



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ

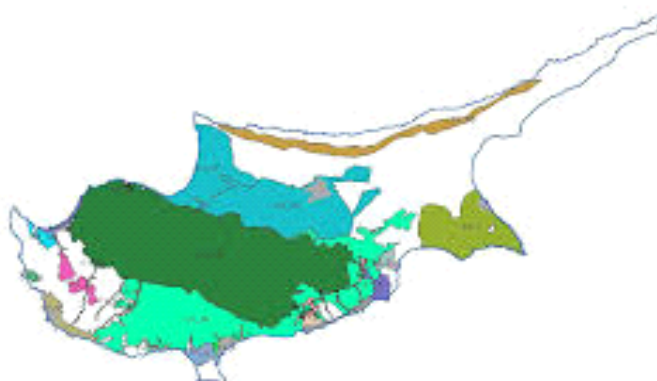


ΖΕΚΕΡΙΕ ΟΓΛΟΥ ΜΠΟΥΣΡΑ

ΑΕΜ 5616

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΓΩΝ ΣΟΥΛΦΙΔΙΩΝ: CU -
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ (ΤΥΠΟΥ ΚΥΠΡΟΥ)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Επιβλέπων καθηγητής: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ Ι. ΜΕΛΦΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2020



ΖΕΚΕΡΙΕ ΟΓΛΟΥ ΜΠΟΥΣΡΑ

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΓΩΝ ΣΟΥΛΦΙΔΙΩΝ: CU -
ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ (ΤΥΠΟΥ ΚΥΠΡΟΥ)

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Βασίλης Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Μπουσρά Ζεκεριέ Ογλού, 2020
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Μπουσρά Ζεκεριέ Ογλού, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

ΗΦΑΙΣΤΕΙΟΓΕΝΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΥΜΠΑΓΩΝ ΣΟΥΛΦΙΔΙΩΝ: CU - ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΙΤΗΣ (ΤΥΠΟΥ ΚΥΠΡΟΥ) – Διπλωματική Εργασία

© Bousra Zekerie Oglou, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2020

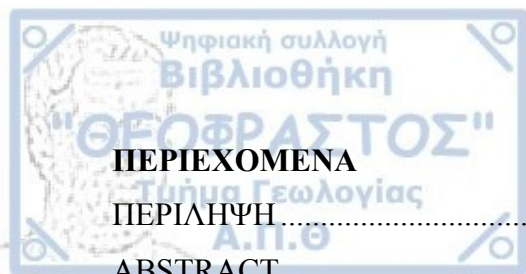
All rights reserved.

Volcanogenic Massive Sulfide Deposits: Cu-pyrite (Cyprus Type) – Bachelor Thesis

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.





ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	3
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1. Σημασία των ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων VMS	6
2. Σύγχρονα υποθαλάσσια συστήματα	17
3. Κοιτάσματα τύπου Κύπρου (Ηλικία).....	20
3.1. Γεωτεκτονικό περιβάλλον.....	24
3.2. Ηφαιστειότητα και Ηφαιστειακά πετρώματα	26
3.3. Υδροθερμικές εξαλλοιώσεις	28
3.4 . Χημική Σύσταση.....	31
4. Συμπεράσματα	35
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	36

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων (VMS), που συνδέονται με ηφαιστειότητα είναι μια σημαντική κατηγορία της γενικότερης ομάδας των κοιτασμάτων "συμπαγών σουλφιδίων" (massive sulfides). Αποτελούν σημαντικές πηγές Zn, Cu, Pb, Ag και Au και πηγές για Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga και Ge. Συνήθως εμφανίζονται ως φακοί πολυμεταλλικών συμπαγών σουλφιδίων που σχηματίζονται στον πυθμένα της θάλασσας ή κοντά σε αυτόν μέσω των εκχύσεων θερμών, πλούσιων σε μέταλλα υδροθερμικών διαλυμάτων. Τα κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα και ταξινομούνται είτε με βάση το βασικό μέταλλο, είτε με την περιεκτικότητα σε χρυσό και τον πετρογραφικό-γεωχημικό χαρακτήρα των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Υπάρχουν περίπου 350 γνωστές αποθέσεις κοιτασμάτων VMS στον Καναδά και πάνω από 800 γνωστές αποθέσεις σε όλο τον κόσμο. Ιστορικά, αντιπροσωπεύουν το 27% της παραγωγής Cu του Καναδά, το 49% του Zn, το 20% του Pb, το 40% του Ag και το 3% του Au. Εντοπίζονται σε ηφαιστειακά πετρώματα με τα παλαιότερα να έχουν ηλικία 3,4 Ga. Το πιο συνηθισμένο χαρακτηριστικό μεταξύ όλων των τύπων κοιτασμάτων VMS είναι ότι σχηματίζονται σε γεωτεκτονικά περιβάλλοντα έκτασης, και πιο συγκεκριμένα σε μεσο-ωκεάνιες ράχες και ηφαιστειακά τόξα. Τα περισσότερα παλαιά κοιτάσματα VMS που διατηρούνται ακόμη στο γεωλογικό χρόνο έχουν σχηματιστεί κυρίως σε ωκεάνια και ηπειρωτικά τόξα, και οπισθοτόξιες λεκάνες. Οι περισσότερες, αλλά όχι όλες οι σημαντικές περιοχές εξόρυξης VMS ορίζονται από κοιτάσματα που σχηματίζονται σε ρήγματα. Η ομαδοποίησή τους αποδίδεται περαιτέρω σε μια κοινή πηγή θερμότητας που ενεργοποιεί συστήματα μεταφοράς ρευστών μεγάλης κλίμακας. Αυτές οι υπο-ηφαιστειακές διεισδύσεις μπορούν επίσης να τροφοδοτούν με μέταλλα τα υδροθερμικά συστήματα VMS..



ABSTRACT

Volcanogenic massive sulfide (VMS) deposits, also known as volcanic-associated, volcanic-hosted, and volcano-sedimentary-hosted massive sulfide deposits, are major sources of Zn, Cu, Pb, Ag and Au, and significant sources for Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga and Ge. They typically occur as lenses of polymetallic massive sulfide that form at or near the seafloor in submarine volcanic environments, and are classified according to either base metal content, gold content and host-rock lithology. There are close to 350 known VMS deposits in Canada and over 800 known worldwide. Historically, they account for 27% of Canada's Cu production, 49% of its Zn, 20% of its Pb, 40% of its Ag and 3% of its Au. They are discovered in submarine volcanic terranes that range in age from the 3.4 Ga to actively-forming deposits in modern seafloor environments. The most common feature among all types of VMS deposits is that they are formed in extensional tectonic settings, including both oceanic seafloor spreading and arc environments. Most ancient VMS deposits that are still preserved in the geological record formed mainly in oceanic and continental nascent-arc, rifted arc and back-arc settings. Primitive bimodal mafic volcanic-dominated oceanic rifted arc and bimodal, felsic-dominated siliciclastic continental back-arc terranes contain some of the world's most economically important VMS districts. Most, but not all significant VMS mining districts are defined by deposit clusters formed within rifts or calderas. Their clustering is further attributed to a common heat source that triggers large-scale sub-seafloor fluid convection systems. These subvolcanic intrusions may also supply metals to the VMS hydrothermal systems through magmatic devolatilization.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ-ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η νήσος Κύπρου βρίσκεται ΒΑ άκρο της Ανατολικής Μεσογείου και γεωλογικά αποτελείται μια αυτοτελή γεωτεκτονική μονάδα, η οποία σχετίζεται έμμεσα με την προέκταση του Δυναροταυρικού Τόξου και συγκεκριμένα με το εξωτερικότερο ιζηματογενές τμήμα του. Εντάσσεται εν μέρει στο Αλπικό ορογενετικό σύστημα και εν μέρει στη νεώτερη Μεσογειακή ορογένεση.

Στην Κύπρο διακρίνονται τρεις μορφολογικές μονάδες κατά την Ανατολική-Δυτική μορφολογική και γεωλογική της ανάπτυξη: η οροσειρά του Τρόοδος με την υψηλότερη κορυφή τον Όλυμπο (1950 μ) στο Κεντρικό-Νότιο Τμήμα της Νήσου, η οροσειρά του Πενταδάκτυλου (1024 μ) κατά μήκος της βόρειας ακτής της νήσου παρά την Κυρήνεια, και η ενδιάμεση στις δύο οροσειρές πεδινή περιοχή της Μεσαορίας.

