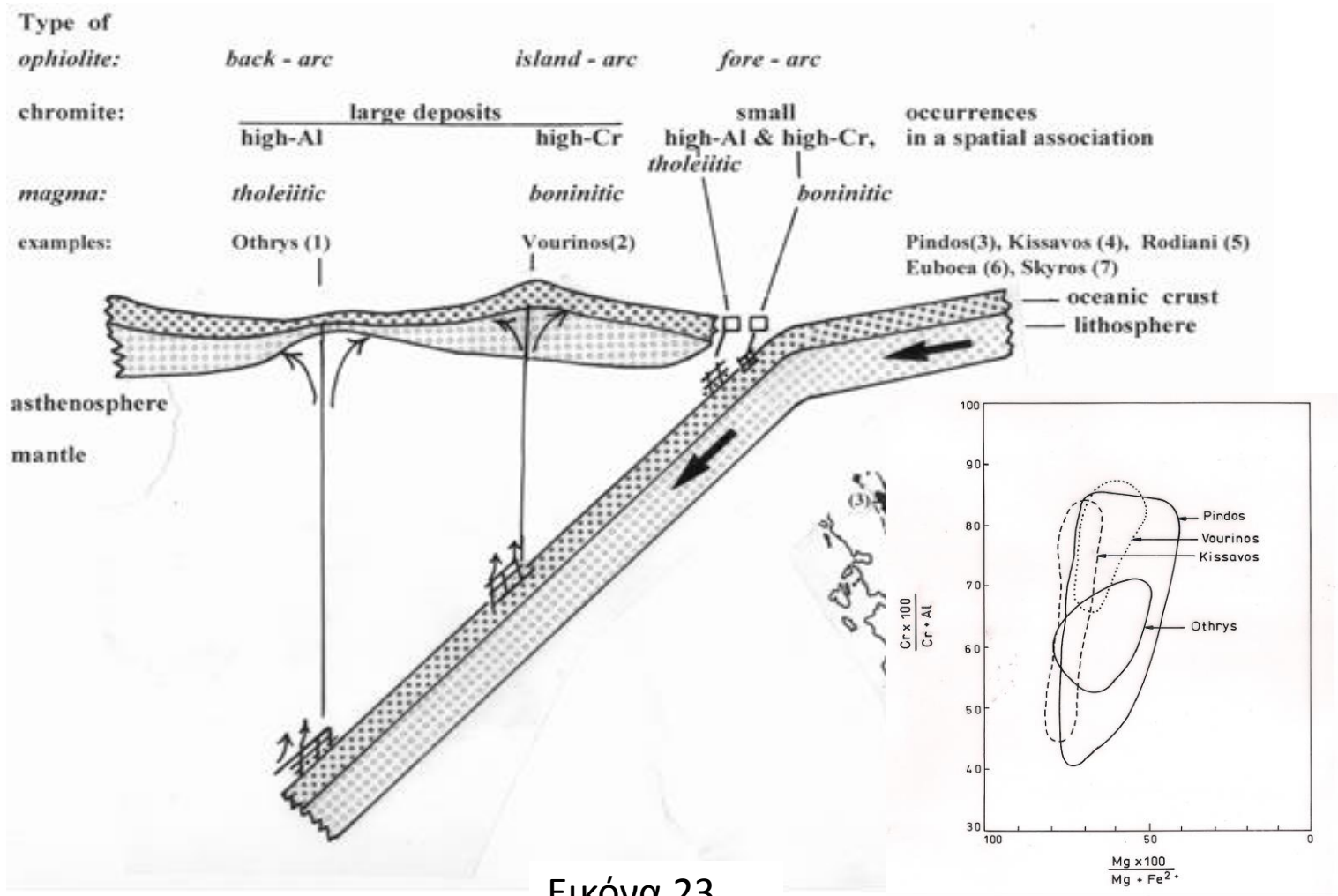


Γεωτεκτονικό περιβάλλον



Εικόνα 22

Γεωτεκτονικό περιβάλλον- Μεσοζωικό



Εικόνα 23



Παράδειγμα οφιολίθων Παλαιοζωικής ηλικίας - Ουράλια

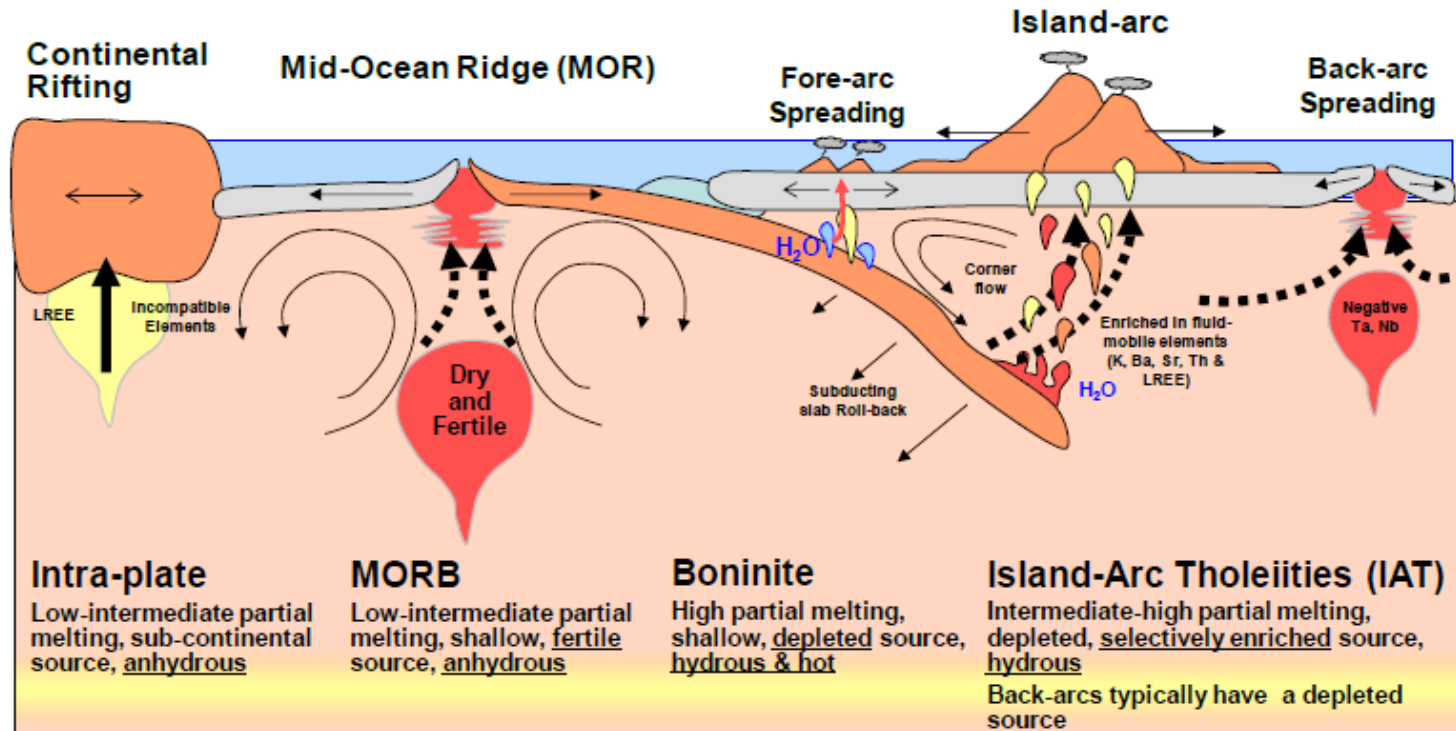


Figure 2.2.1: A schematic detailing the differing melt-types and the tectonic settings associated with their formation.