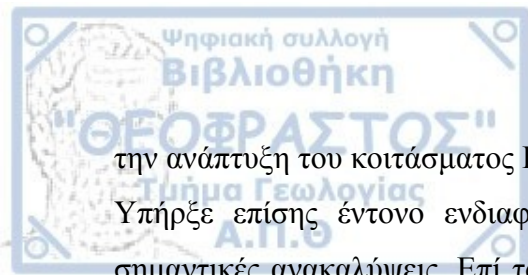
Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη των ηφαιστειακών κοιτασμάτων των συμπαγών πετρωμάτων (VMS) παγκοσμίως και με σκοπό την καλύτερη αναγνώριση της γεωλογίας της Κύπρου και των αντίστοιχων κοιτασμάτων σε αυτών που περιέχουν. Η παρούσα εργασία έχει ως σκοπό την ιστορική ανασκόπηση της μεταλλευτικής δραστηριότητας της Κύπρου, την αναφορά στη γεωλογική δομή και των γεωτεκτονικό περιβάλλον, των τρόπο δημιουργίας και του μηχανισμού γένεσης των συμπαγών σουλφιδίων της Κύπρου, την καταγραφή της ορυκτολογικής και χημικής σύστασης αντίστοιχων κοιτασμάτων.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας–Πετρολογίας–Κοιτασματολογίας, κ. Βασίλη Μέλφο ευχαριστώ για την ανάθεση του θέματος, το αμείωτο ενδιαφέρον και τις χρήσιμες συμβουλές του.



Τα αποθέματα των συμπαγών σουλφιδίων του Κύπρου βρίσκονται εντός της σειράς Pillow Lava του οφιολίθου του Τροόδου, το οποίο θεωρείται γενικά ότι αποτελεί θραύσμα του πυθμένα του Μεσοζωικού ωκεανού ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ της Ευρασίας και της Αφρικής (Gass και Masson-Smith, 1963, Moores and Vine , 1971). Τα κοιτάσματα είναι κυρίως πλούσιες σε Cu με δευτερεύοντα Zn, αν και είναι εντελώς συνηθισμένα πυριτικές αποθέσεις χωρίς Cu ή Zn.

Τα αποθέματα ηφαιστειακών συμπαγών σουλφιδίων (VMS) έχουν συμβάλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη της Νέας Γης για περισσότερο από έναν αιώνα. Στα παραδείγματα περιλαμβάνονται σημαντικοί παραγωγοί του παρελθόντος (π.χ. Tilt Cove, Rambler και τα κοιτάσματα Buchans), αναπτυσσόμενοι παραγωγοί (π.χ., το κοιτάσμα Duck Pond) και νέες ανακαλύψεις που έχουν μελλοντικό δυναμικό παραγωγής (π.χ., η ζώνη τείχους Rambler και τα κοιτάσματα Boomerang). Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων (VMS) στο Newfoundland έχει επίσης μια σημαντική συμβολή στην κατανόηση των περιφερειακών και των καταθέσεων κλίμακας ελέγχους για τον εντοπισμό και την γένεση του VMS μεταλλοφορίας. Για παράδειγμα, οι στρωματογραφικές και ηφαιστειακές μελέτες των Buchans orebodies (π.χ. Thurlow and Swanson, 1981) ήταν μερικές από τις πρώτες μελέτες που απεικονίζουν την επίδραση των τοπικών στρωματογραφικών περιβαλλόντων στις τοποθεσίες των κοιτασμάτων VMS. Ομοίως, οι περιφερειακές λιθογεωχημικές μελέτες των ηφαιστειακών πετρωμάτων στο κεντρικό Newfoundland περιέγραψαν τις βασικές σχέσεις μεταξύ των τύπων μάγματος, της τεκτονικής και του σχηματισμού κοιτασμάτων VMS, οι οποίες φαίνεται να συνδέονται με επεισόδια arc-rifting. Αυτές οι έννοιες έχουν εφαρμοστεί αλλού και έχουν ληφθεί παρόμοια αποτελέσματα, υποδηλώνοντας ότι έχουν ευρύτερη δυνατότητα εφαρμογής (π.χ. Kerrich και Wyman, 1997, Syme et al., 1999). Οι ισοτοπικές μελέτες των κοιτασμάτων VMS σε άλλες περιοχές απέδωσαν παρόμοια συμπεράσματα (π.χ. Thorpe, 1999; Mortensen, et.al., 2006). Αν και υπάρχει μακρά ιστορία εξερεύνησης και εξόρυξης κοιτασμάτων VMS στη Νέα Γη, η έρευνα σχετικά με αυτές τις αποθέσεις των κοιτασμάτων ήταν σχετικά περιορισμένη από το 1990. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η γνώση των παλαιών συστημάτων VMS αλλού και των σύγχρονων συστημάτων VMS που σχετίζονται με κέντρα εξάπλωσης και τα νησιωτικά τόξα έχει αναπτυχθεί σημαντικά. Τα τελευταία χρόνια, το ενδιαφέρον για την περιοχή Newfoundland αυξήθηκε μετά από ενδιαφέρουσες νέες ανακαλύψεις (π.χ. Boomerang) και

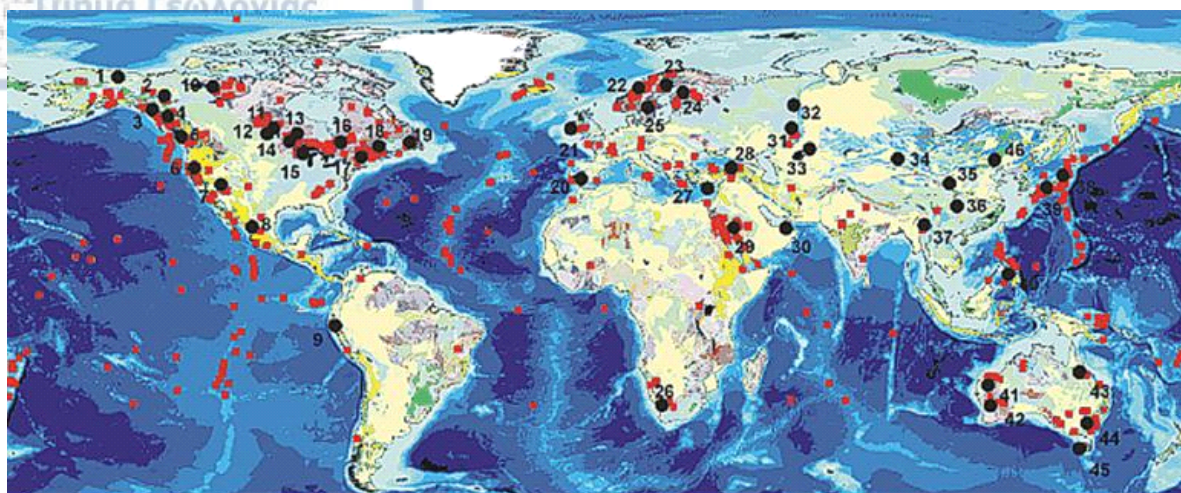


την ανάπτυξη του κοιτάσματος Duck Pond, που ανακαλύφθηκε αρχικά τη δεκαετία του 1980. Υπήρξε επίσης έντονο ενδιαφέρον για την περιοχή Buchans, αν και δεν έχουν γίνει σημαντικές ανακαλύψεις. Επί του παρόντος, υπάρχει ένα υψηλό επίπεδο εξερεύνησης στην περιοχή, που αντικατοπτρίζει τις υψηλές τιμές των εμπορευμάτων για Cu, Zn και Au. Αυτό το σύντομο έγγραφο παρέχει μια επισκόπηση της περιφερειακής ρύθμισης των καταθέσεων VMS του Newfoundland, στο πλαίσιο των σύγχρονων ταξινομήσεων για τέτοιες κοιτάσματα και τα περιβάλλοντά τους.

1. Σημασία των ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων VMS

Τα κοιτάσματα VMS σχηματίζονται σε υποθαλάσσια ηφαιστειακά ή ηφαιστειο-ιζηματογενή περιβάλλοντα από την κυκλοφορία των εμπλουτισμένων σε μεταλλικές υδροθερμικές ρευστοί τα οποία αποθέτουν τα σουλφίδια είτε εντός των ηφαιστειακών είτε εντός των ιζηματογενών πετρωμάτων. Αποτελούν σημαντικό πηγή Cu, Pb, Zn, Au, Ag, Sn, Se, Cd, In, Bi, Co, Mn, Te, Ga και Ge ενώ περιέχουν και σημαντικές ποσότητες όπως, Sb και Hg. Σύνδρομα ορυκτά είναι ο χαλαζίας, ο ασβεστίτης και ο δολομίτης, παρατηρείται συχνά η παρουσία χλωρίτη και σερικίτη ενώ σε σπάνιες περιπτώσεις διακρίνεται και η ύπαρξη βαρύτη. Υπάρχουν συνολικά περίπου 350 γνωστά VMS κοιτάσματα στον Καναδά και πάνω από 800 σε όλο τον κόσμο.

Υπάρχουν περίπου 800 γνωστές αποθέσεις VMS παγκοσμίως με γεωλογικά αποθέματα άνω των 200.000 τόνων.. Μεταξύ των μεγαλύτερων είναι η Neves Corvo στην Iberian Pyrite Belt (IPB) της Ισπανίας, με αποθέματα άνω των 270 Mt t, με 8,5 εκατομμύρια τόνους περιεχόμενων μετάλλων να έχουν αξία άνω των 16 δισεκατομμυρίων δολαρίων (ΗΠΑ) (Barrie και Hannington, 1999). Ολόκληρη η Ιβηρική Πυρίτη Ζώνη περιέχει 88 αποθέσεις, με 7 πάνω από 100 Mt, που περιέχουν συνολικά 1.575 δισεκατομμύρια τόνους μεταλλεύματος που περιέχουν 62,6 Mt Zn + Cu + Pb (Carvalho et al, 1999). Οι επόμενες μεγαλύτερες περιοχές είναι τα Ουράλια και το Rudny-Altai της Ρωσίας και του Καζακστάν, με πάνω από 70 Mt περιεχόμενα μέταλλα το καθένα. Ο Καναδάς περιέχει 4 τεράστια κοιτάσματα VMS (Windy Craggy, Brunswick No. 12, Kidd Creek και Horne), οι οποίες ορίζονται ως στο ανώτερο 1% των παγκόσμιων κοιτασμάτων VMS σε σχέση με τα συνολικά αρχικά αποθέματα (Σχήμα 1.1). Στον Καναδά, η μεγαλύτερη περιοχή εξόρυξης VMS είναι το Bathurst, New Brunswick, το οποίο περιείχε πάνω από 300 Mt μεταλλεύματος που περιείχε 30 Mt συνδυασμένων Zn, Cu και Pb (Σχήμα 1.2, Σχήμα 1.6α). Το κοιτάσμα 128 Mt Brunswick No. 12 και μόνο περιείχε 16,4 Mt μετάλλου. Ακολουθεί το κοιτάσμα 138,7 Mt Kidd Creek που περιέχει 12,6 Mt μετάλλου. Το μεγαλύτερο γνωστό Καναδικό κοιτάσμα VMS είναι η 297 Mt Windy Craggy, αλλά περιέχει μόνο 4,1 Mt μετάλλων. Το κοιτάσμα των 50 Mt Horne περιέχει 2,2 Mt Zn + Cu + Pb, μαζί με πάνω από 330 t Au, καθιστώντας την επίσης μια παγκόσμια κοιτάσμα χρυσού (Σχήμα 1.6β). Το κοιτάσμα 58 Mt LaRonde VMS περιέχει 258 Mt χρυσού και λόγω της υψηλής αναλογίας Au / base metal ($Au \text{ ppm} / Zn + Cu + Pb\% = 1,9$) ταξινομείται από την Agnico-Eagle Inc. ως κοιτάσμα χρυσού παρά ένα κοιτάσμα VMS.



1. Alaska, Brooks Range 33 Mt	11. Ruttan, Manitoba 70 Mt	22. Tondheim Norway >100 Mt	33. Rudny Altai >100 Mt
2. Finlayson, Yukon 20 Mt	12. Flin Flon-Snow Lk 150 Mt	23. Skellefte Sweden 70 Mt	34-36. China >500 Mt
3. Windy Craggy 300 Mt	13. Geco-Manitouwadge 60 Mt	24. Outokumpu-Pyhäslm 90 Mt	35. Bawdwin-Laochang >40 Mt
4. Northern Cordillera 100 Mt	14. Sturgeon Lake 35 Mt	25. Bergslagen-Orjarvi 110 Mt	38. Hokuroku Japan 80 Mt
5. Myra Falls 30 Mt	15. Ladysmith-Rhineland 80 Mt	27. Troodos Cyprus 35 Mt	39. Besshi Japan 230 Mt
6. Shasta, Klamath 35 Mt	16. Abitibi 600 Mt	28. Turkey, Black Sea 200 Mt	40. Philippines 65 Mt
7. Jerome, Arizona 40 Mt	18. Bathurst 250 Mt	29. Saudi Arabia 70 Mt	41-42. WA >75 Mt
8. Central Mexico 120 Mt	19. Central Nfld. 75 Mt	30. Semail Oman 30 Mt	43. Central Queensland
9. Tambo Grande 200 Mt	20. Iberian Pyrite Belt 1000 Mt	31. Southern Urals >400 Mt	44. Lachlan Fold Belt
10. Slave 20-30 Mt	21. Avoca 37 Mt	32. Central Urals >100 Mt	45. Mt. Read Tasmania 150 Mt

Σχημα 1.1 Κατανομή παλαιών και σύγχρονων κοιτασμάτων VMS, με σημαντικές περιοχές που επισημαίνονται σε σχέση με γνωστά συνολικά γεωλογικά αποθέματα. Από το έργο GSC World Minerals (Hannington et al., 1999)

Τα κοιτάσματα VMS ομαδοποιούνται σύμφωνα με το βασικό μέταλλο, το περιεχόμενο σε χρυσό και τον πετρογραφικό γεωχημικό χαρακτήρα των ηφαιστειακών πετρωμάτων (Σχήμα 1.7-1.9). Η ταξινόμηση βασικών μετάλλων που χρησιμοποιείται από τους Franklin et al. (1981) και εκλεπτυσμένο (τροποποιήθηκε) από το Large (1992) είναι ίσως το πιο κοινό. Τα κοιτάσματα VMS χωρίζονται σε ομάδες Cu-Zn, Zn-Cu και Zn-Pb-Cu σύμφωνα με τους περιορισμένους λόγους αυτών των τριών μετάλλων (Σχήμα 1.7). Οι κατηγορίες Cu-Zn και Zn-Cu για κοιτάσματα Καναδά βελτιώθηκαν περαιτέρω από τους Morton και Franklin (1987) σε τύπους Noranda και Mattabi αντίστοιχα, συμπεριλαμβάνοντας τον χαρακτήρα των ηφαιστειακών πετρωμάτων των βασικών και όξινων (mafic vs. felsic, effusive vs. volcanoclastic) (κυριώδης σε χλωρίτης έναντι σερίτη-χαλαζία ± πλούσιο σε ανθρακικό άλας). Η κατηγορία Zn-Pb-Cu προστέθηκε από το Large (1992) προκειμένου να αντιπροσωπεύσει πληρέστερα τα κοιτάσματα VMS της Αυστραλίας (Σχήμα 1.7). Οι Poulsen και Hannington (1995) δημιούργησαν έναν απλό διττό (bimodal) ορισμό των «κανονικών» έναντι των «πλούσιων σε Au» VMS κοιτασμάτων (Σχήμα 1.8). Αυτό αρχικά προοριζόταν για τον εντοπισμό κοιτασμάτων που είναι μεταβατικά μεταξύ VMS και επιθερμικών κοιτασμάτων

(π.χ. Sillitoe et al., 1996) (Σχήμα 1.9). Περαιτέρω έρευνα έχει δείξει ένα πιο περίπλοκο φάσμα συνθηκών για τη δημιουργία πλούσιου σε Au VMS κοιτασμάτων που σχετίζεται με το βάθος του νερού, την κατάσταση οξείδωσης, τη θερμοκρασία των υγρών εναπόθεσης μετάλλων και τις πιθανές μαγματικές διεισδύσεις (π.χ. Hannington et al., 1999a). Στην ταξινόμηση των Poulsen και Hannington (1995) τα πλούσια σε Au VMS κοιτάσματα ορίζονται αυθαίρετα ως εκείνα στα οποία οι συγκεντρώσεις του Au σε ppm είναι μεγαλύτερες από τα συνδυασμένα βασικά μέταλλα (Zn + Cu + Pb σε βάρος%: Σχήμα 1.8). Μια τρίτη ταξινόμηση που κερδίζει δημοτικότητα στον Καναδά περιέχει πέντε κατηγορίες που προτείνουν οι Barrie και Hannington (1999) για να δείξουν την κυρίαρχη λιθολογία των host-rock. Οι λιθολογίες του πετρώματος ξενιστή περιλαμβάνουν στρώματα έως 3000 μέτρα κάτω από το κοίτασμα και έως 5000 μέτρα κατά μήκος της παράταξης. Η σειρά αυτής της ομαδοποίησης αντικατοπτρίζει όχι μόνο μια προοδευτική αλλαγή από μια λεηλατημένη σε ένα πιο ηφαιστειακό κυριαρχούμενο περιβάλλον, αλλά και ένα στο οποίο τα όξινα (felsic) ηφαιστειακά πετρώματα γίνονται γενικά πιο εμφανή. Αυτές οι λιθολογικές ομάδες συσχετίζονται γενικά με διαφορετικές τεκτονικές κινήσεις.