Adapted from R. Lilly, 2006

Εικόνα 24

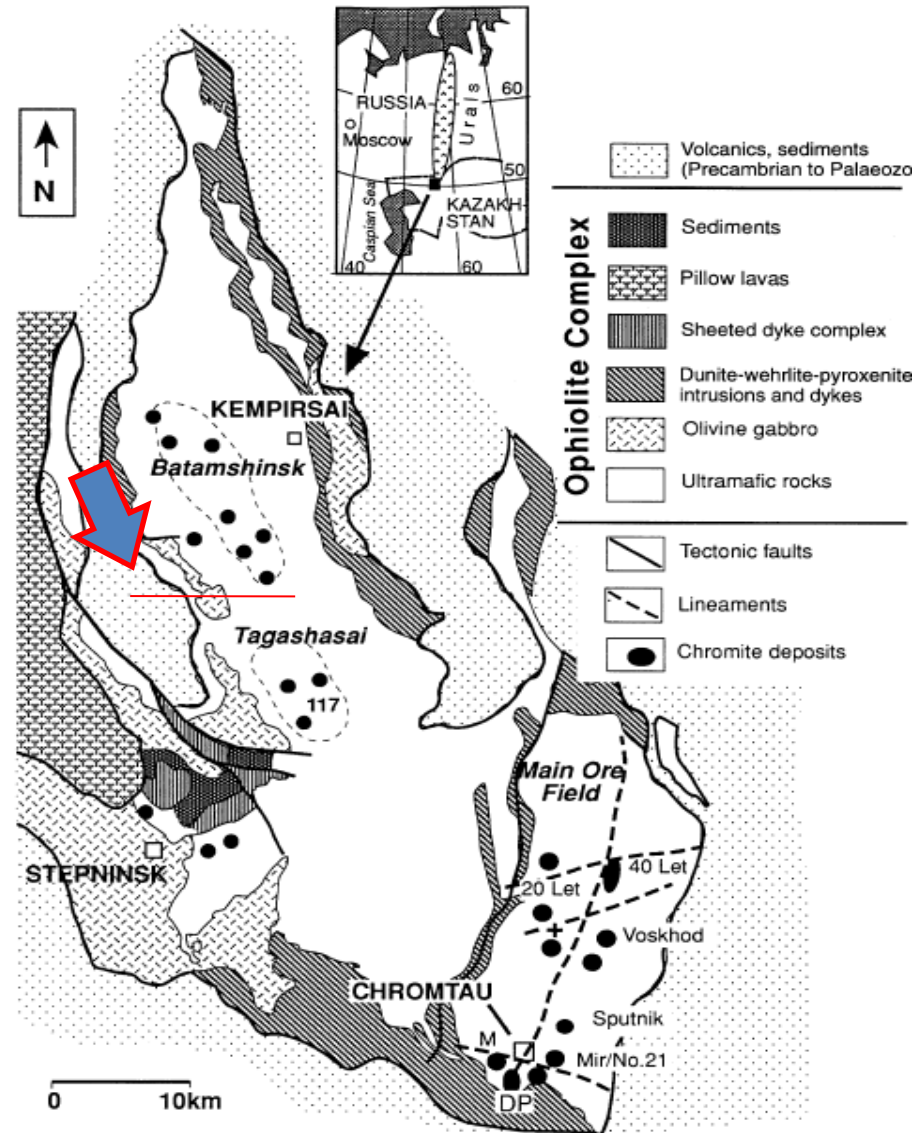


Παλαιοζωικής ηλικίας

Στα Ουράλια

από τα μεγαλύτερα
κοιτάσματα σε
παγκόσμια κλίματα

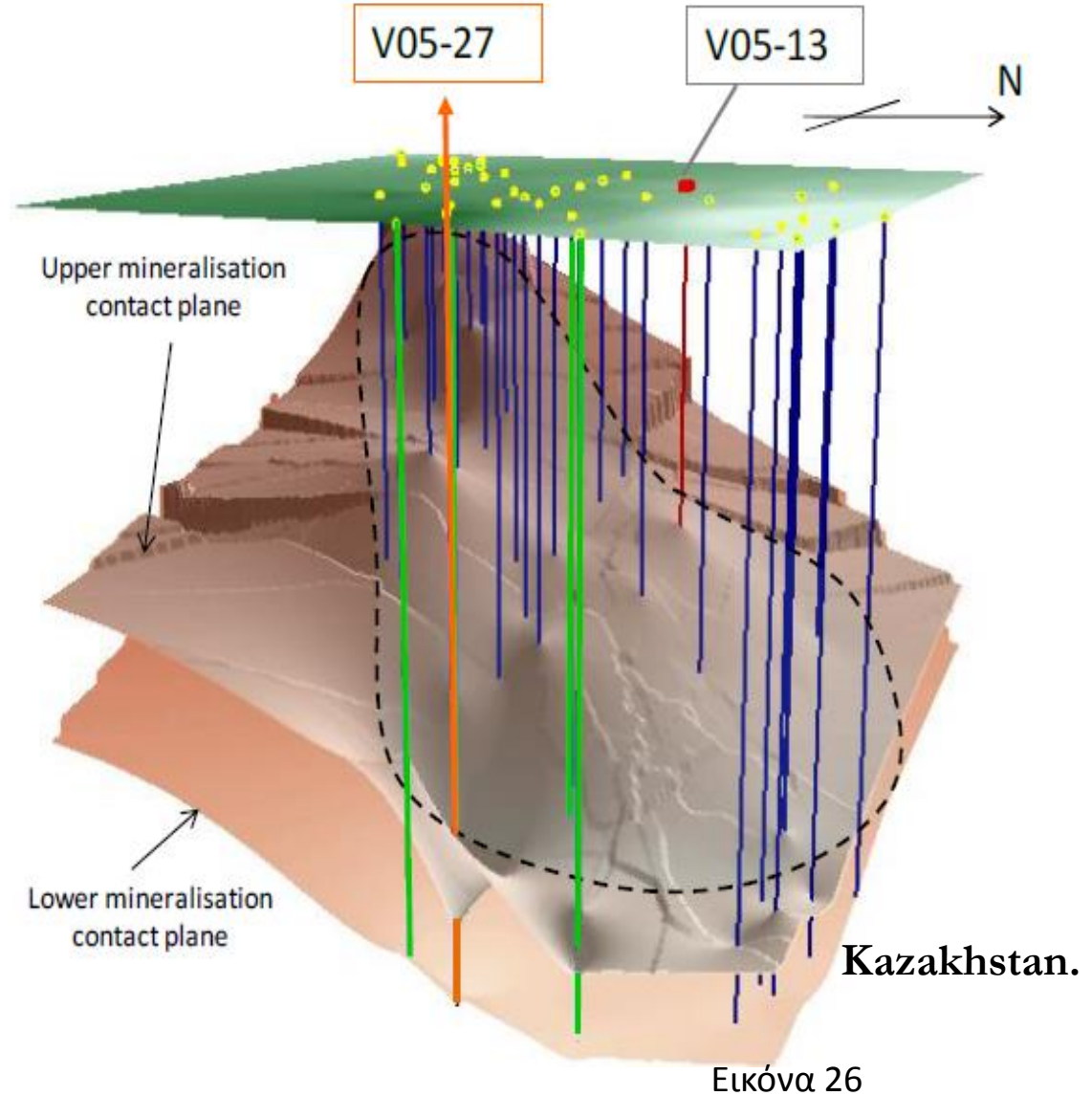
>400 εκατ.τον



Εικόνα 25

Άμεσο περιβάλλον
του χρωμίτη είναι
δουνίτης, που
φιλοξενούνται μέσα
σε χαρτσβουργίτη,
Kazakhstan

Στα μεταλλοφόρα
στρώματα
παρεμβάλλονται
στρώματα στείρου
χρωμίτη



Εικόνα 26



Μοντέλο γένεσης χρωμίτη για το κοίτασμα χρωμίτη στα Ουράλια

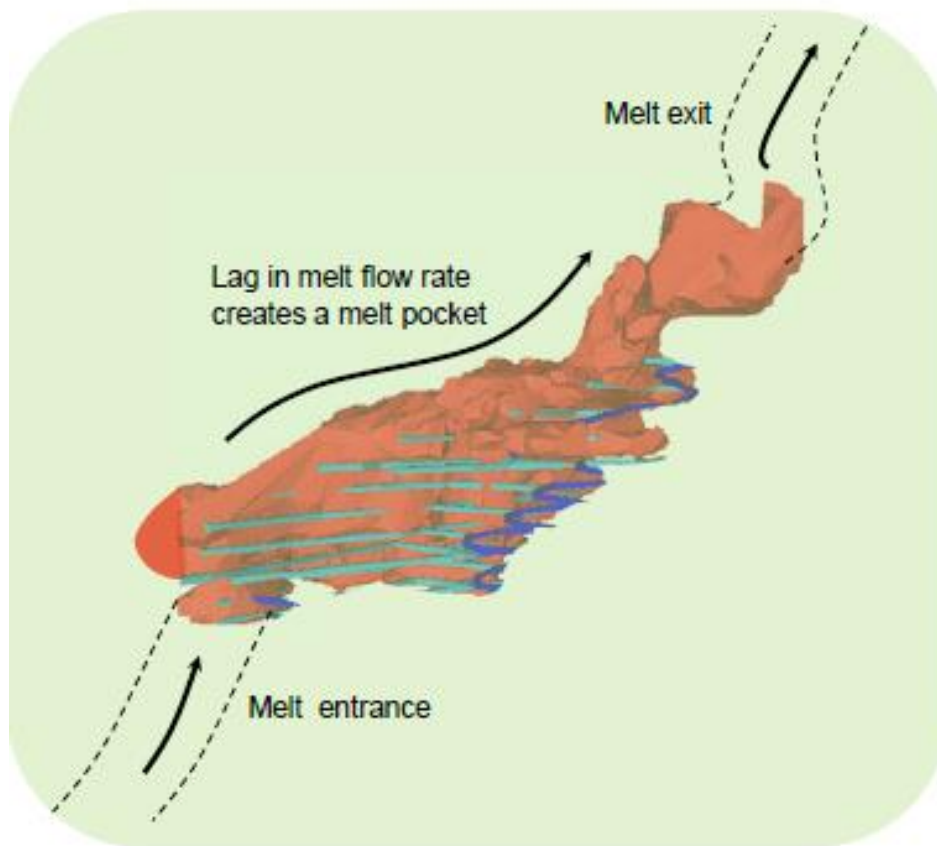
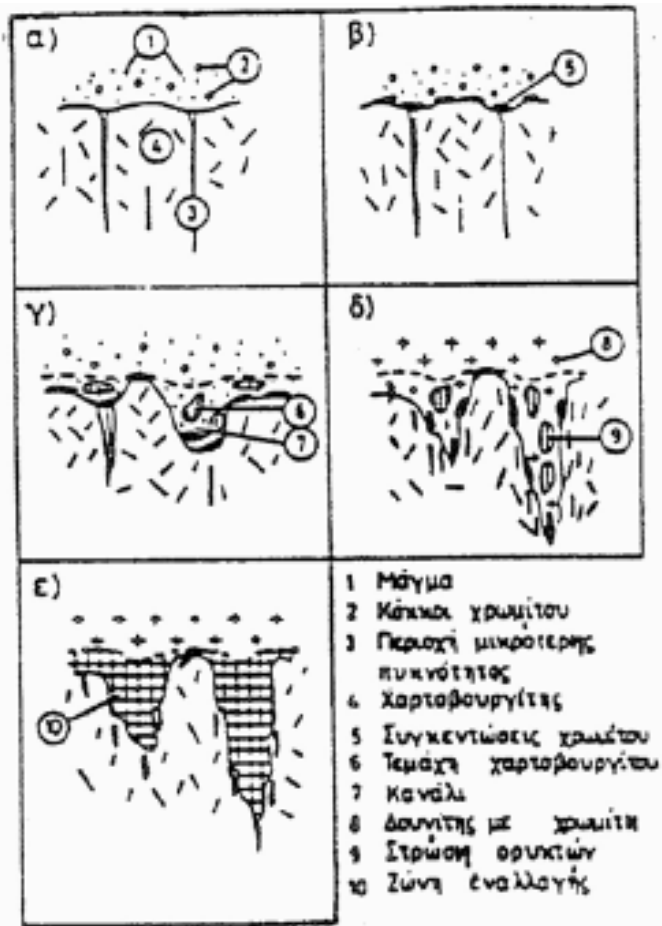


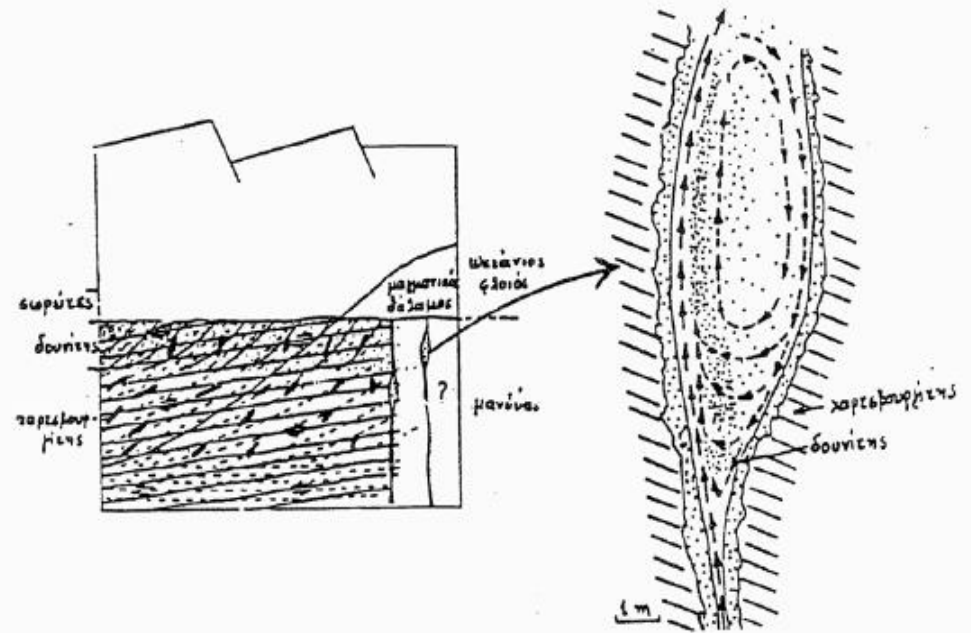
Figure 9.3.1: A 3.D model of the Voskhod chromite deposit