Όπως το αναφέρεται και παραπάνω τα κοιτάσματα VMS μπορούν να ταξινομηθούν και να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με: i) το περιεχόμενο τους σε βασικά μέταλλα, ii) τα περιβάλλοντα πετρώματα και iii) το γεωτεκτονικό περιβάλλον. Ανάλογα με το περιεχόμενο τους σε βασικά μέταλλα διακρίνονται 3 τύποι κοιτασμάτων: α) Τύπος Zn-Cu, β) Τύπος Pb-Zn-Cu-Ag και γ) Τύπος Cu-Σιδηροπυρίτη (Cyprus type)

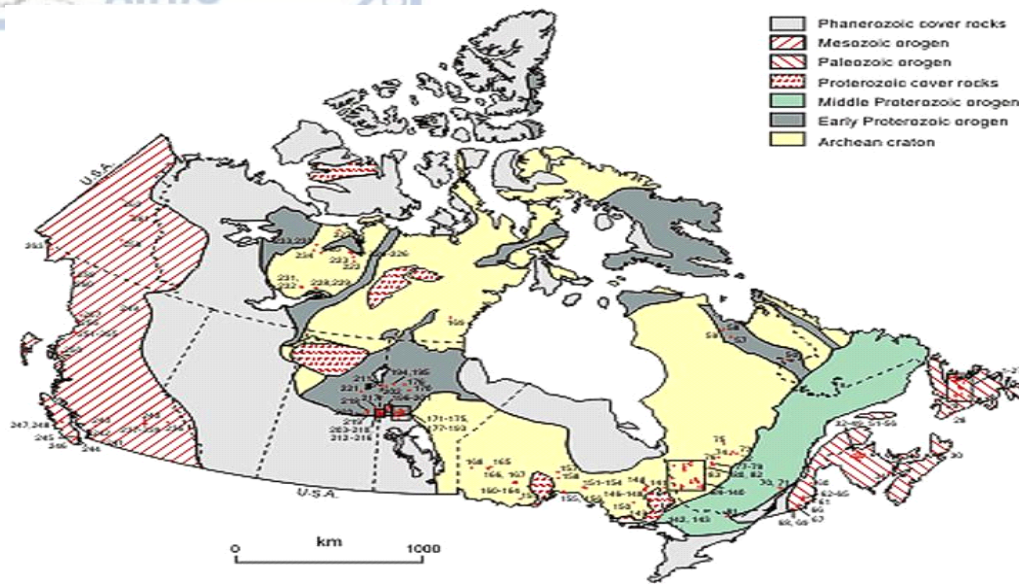
α) Τύπος Zn-Cu : Τα κοιτάσματα αυτά περιέχουν στη σύστασή τους μεγάλες ποσότητες Zn και Cu. Επιπλέον, περιέχουν σχεδόν πάντα Au και Ag και κάποιες φορές και Pb. Η ορυκτολογική τους σύσταση αποτελείται κατά κύριο λόγο από χαλκοπυρίτη και σφαλερίτη ενώ συμμετέχουν σε μικρότερο ποσοστό σιδηροπυρίτης, μαγνητοπυρίτης και μαγνητίτης. Τα πετρώματα στα οποία φιλοξενούνται τα κοιτάσματα αυτά είναι ηφαιστειακά πετρώματα βασαλτικής έως ρυολιθικής σύστασης ασβεσταλκαλικού, θολεϊτικού ή ενδιάμεσου χαρακτήρα. Στη βάση σχηματίζονται βασαλτικά πετρώματα από εκτεταμένες εκχύσεις από βαθιά ρήγματα. Στη συνέχεια η ηφαιστειότητα δημιουργεί δόμους και διαφοροποιείται προς τα όξινα μέλη. Τα ιζήματα που παρεμβάλλονται είναι: χημικά ιζήματα (πυριτιόλιθοι, σιδηρούχοι σχηματισμοί), πυριτικοί τόφοι και ηφαιστειογενείς γραουβάκες. Το γεωτεκτονικό περιβάλλον απόθεσης των σουλφιδίων και των πετρωμάτων δείχνει συνθήκες βύθισης στο πολύ αρχικό στάδιο ενός τεκτονικού κύκλου. Τα πιο χαρακτηριστικά

παραδείγματα κοιτασμάτων είναι Αρχαϊκής ηλικίας όπως στο Timmins (Οντάριο, Καναδάς), Noranda (Κεμπέκ, Καναδάς), United Verde (Αριζόνα, ΗΠΑ) κ.ά

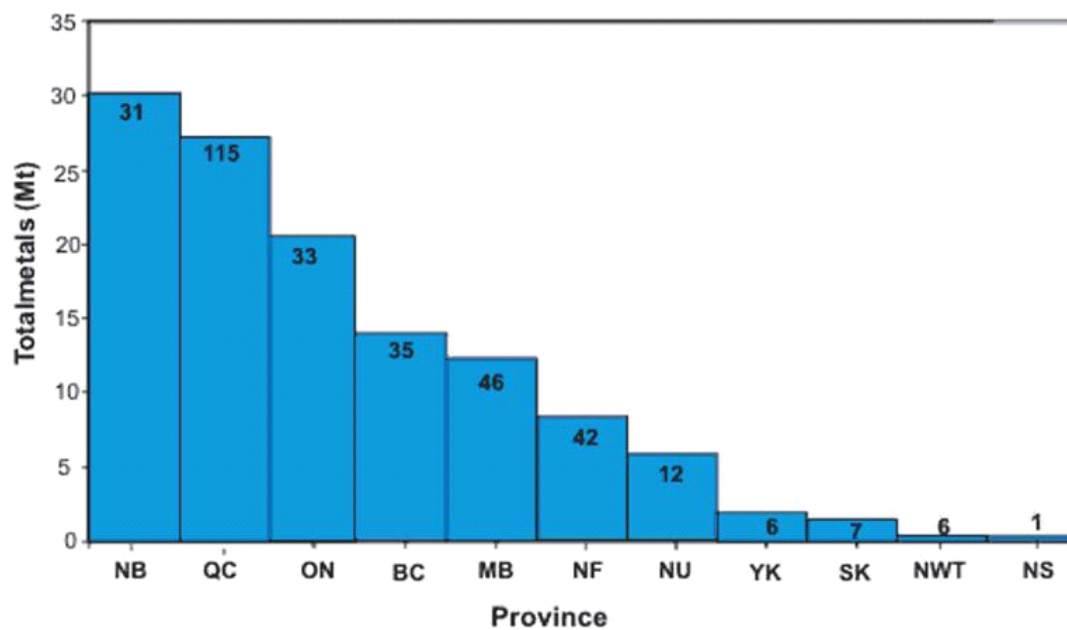
β) Τύπος Pb-Zn-Cu-Ag: Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου χαρακτηρίζονται πλούσια σε Pb και Zn, περιέχουν σημαντικές ποσότητες σε Ag και οι ποσότητες του Cu κρίνονται αμελητέες. Ορυκτολογική σύσταση τους αποτελείται από σιδηροπυρίτης, σφαλερίτης, γαληνίτης, χαλκοπυρίτης, τετραεδρίτης-τενναντίτης και ίχνη μαγνητοπυρίτη, βορνίτη, άργυρο. Ενώ τα σύνδρομα ορυκτά του είναι τα ανθρακικά ορυκτά, γύψος, ανυδρίτης, βαρύτης. Τα πετρώματα που φιλοξενούν τα κοιτάσματα αυτά είναι ηφαιστειακά πετρώματα ενδιάμεσης έως όξινης σύστασης ασβεσταλκαλικού χαρακτήρα και έχουν μορφές θόλων και δόμων. Η ιζηματογένεση περιλαμβάνει ιζήματα (γραουβάκες, μαγγανιούχοι ή γραφιτικοί αργιλλίτες και σχιστόλιθοι). Το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού είναι ενός μεταγενέστερου σταδίου από ότι ο πρώτος τύπος, δηλαδή σε περιβάλλον όψιμης κατάδυσης. Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου πρωτοεμφανίζονται σε Προτεροζωικά πετρώματα. Χαρακτηριστικό παράδειγμα των κοιτασμάτων αυτών αποτελούν τα κοιτάσματα Kuroko της Ιαπωνίας. Άλλα σπουδαιότερα κοιτάσματα είναι: Errington and Vermilion Lake (Οντάριο, Καναδάς), Mt. Isa (Αυστραλία), East Shasta (Καλλιφόρνια). Τα κοιτάσματα τύπου Kuroko είναι πολυμεταλλικά κοιτάσματα σουλφιδίων τα οποία είναι συνδεδεμένα με τη Μειοκαινική όξινη ηφαιστειακή δραστηριότητα της Ιαπωνίας, περιέχουν μεγάλες ποσότητες σε Au και Ag ενώ το μέταλλευμα και οι συνοδοί πετρογραφικοί τύποι ακολουθούν κατακόρυφη στρωμάτωση.