Εικόνα 27



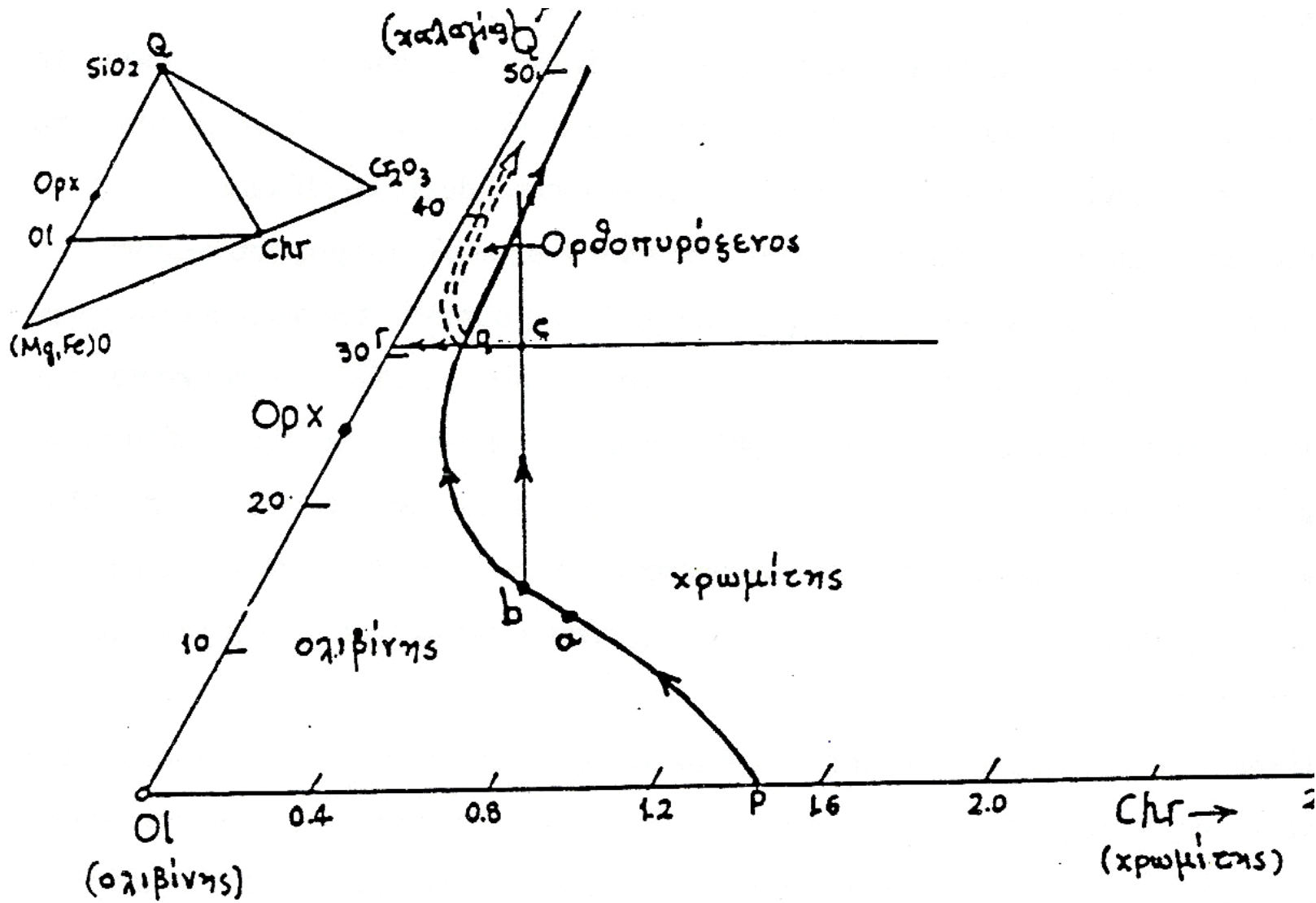


Εικόνα 28



ΑΠΟΨΕΙΣ

Εικόνα 29



Εικόνα 30

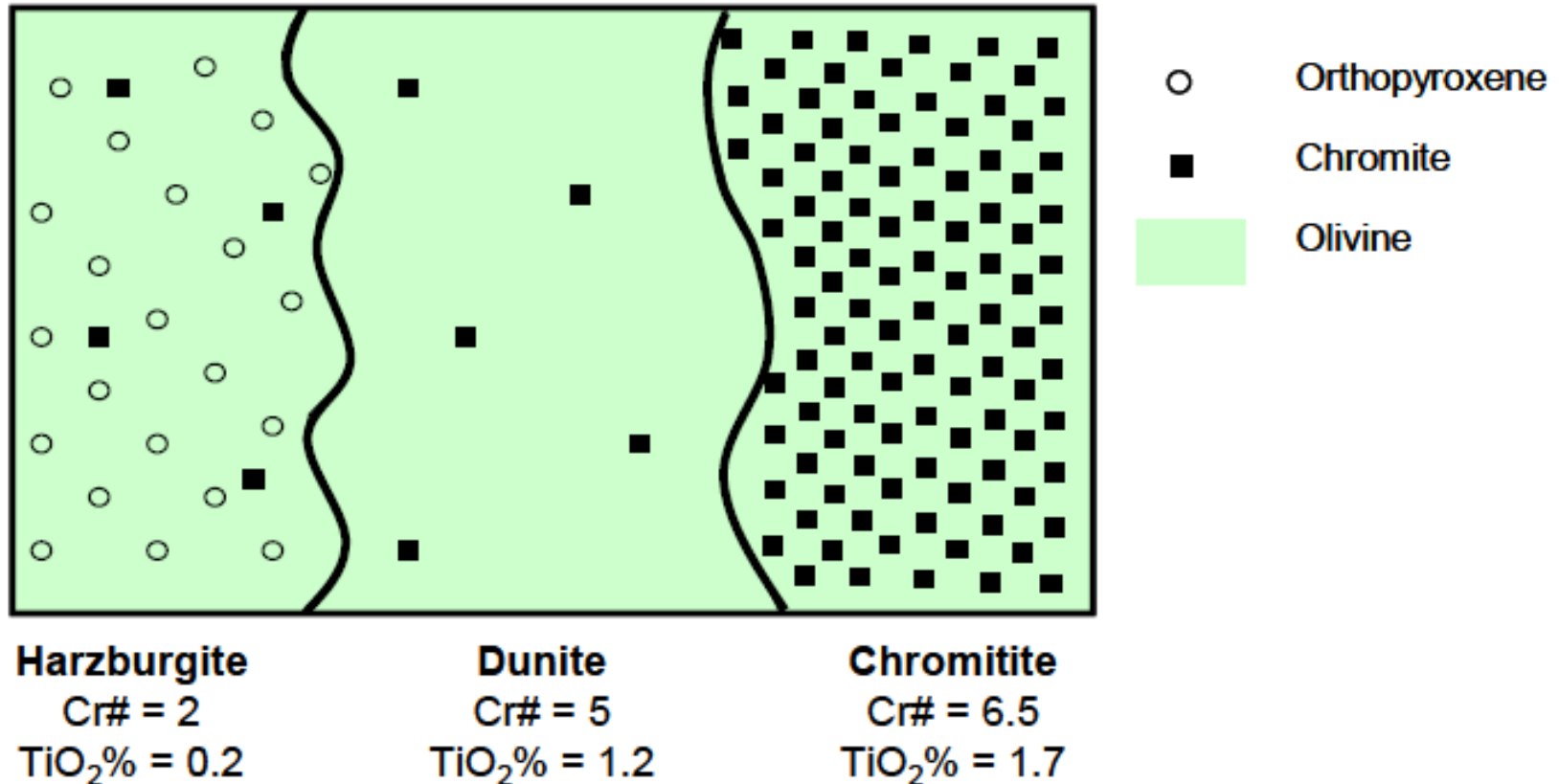
Η ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ

ΧΡΩΜΙΤΗ εξαρτάται από:

- Σύσταση του μητρικού μάγματος,
- Χημική σύσταση της πηγής που υφίσταται τη μερική τήξη,
- το βαθμό μερικής τήξης,
- τις αντιδράσεις μεταξύ υπολειμματικού περιδοτίτη και του διερχομένου βασαλτικού μάγματος,
- τη διακύμανση των φυσικοχημικών συνθηκών κατά την κρυστάλλωση (fO_2 , P , T).



Απόθεση χρωμίτη κατά μήκος αγωγών (Lago et al., 1982)



Εικόνα 31

Αντιδράσεις μεταξύ υπολειμματικού περιδοτίτη και διερχομένου μάγματος

Εφαρμογή των ισοτόπων Re–Os σ' ένα οφιολιθικό σύμπλεγμα του Θιβέτ,

- στην χρωμιτογένεση και
- το γεωτεκτονικό περιβάλλον.



Οι τιμές των ισοτόπων $^{187}\text{Os}/^{188}\text{Os}$ σε χρωμίτη (συμπυκνώματα)
παρουσιάζει μικρό εύρος

(0.12318 - 0.12354)

σε σχέση με τους περιδοτίτες που τον φιλοξενούν

Υποστηρίζεται η άποψη ότι μάγμα/ρευστά που προέρχονται
από την καταβυθιζόμενη πλάκα διευκολύνουν την μερικά τήξη
στην μανδουακή σφήνα και προσθέτουν σημαντική ποσότητα
ραδιενεργού Os στους περιδοτίτες

$$\frac{^{187}\text{Os}}{^{188}\text{Os}} : 0,34484$$

Και ότι σύσταση του χρωμίτη πιθανώς να επηρεάζεται από την
αντίδραση μάγματος-πετρωμάτων. (Shirey et al. 1998)



Κοιτάσματα χρωμίτη

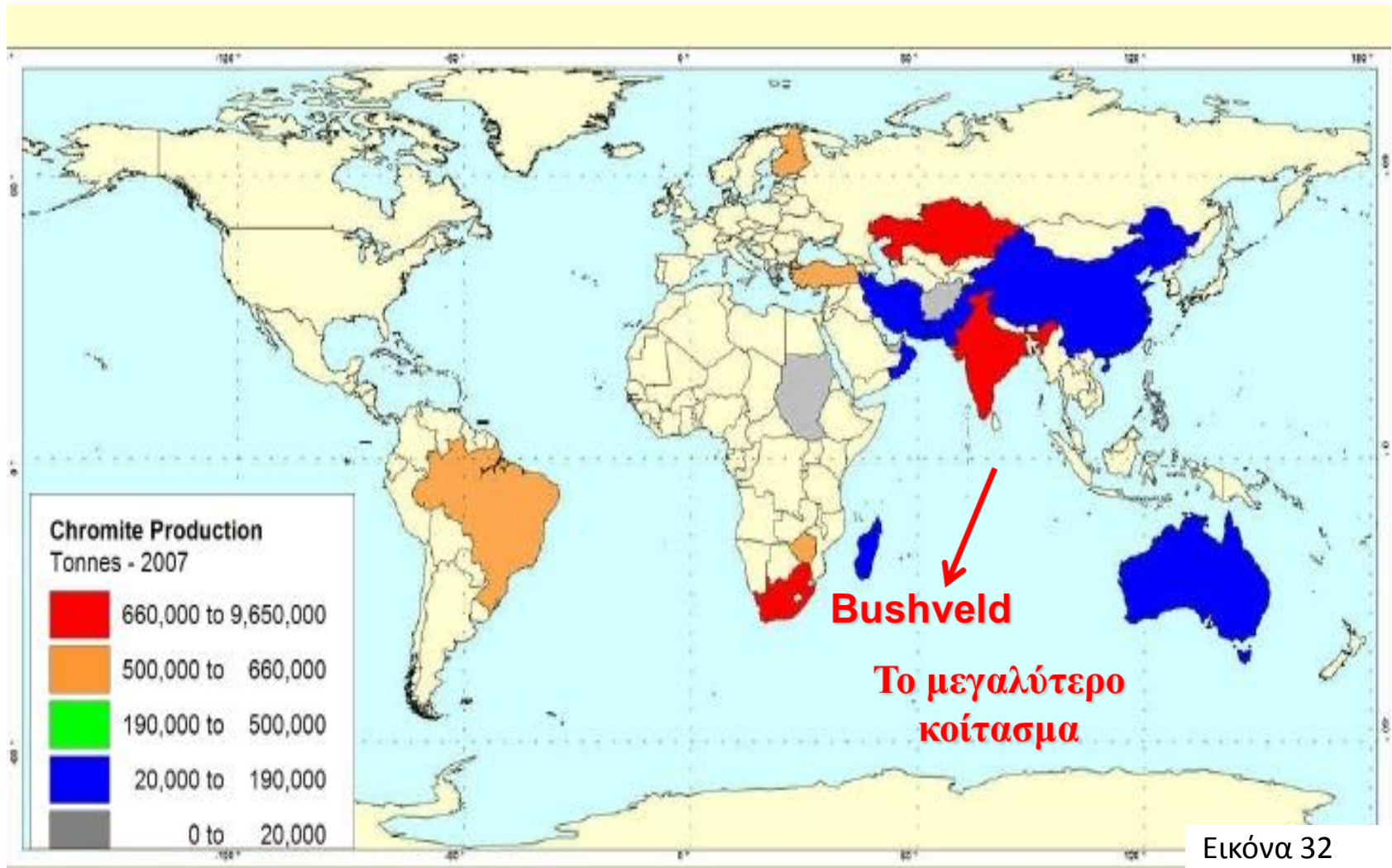
Κοιτάσματα χρωμίτη σε εστρωμένες
διεισδύσεις

Εστρωμένες διεισδύσεις

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



Το μεγαλύτερο κοίτασμα παραγωγής Cr



Εικόνα 32

Bushveld

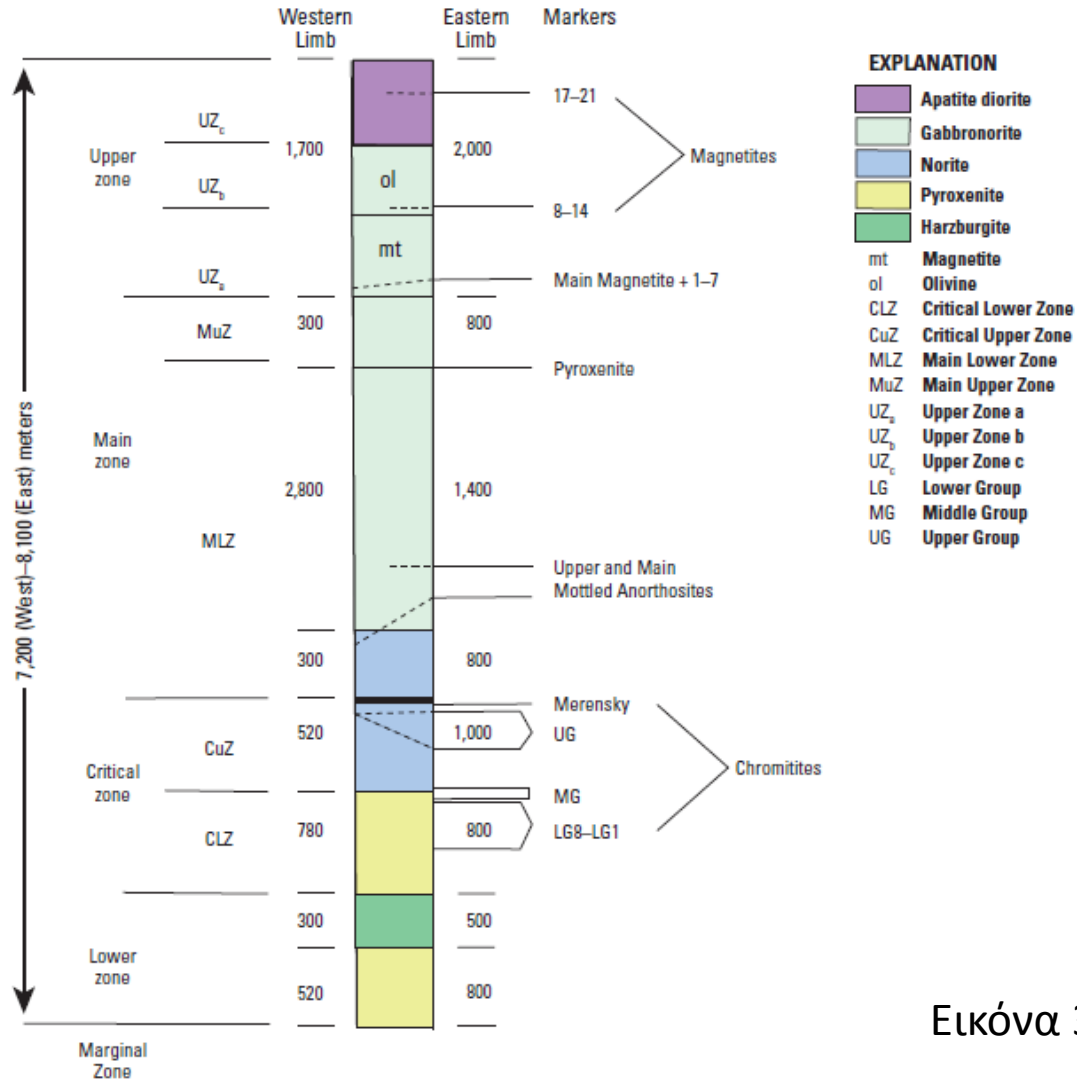
Το σύμπλεγμα Bushveld είναι η μεγαλύτερη εστρωμένη διείσδυση στην γη

Κύρια πηγή:

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

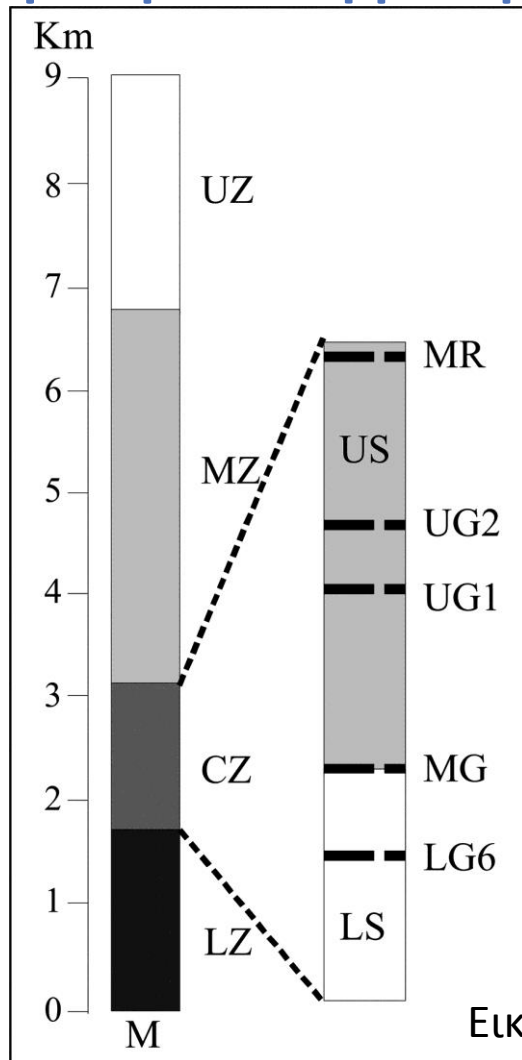


Στρωματογραφική στήλη, Bushveld (1/2)



Εικόνα 33

Στρωματογραφική στήλη, Bushveld (2/2)



Εικόνα 34

4 κύριες ζώνες:

- **ανώτερη ζώνη** (Fe-γάββροι και Fe-διορίτες, νορίτες, γάββροι και ανορθοσίτες)
- **κρίσιμη ζώνη** (χρωμιτικοί ορίζοντες LG6 και PGE-πλούσιοι ορίζοντες Merensky και UG-2).
- **κατώτερη ζώνη** (βρονζιτίτες, χαρτσβουργίτες και δουνίτες)