γ) Τύπος Cu-Σιδηροπυρίτη (Cyprus type): Τα κοιτάσματα αυτά περιέχουν σημαντικές ποσότητες Cu, καθόλου Pb, ελάχιστο Zn και οι ποσότητες του Au επικρατούν σε σχέση με αυτές του Ag. Οι ορυκτολογική σύσταση του αποτελείται από σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης και ίχνη μαγνητοπυρίτη, σφαλερίτη, μαρκασίτη. Τα συνοδά μαγματικά πετρώματα είναι βασικής-υπερβασικής σύστασης θολεϊτικού χαρακτήρα και ανήκουν σε οφιολιθική ακολουθία. Παρατηρούνται φακοί συμπαγούς μεταλλεύματος Cu-σιδηροπυρίτη σε βασαλτικές pillow lavas, προϊόν υποθαλάσσιων εκχύσεων σε σχετικά ήρεμα βαθιά νερά. Τα όξινα ηφαιστειακά απουσιάζουν ή είναι σπάνια. Τα συνοδά ιζηματογενή πετρώματα περιλαμβάνουν πυριτικούς ραδιολαρίτες, σιδηρούχους και μαγγανιούχους σχηματισμούς. Το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού δείχνει λέπτυνση και διάρρηξη του φλοιού και απομάκρυνση των λιθοσφαιρικών πλακών. Τα κοιτάσματα του τύπου αυτού ανήκουν στο Φανεροζωικό. Χαρακτηριστικά παραδείγματα: το Παλαιοζωικής ηλικίας κοιτάσμα στο Bay of Islands (Newfound island, Καναδάς) και τα Μεσοζωικής ηλικίας κοιτάσματα της Κύπρου

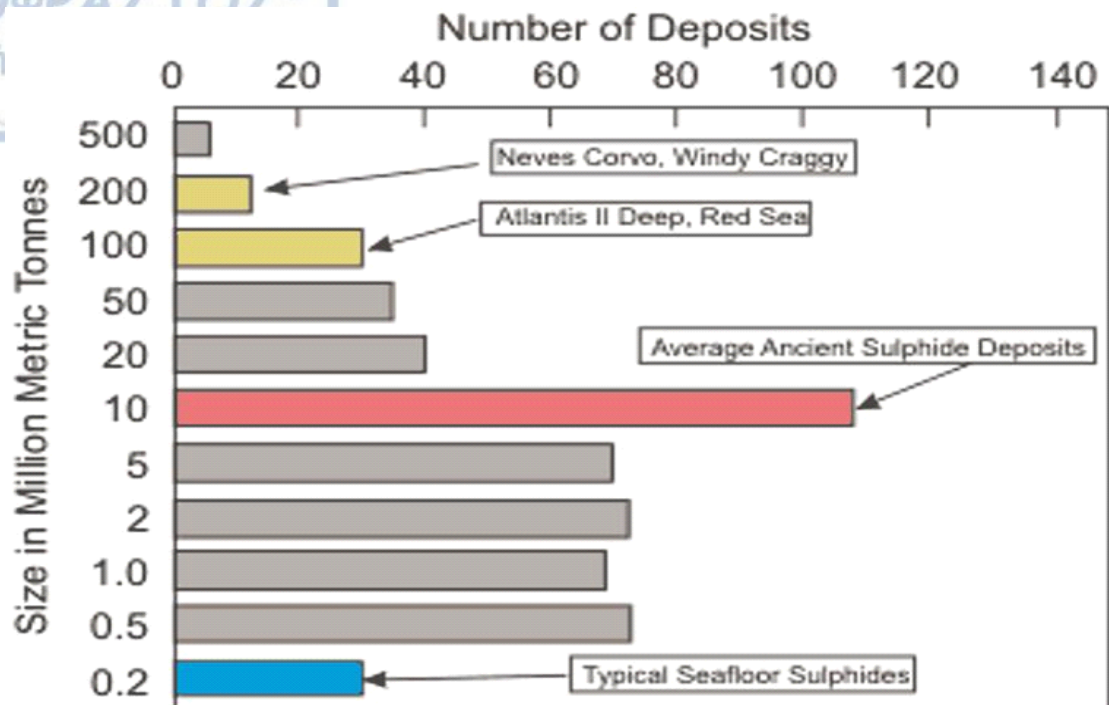
και της Τουρκίας. Παρόμοιες συνθήκες υπάρχουν σήμερα στα συστήματα μεσοωκεάνιων ράχων.



Σχήμα 1.2: Κατανομή κοιτασμάτων VMS στον Καναδά ανά γεωλογικό χρόνο. Οι αριθμοί αντιστοιχούν σε κοιτάσματα που αναφέρονται στην εθνική βάση δεδομένων VMS.



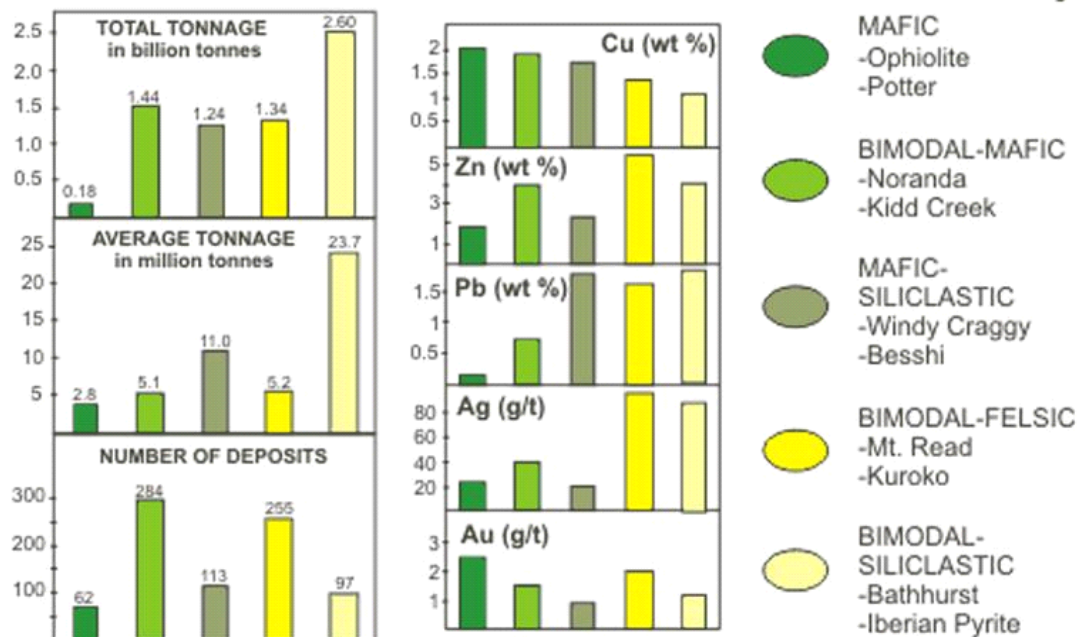
Σχήμα 1.3: Ιστόγραμμα της συνολικής χωρητικότητας των βασικών μετάλλων από γνωστά κοιτάσματα VMS ανά περιοχή, καθώς και του αριθμού των κοιτασμάτων από τα οποία υπολογίστηκε η συνολική χωρητικότητα. Τα συνολικά μέταλλα αντιπροσωπεύουν γεωλογικά αποθέματα.



Hannington et al., 1995

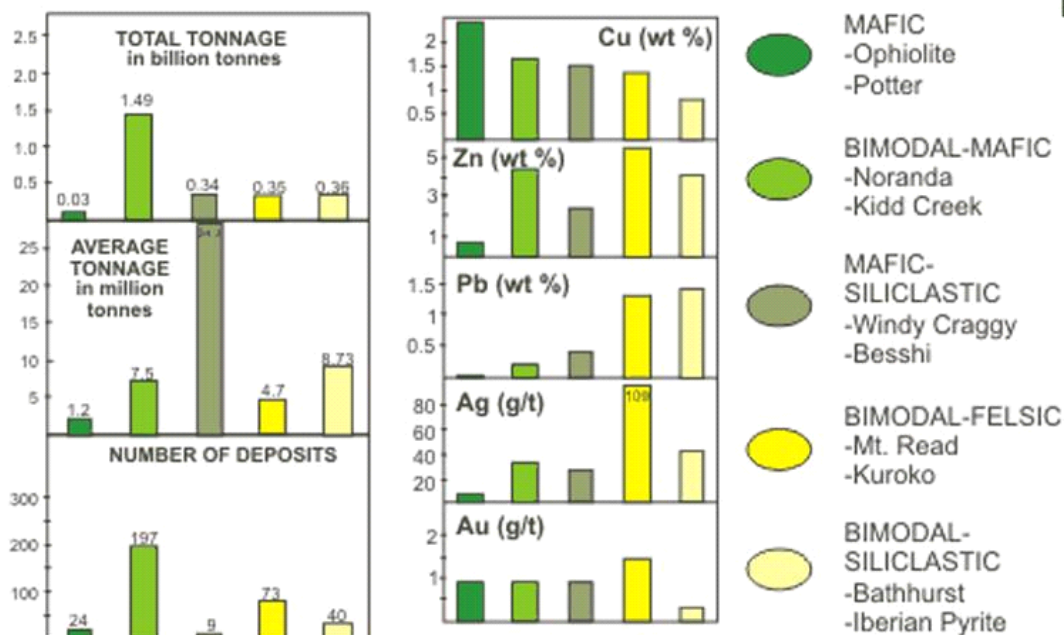
Σχήμα 1.4: Παγκόσμια κατανομή μεγέθους για κοιτάσματα VMS, με αποθέσεις άνω των 50 Mt θεωρείται "giant", και εκείνων άνω των 150 Mt θεωρείται "supergiant". Το Atlantis Deep θεωρείται το μεγαλύτερο σύγχρονο παράδειγμα ενός τεράστιου θειούχου κοιτάσματος θαλάσσιου πυθμένα, με τους Neves Corvo και Windy Craggy παλαιά παραδείγματα supergiant κοιτασμάτων. Τροποποιήθηκε από Hannington et al (1995).