Ορίζοντες χρωμίτη Bushveld



Εικόνα 35



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



Ο χρωμιτίτης UG1 στον ποταμό Dwars

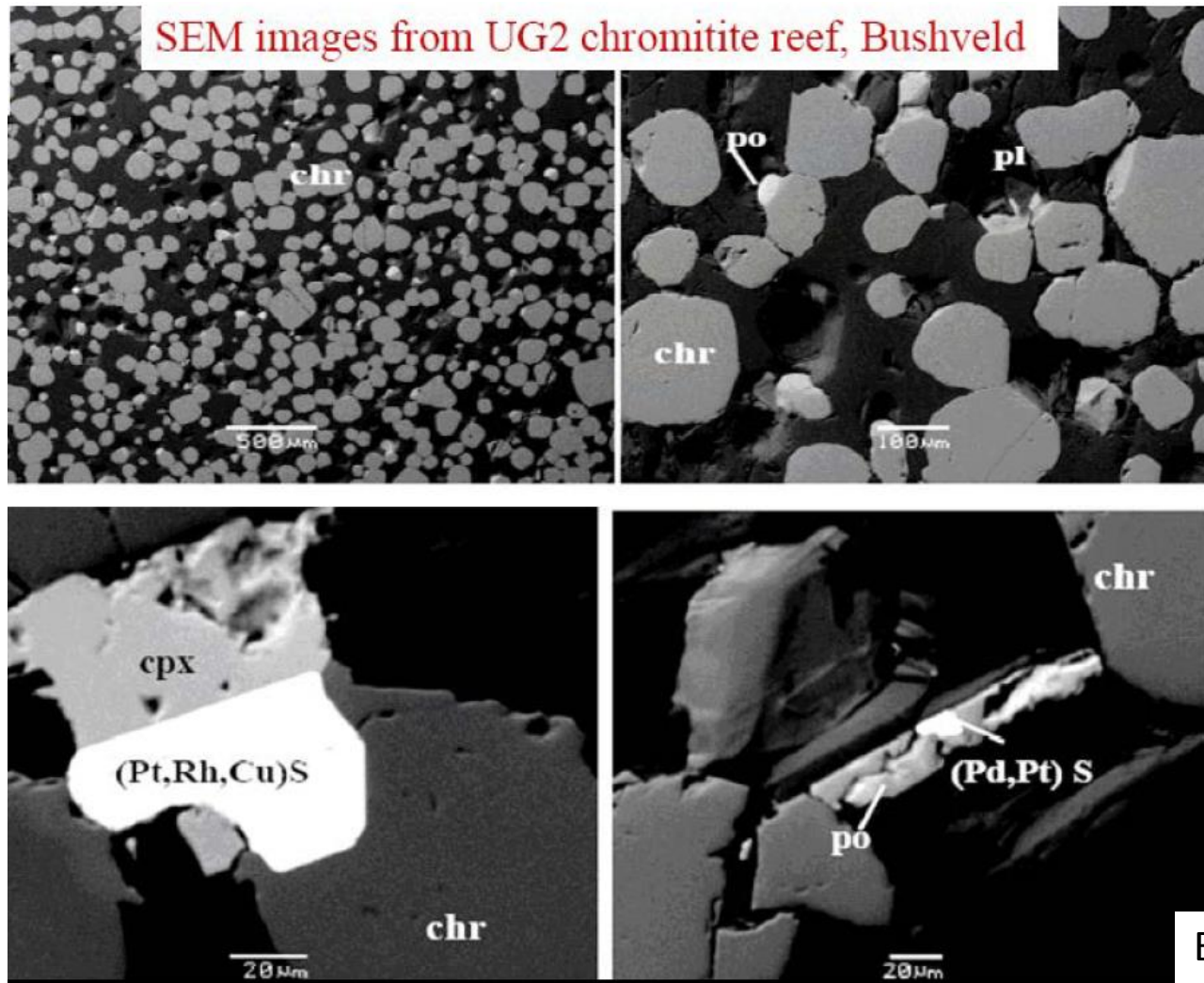
Bushveld complex, UG reefs



Εικόνα 36

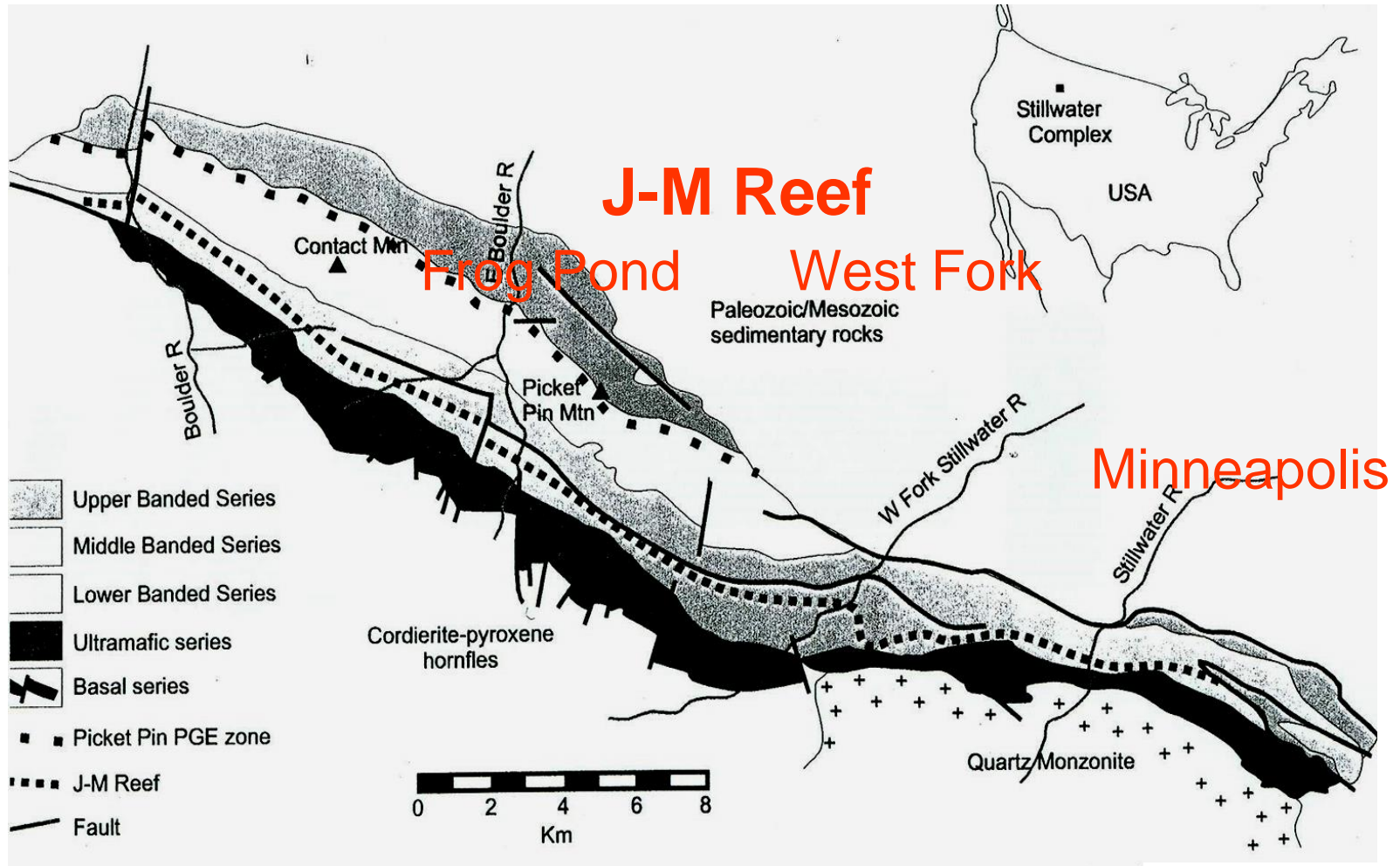


Εικόνες από το SEM για τον χρωμιτίτη UG2 του Bushveld



Εικόνα 37

Το σύμπλεγμα Stillwater



Εικόνα 38

Στρωματογραφική στήλη, Stillwater

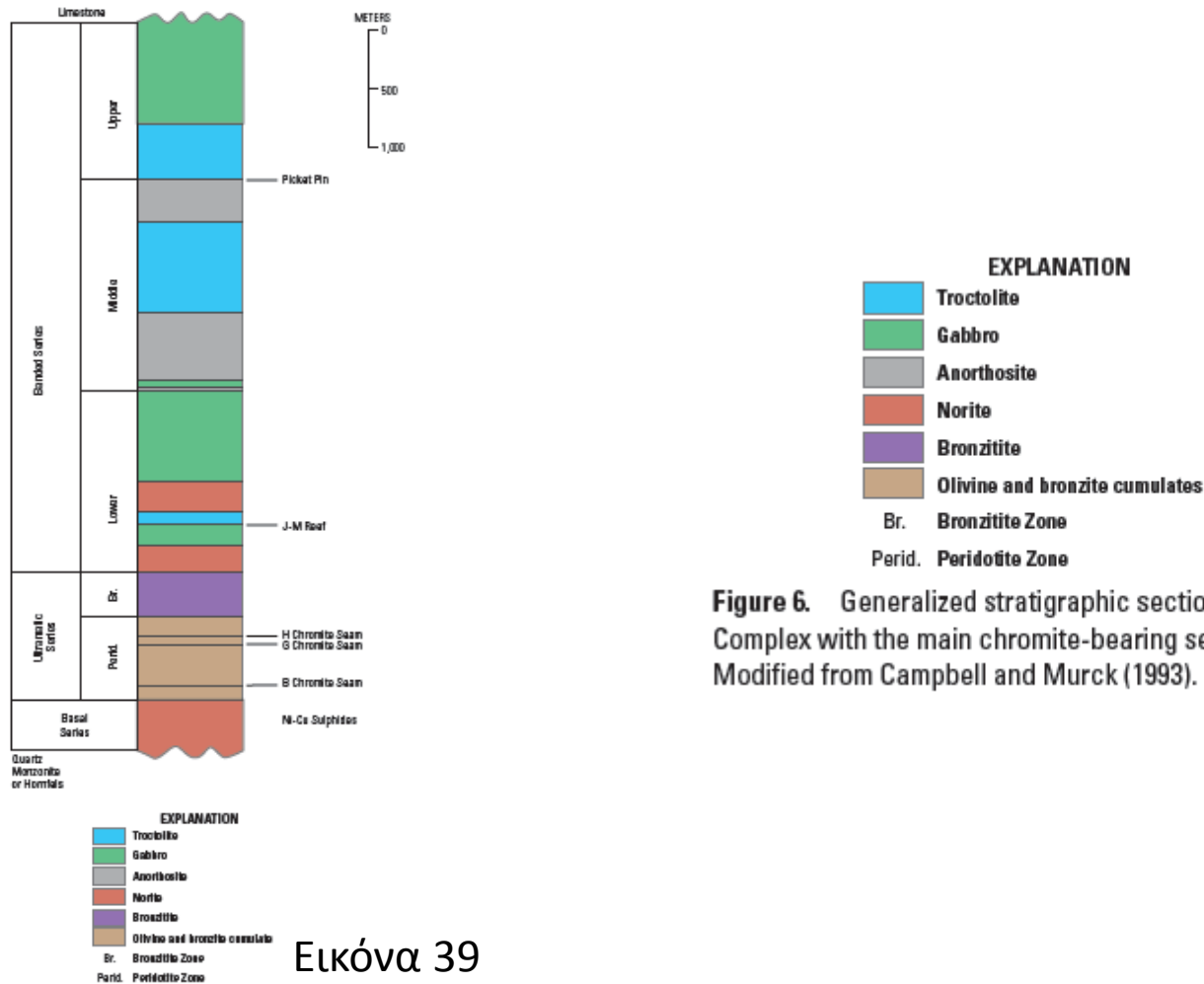


Figure 6. Generalized stratigraphic section of the Stillwater Complex with the main chromite-bearing seams identified. Modified from Campbell and Murck (1993).