A



Barrie and Hannington, 1999

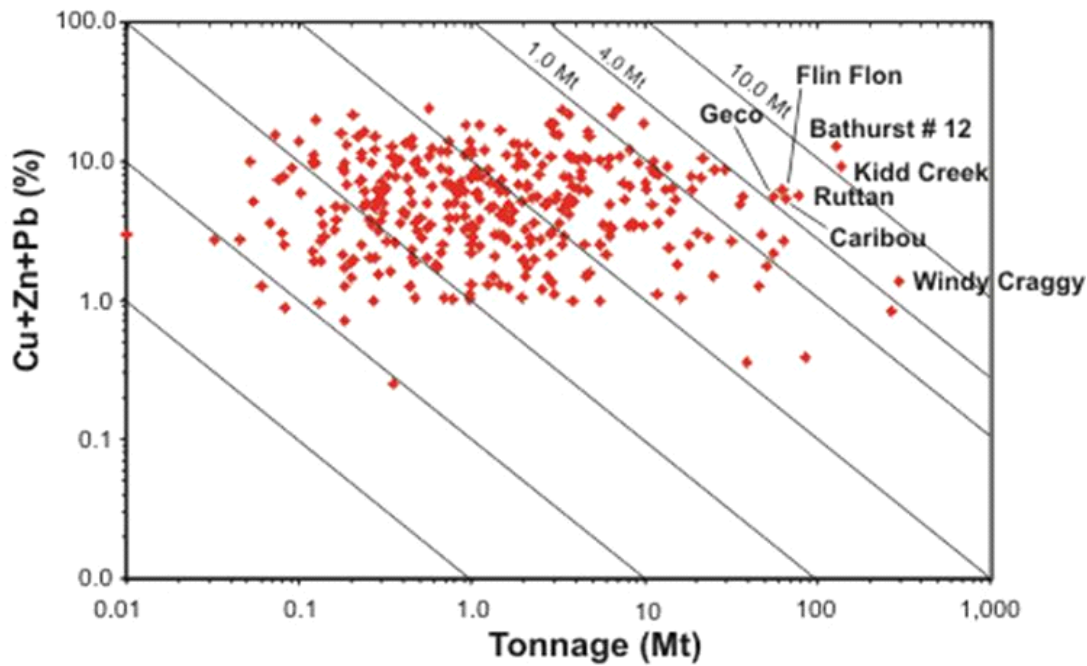
B



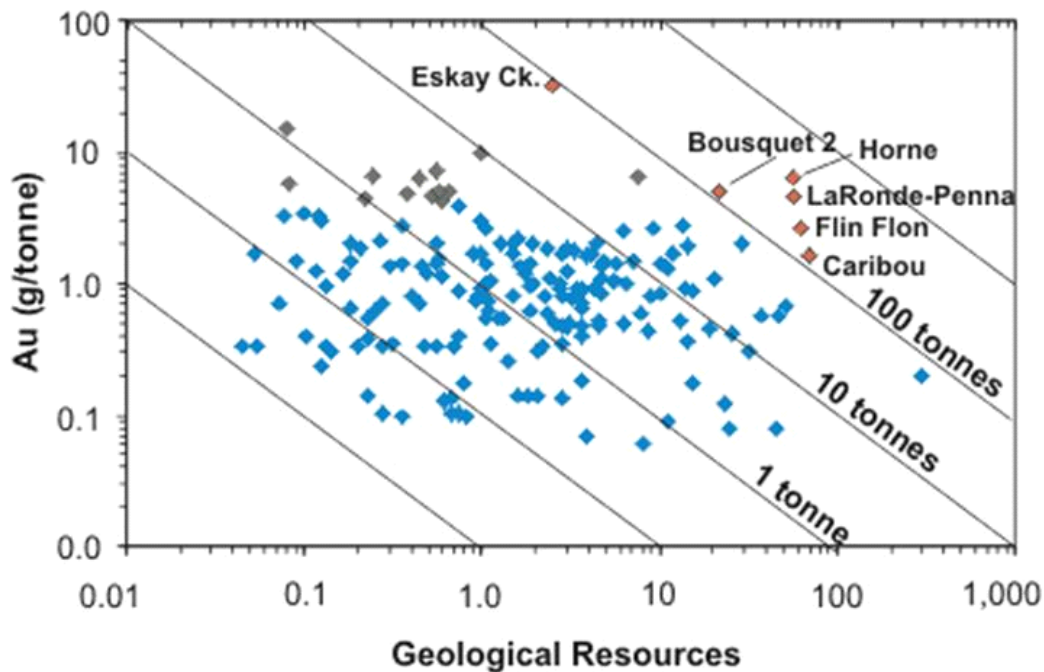
Barrie and Hannington, 1999

Σχήμα 1.5 α,β: Στατιστικά στοιχεία για κοιτάσματα VMS ομαδοποιημένα ανά λιθολογική κατηγορία (Barrie και Hannington, 1999): παγκόσμια κοιτάσματα. Καναδικά κοιτάσματα ομαδοποιημένα κατά λιθολογική κατηγορία.

A



B

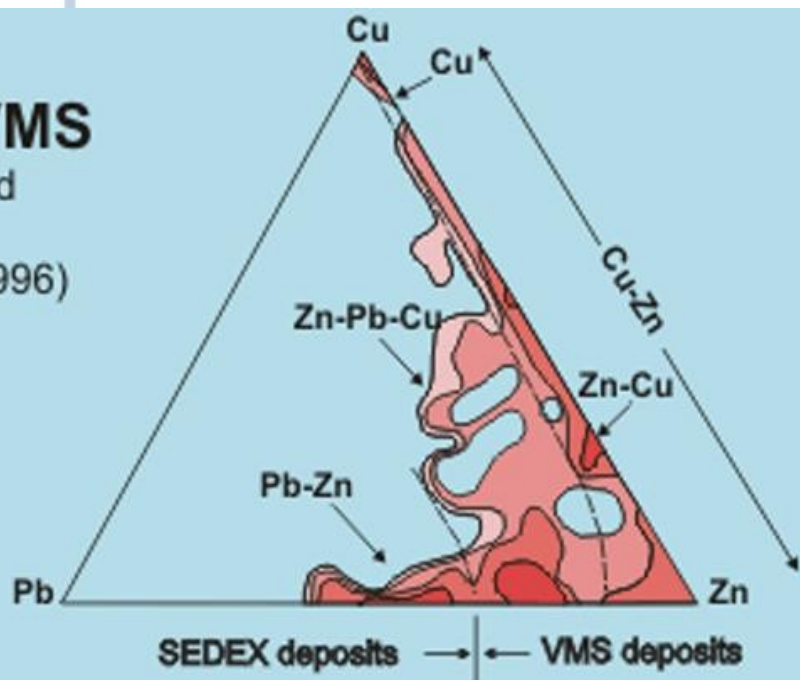


Σχήμα

1.6 α,β : Κατανομή των καναδικών κοιτασμάτων VMS όσον αφορά τη συνολική ποιότητα των βασικών μετάλλων σε τόνους και περιέχεται Au σε μέγα-τόνους Mt; τα περισσότερα κοιτάσματα Au περιέχουν > 4 g/t Au (πράσινα διαμάντια). Εκείνοι που περιέχουν πάνω από 1000 τόνους Au (κίτρινα διαμάντια) περιλαμβάνουν τόσο χρυσοφόρους (auriferous) κοιτάσματα VMS με μεγάλη χωρητικότητα Au. Οι giant και supergiant κοιτάσματα VMS προσδιορίζονται ονομαστικά. Από τη βάση δεδομένων Καναδικών VMS της GSC.

World VMS

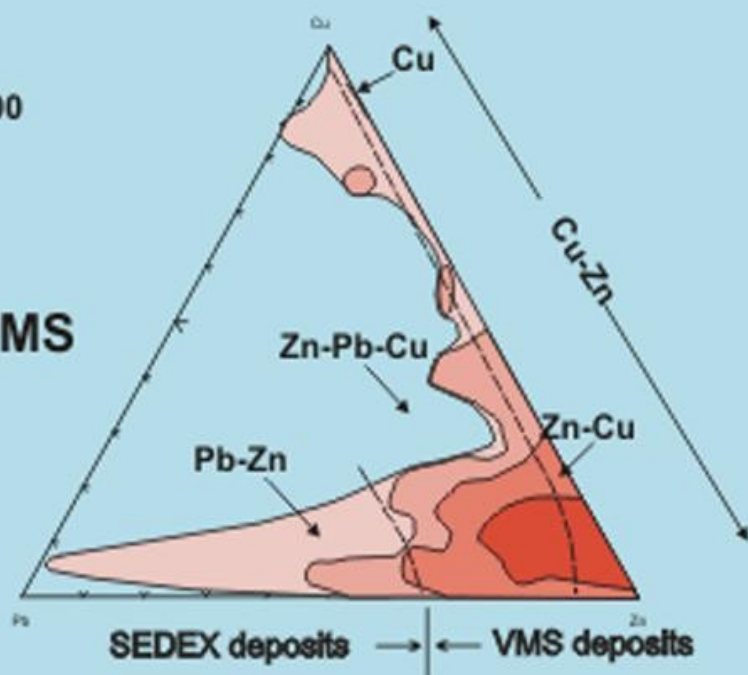
(Modified
from
Franklin, 1996)



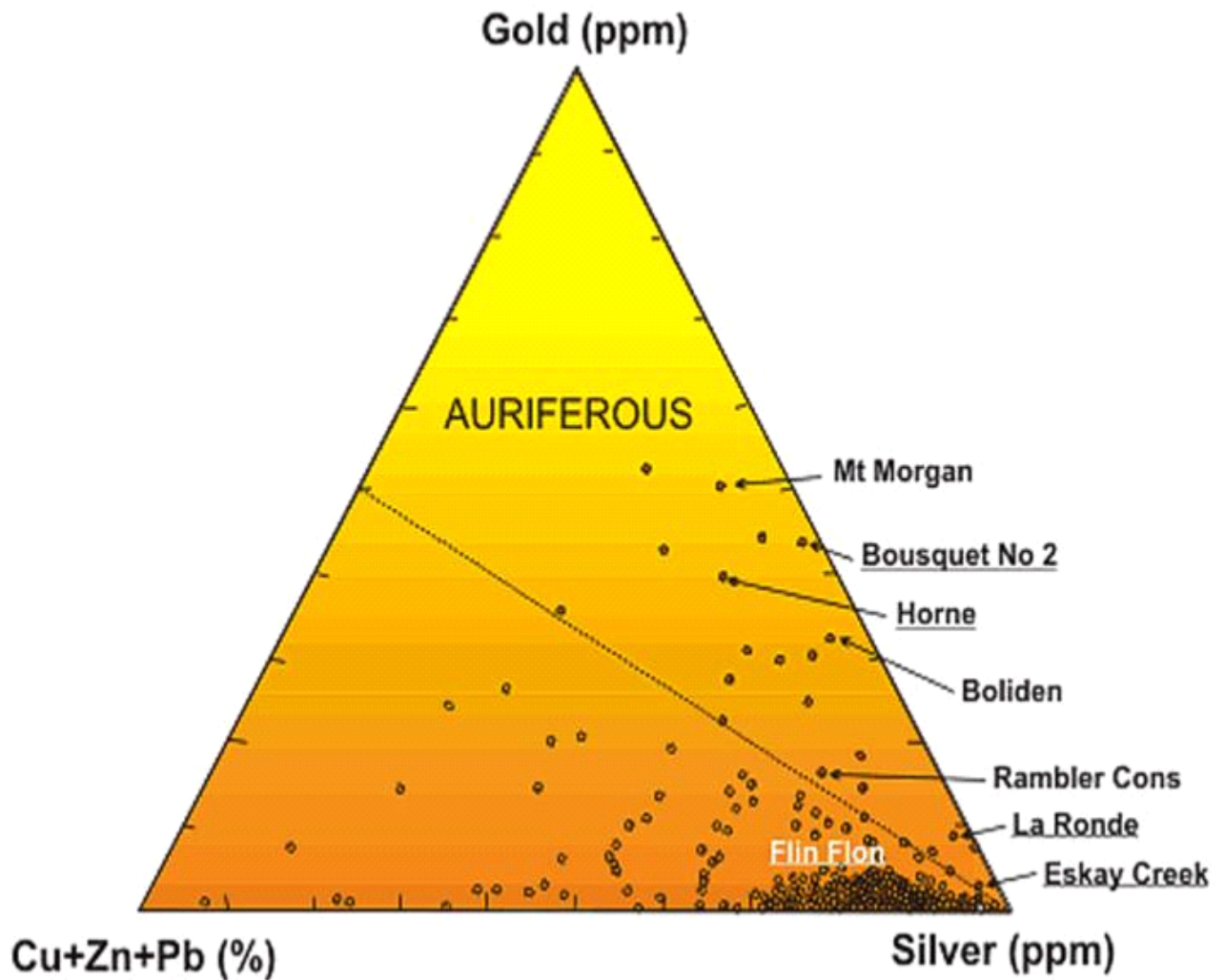
10^3 tonnes per 1% area



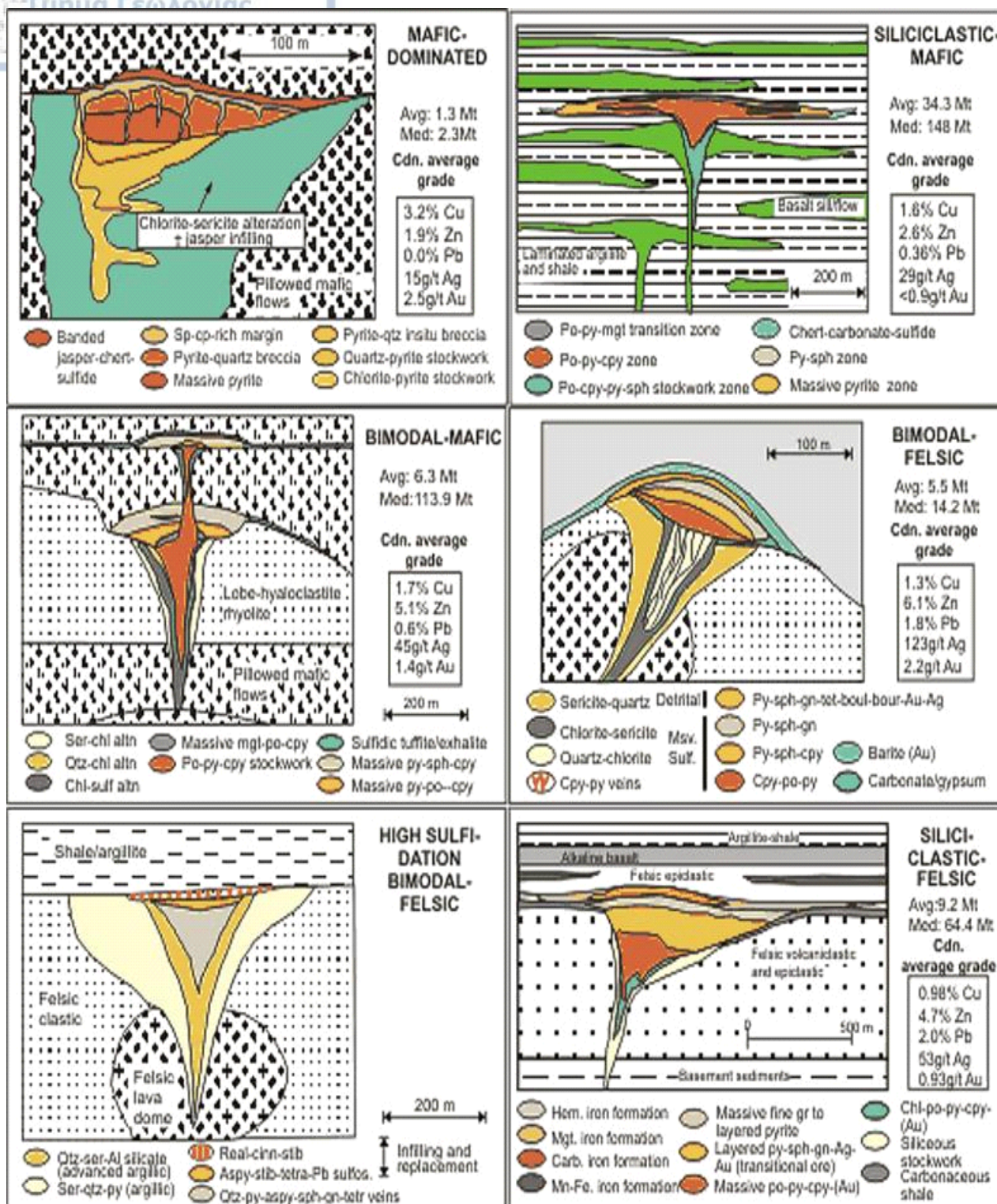
Canadian VMS



Σχήμα 1.7: Ταξινόμηση βασικών μετάλλων των παγκόσμιων και καναδικών κοιτασμάτων VMS όπως ορίζεται πρώτα από Franklin et al. (1981) και τροποποιήθηκε από Large (1992) για να περιλάβει την κατηγορία Zn-Pb-Cu. Η υπεροχή των καταθέσεων Cu-Zn και Zn-Cu VMS στον Καναδά οφείλεται στην αφθονία των προκάμβριων πρωτόγονων ωκεάνιων ρυθμίσεων τόξων.