Εικόνα 39

Ορίζοντες χρωμίτη



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

Εικόνα 40

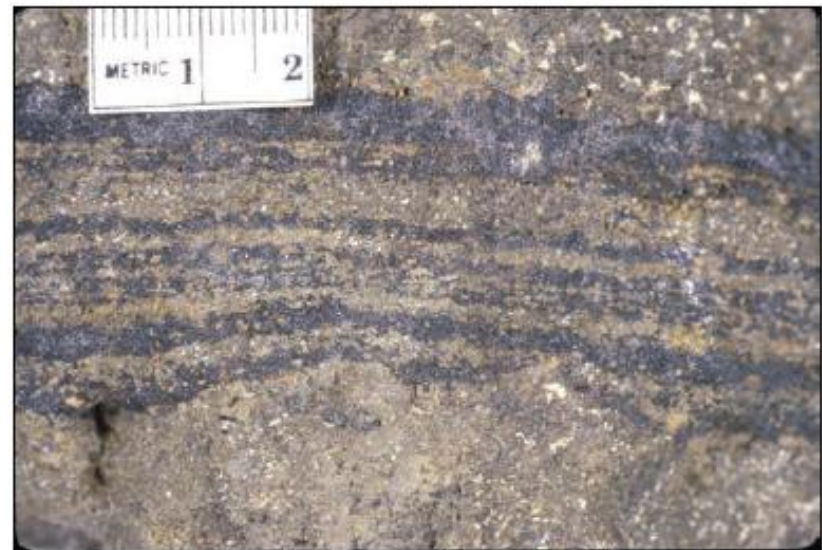
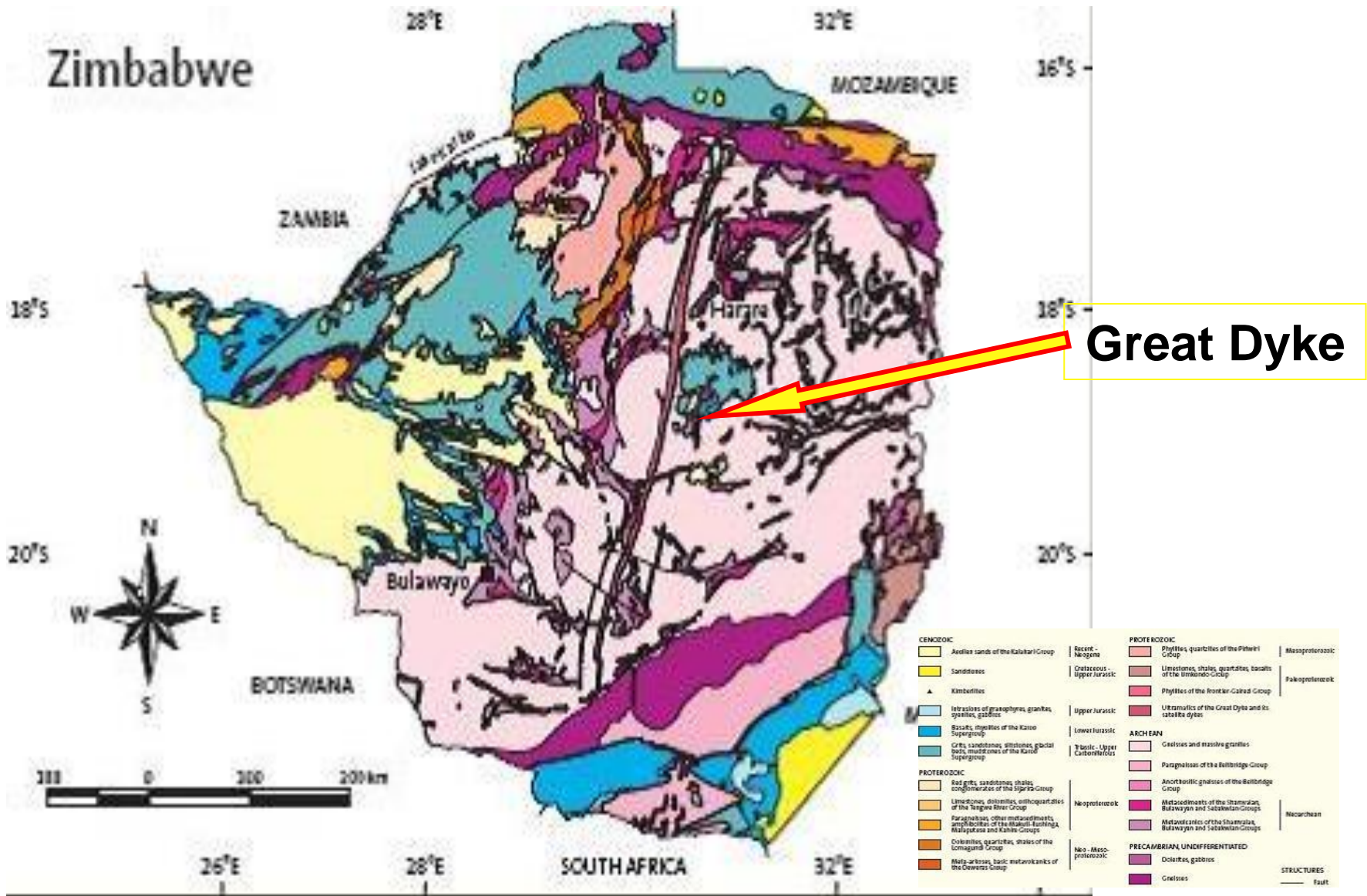


Figure 29. Thin chromite-bearing seams (black) located in the Stillwater Complex. Photograph courtesy of Michael Zientek, U.S. Geological Survey.

Εικόνα 41



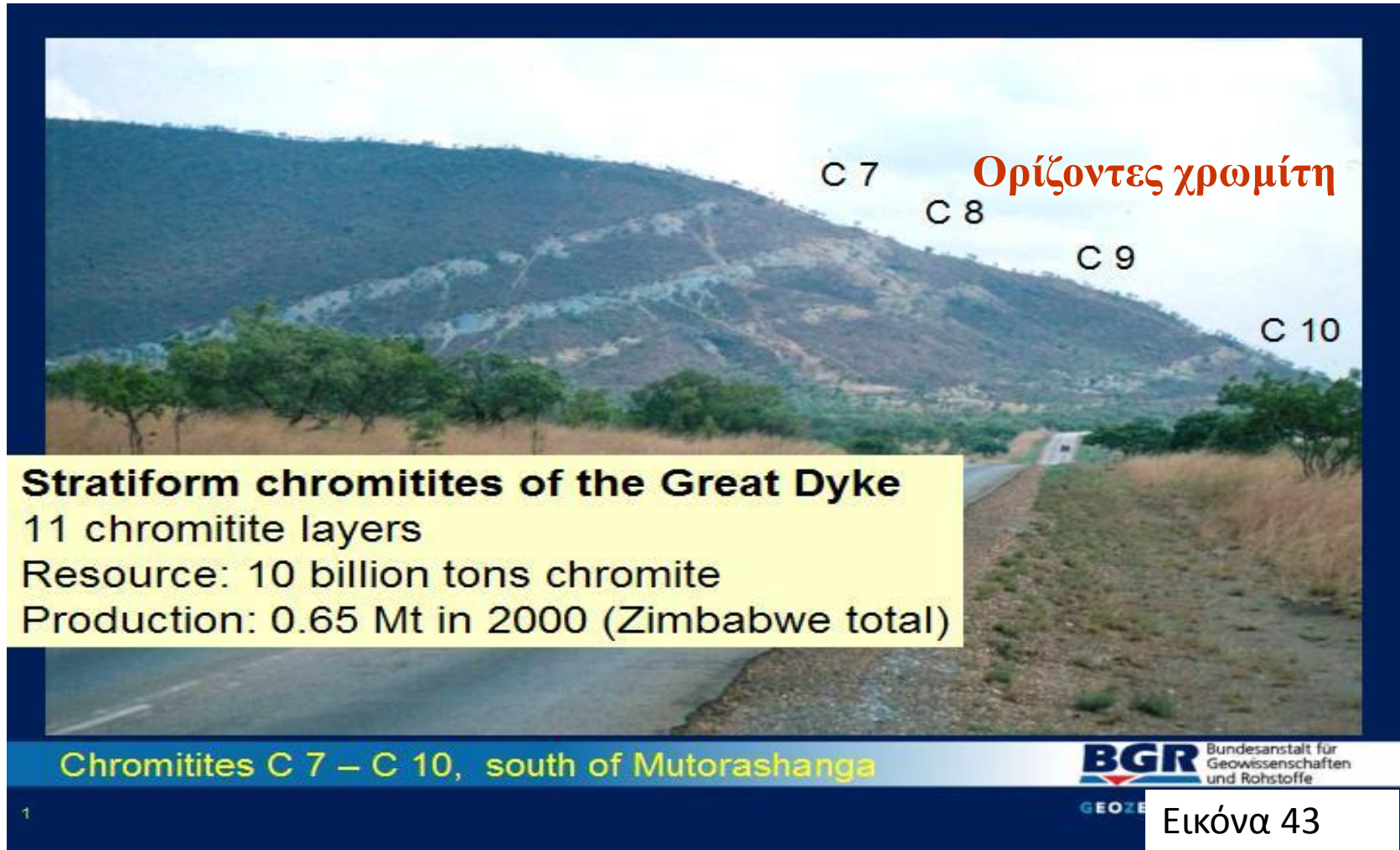


Great Dyke

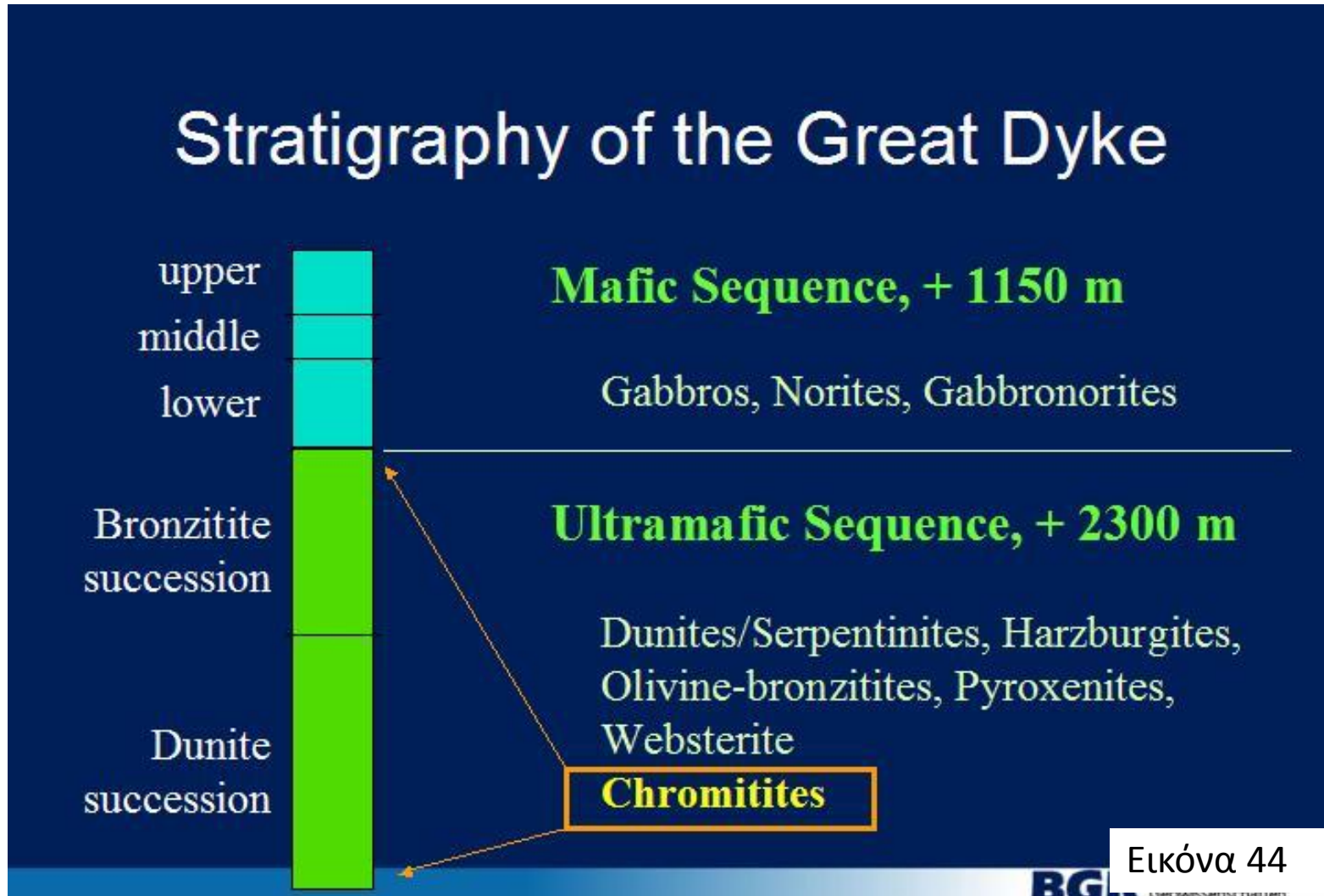
Εικόνα 42



Εστρωμένοι χρωμιτίτες του Great Dyke



Στρωματογραφική στήλη του Great Dyke



Εικόνα 44

BGL

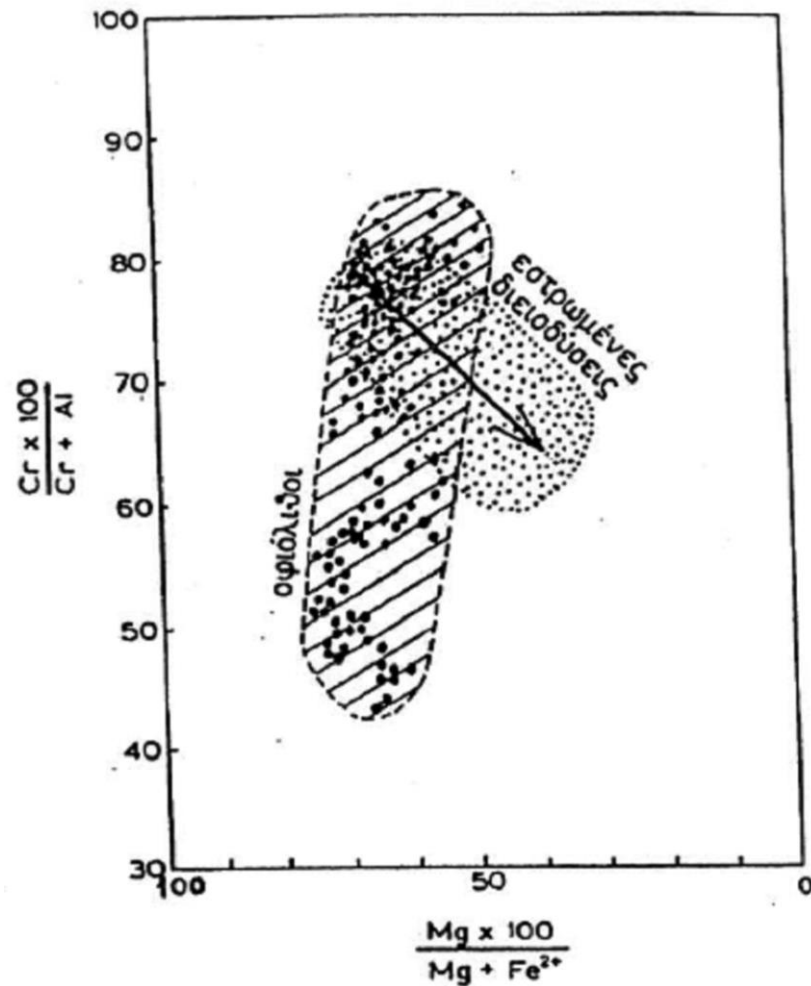


Πώς σχηματίζονται τα κοιτάσματα χρωμίτη;

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

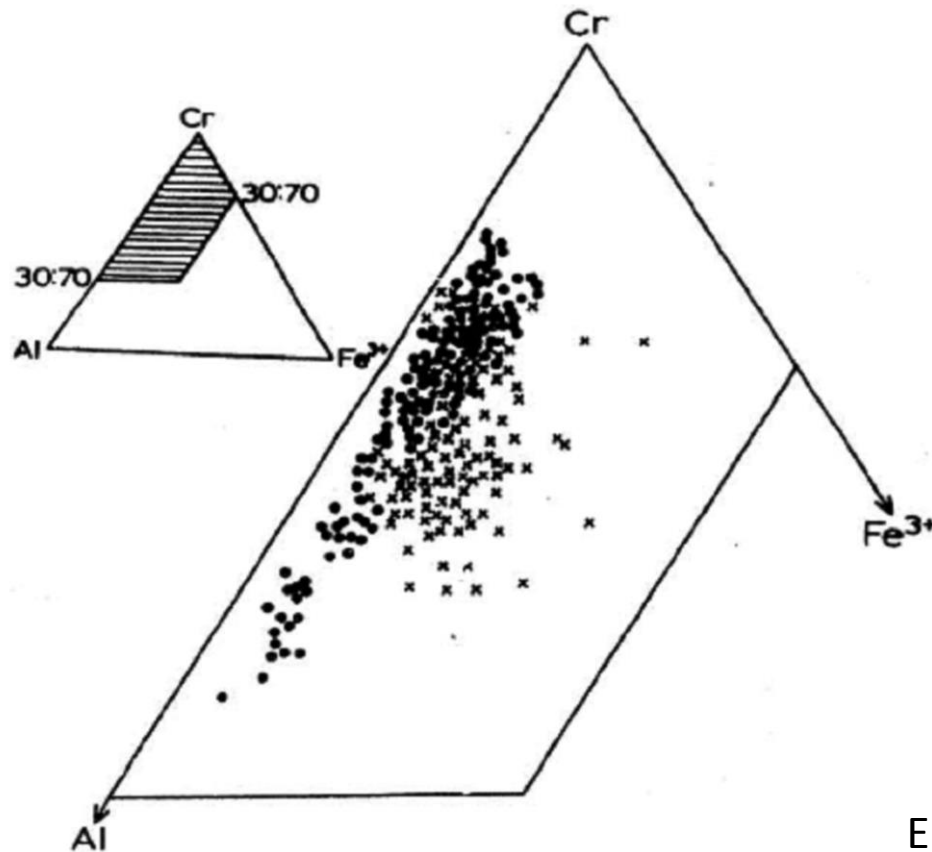


Σύγκριση χημικής σύστασης χρωμίτη σε οφιολιθικά συμπλέγματα και εστρωμένες διεισδύσεις (1/3)



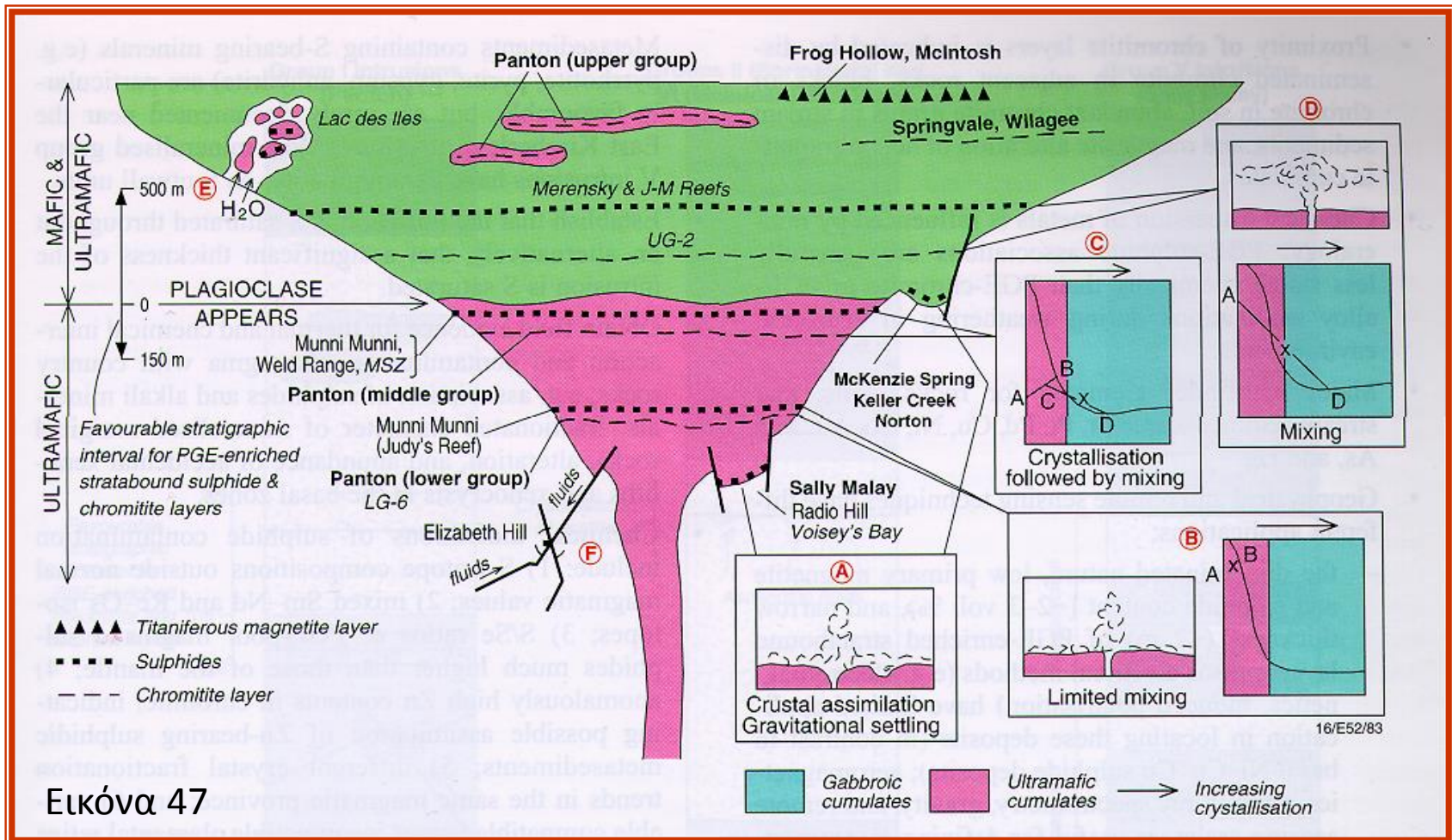
Εικόνα 45

Σύγκριση χημικής σύστασης χρωμίτη σε οφιολιθικά συμπλέγματα και εστρωμένες διεισδύσεις



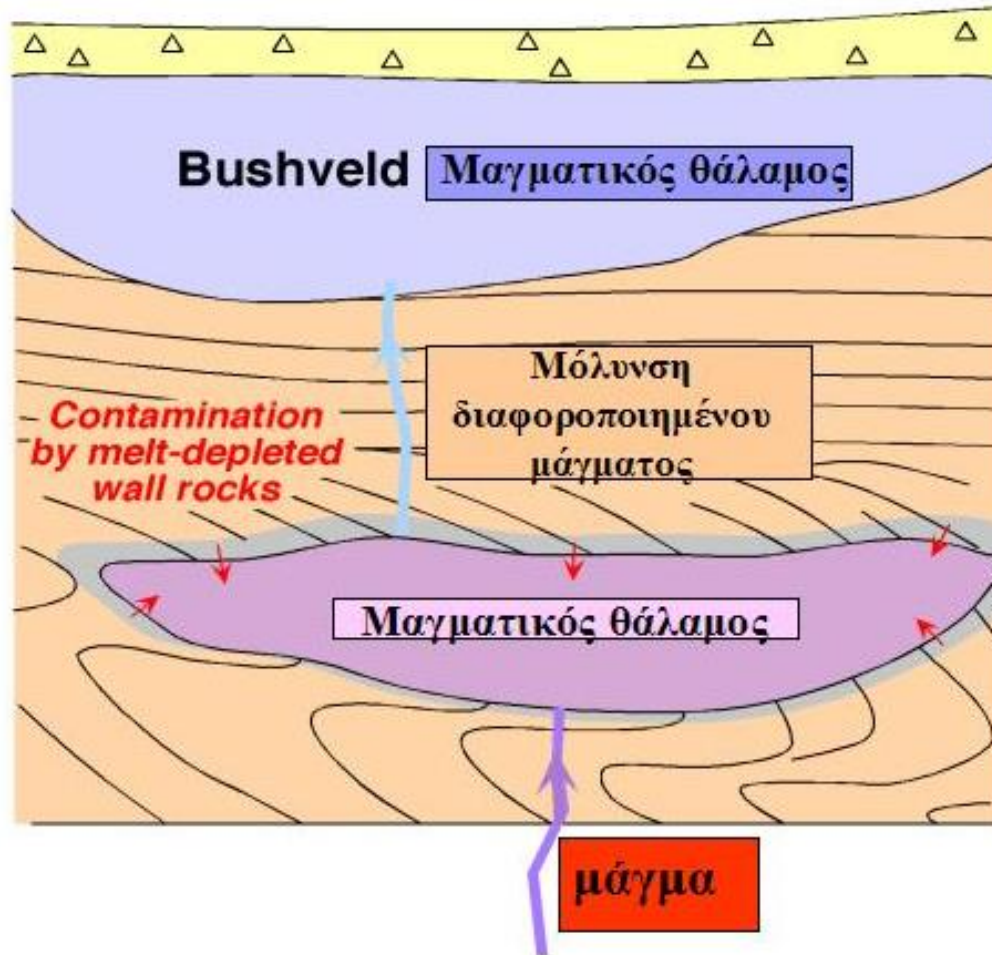
Εικόνα 46

Εστρωμένη διείδυση Bushveld / Ο ρόλος της ανάμειξης των μαγμάτων



Εικόνα 47

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



Εικόνα 47



Τέλος Ενότητας

Κοιτάσματα χρωμίτη

Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 5: Στρωματογραφική στήλη οφιολιθικού συμπλέγματος, Copyright Elsevier. Πηγή: Rotational deformation in the Jurassic Mesohellenic ophiolites, Greece, and its tectonic significance, by Rassios A.E. & Yildirim D., 2009. In Lithos 108:192-206

Εικόνα 10: Γεωλογικός χάρτης Ελλάδας. Copyright GEER. Πηγή: Preliminary report on the principal seismological and engineering aspects of the Mw=6.5 Achaia-Ilia (Greece) earthquake on 8 June 2008. Σύνδεσμος: <http://www.geerassociation.org>

Εικόνα 18: Κατανομή κοιτασμάτων χρωμίτη Παλαιοζωικής ηλικίας. Copyright Geological Society of London. Πηγή: Archean Podiform chromitites and mantle tectonites in ophiolitic melange, North China Craton: A record of Early oceanic mantle process, by Jianghai et al, 2002. Σύνδεσμος: <http://sp.lyellcollection.org>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 19-21: Εικόνες υπερβασικού πετρώματος σε μικροσκόπιο. Copyright Caroline Johnson, Cardiff University. Πηγή: Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan, PhD Thesis. Σύνδεσμος: <http://orca.cf.ac.uk>

Εικόνα 22: Εξέλιξη γεωτεκτονικού περιβάλλοντος. Copyright U.S. Geological Survey. Σύνδεσμος: <http://pubs.er.usgs.gov/>

Εικόνα 24: Τύποι ρευστών και τεκτονικά περιβάλλοντα. Copyright Caroline Johnson, Cardiff University. Πηγή: Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan, PhD Thesis. Σύνδεσμος: <http://orca.cf.ac.uk>

Εικόνα 25: Κοίτασμα χρωμίτη Παλαιοζωικής ηλικίας στα Ουράλια. Copyright Caroline Johnson, Cardiff University. Πηγή: Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan, PhD Thesis. Σύνδεσμος: <http://orca.cf.ac.uk>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 26: 3D μοντέλο κοιτάσματος Kazakhstan. Copyright Caroline Johnson, Cardiff University. Πηγή: Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan, PhD Thesis. Σύνδεσμος: <http://orca.cf.ac.uk>

Εικόνα 27: 3D μοντέλο για το κοίτασμα χρωμίτη στα Ουράλια. Copyright Caroline Johnson, Cardiff University. Πηγή: Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan, PhD Thesis. Σύνδεσμος: <http://orca.cf.ac.uk>

Εικόνα 31: Απόθεση χρωμίτη κατά μήκος αγωγών. Copyright Caroline Johnson, Cardiff University. Πηγή: Podiform chromite at Voskhod, Kazakhstan, PhD Thesis. Σύνδεσμος: <http://orca.cf.ac.uk>

Εικόνα 32: Το μεγαλύτερο κοίτασμα παραγωγής Cr. Copyright LinkedIn Corporation 2015. Σύνδεσμος: <http://www.slideshare.net>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 33: Στρωματογραφική στήλη Bushveld. Copyright U.S. Geological Survey.
Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 34: Στρωματογραφική ακολουθία συμπλέγματος Bushveld. Copyright Schweizerbart Science Publishers. Σύνδεσμος: <http://eurjmin.geoscienceworld.org>

Εικόνα 35: Ορίζοντες χρωμίτη από το Bushveld. Copyright U.S. Geological Survey.
Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 36: Ο χρωμιτίτης UG1 στον ποταμό Dwars. Copyright Regents of the University of Minnesota 2015. Σύνδεσμος: <http://www.d.umn.edu/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (5/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 37: 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 38: 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>

Εικόνα 39: Στρωματογραφική στήλη, Stillwater. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (6/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 40,41: Ορίζοντες χρωμίτη. Copyright U.S. Geological Survey. Πηγή: Stratiform Chromite Deposit Model. Σύνδεσμος: <http://pubs.usgs.gov>

Εικόνα 42: Γεωλογικός χάρτης της Ζιμπάμπουε. Copyright El Source Book 2015. Σύνδεσμος: <http://www.eisourcebook.org>

Εικόνα 43: 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/>



Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (7/8)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

Εικόνα 44: 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/>

Εικόνα 47: 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 (8/8)

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/>