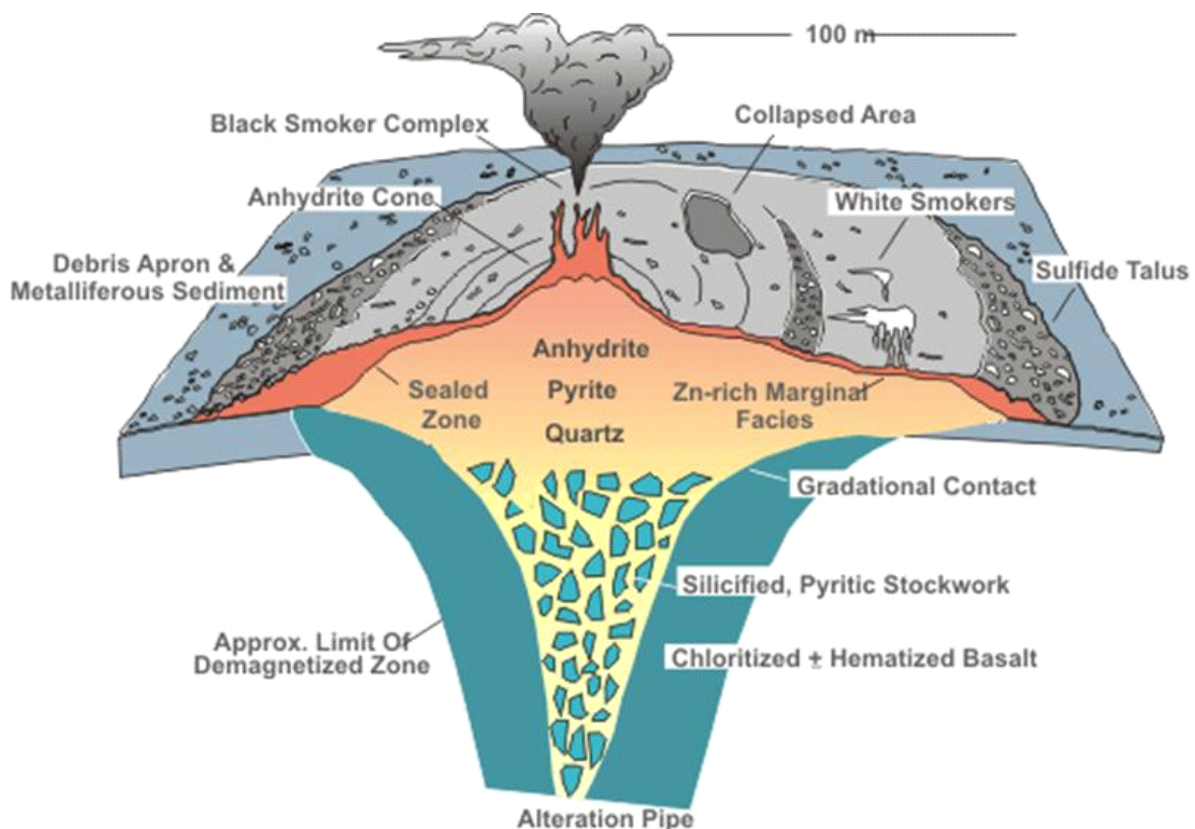
Σχήμα 1.8: Ταξινόμηση των κοιτασμάτων VMS με βάση τις σχετικές αναλογίες τους Cu+Zn+Pb έναντι πολύτιμων μετάλλων (Au, Ag). Μερικές από τις πιο γνωστές αποθέσεις στον Καναδά (υπογραμμισμένες) συγκρίνονται με διεθνή παραδείγματα. Τροποποιήθηκε από Hannington et al. (1999γ).



Σχήμα 1.9: Γραφική αναπαράσταση της λιθολογικής ταξινόμησης για τα κοιτάσματα VMS από την Barrie και την Hannington (1999), με τον τύπο "υψηλής σουλφίδωσης"(high sulfidation) έναν πρόσθετο υποτύπο στη διτροπική-φελική (bimodal-felsic) ομάδα. Μέσο και διάμεσο μέγεθος για κάθε τύπο για όλα τα κοιτάσματα του Καναδά, μαζί με το μέσο βαθμό.

2. Σύγχρονα υποθαλάσσια συστήματα

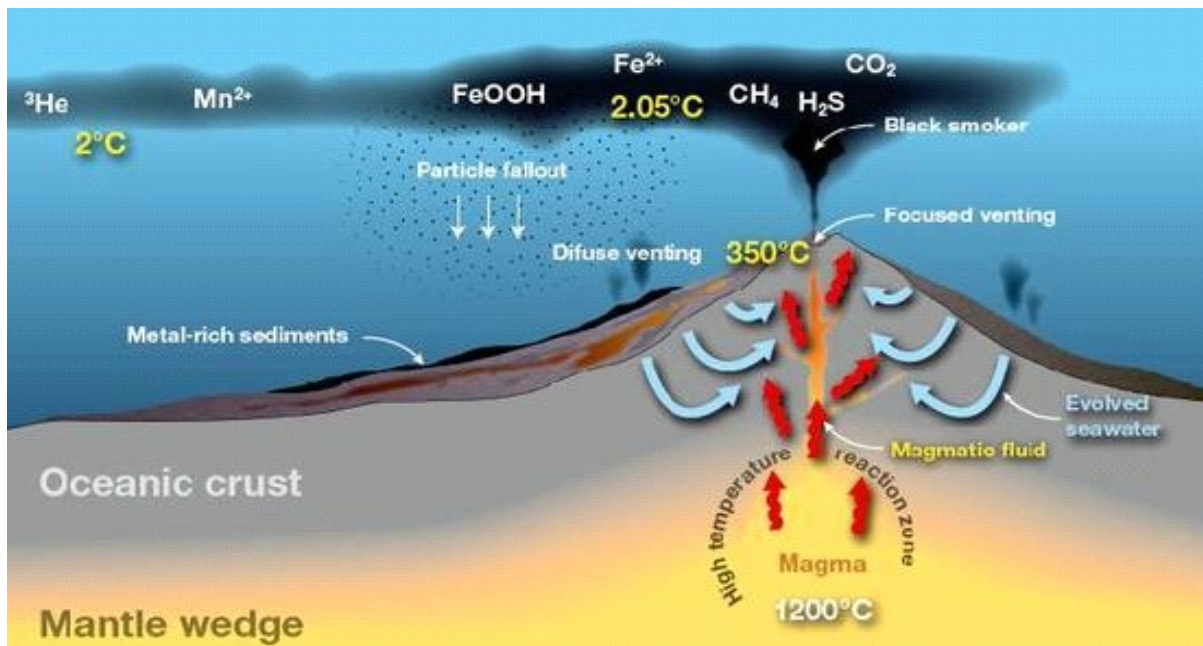
Τα κοιτάσματα VMS σχηματίζονται στον πυθμένα ή κοντά στον πυθμένα μέσω της εστιασμένης απόρριψης ζεστών, πλούσιων σε μέταλλα υδροθερμικών υγρών. Για το λόγο αυτό, τα κοιτάσματα VMS ταξινομούνται στη γενική κατηγορία των "ατμιδικών αποθέσεων" κοιτασμάτων, η οποία περιλαμβάνει ιζηματογενείς ατμιδικές αποθέσεις (SEDEX) και ιζηματογενή κοιτάσματα νικελίου (Eckstrand et al., 1996). Τα περισσότερα κοιτάσματα VMS έχουν δύο συστατικά (Σχήμα 2.1). Συνήθως υπάρχει ένα πινακωειδές ανάχωμα (mound-shaped) με στρωματώδης δομή, αποτελούμενο κυρίως από συμπαγών (> 40%) σουλφιδίων, χαλαζία και δευτερεύοντα φυλλοπυριτικά άλατα και μεταλλικά οξείδια σιδήρου και αλλοιωμένο πυριτικό τοίχωμα. Αυτές οι στρωματοειδείς δομές τυπικά βρίσκονται κάτω από ασύμφωνες προς ημι-σύμφωνες stockwork φλέβες και διάσπαρτα σουλφίδια.



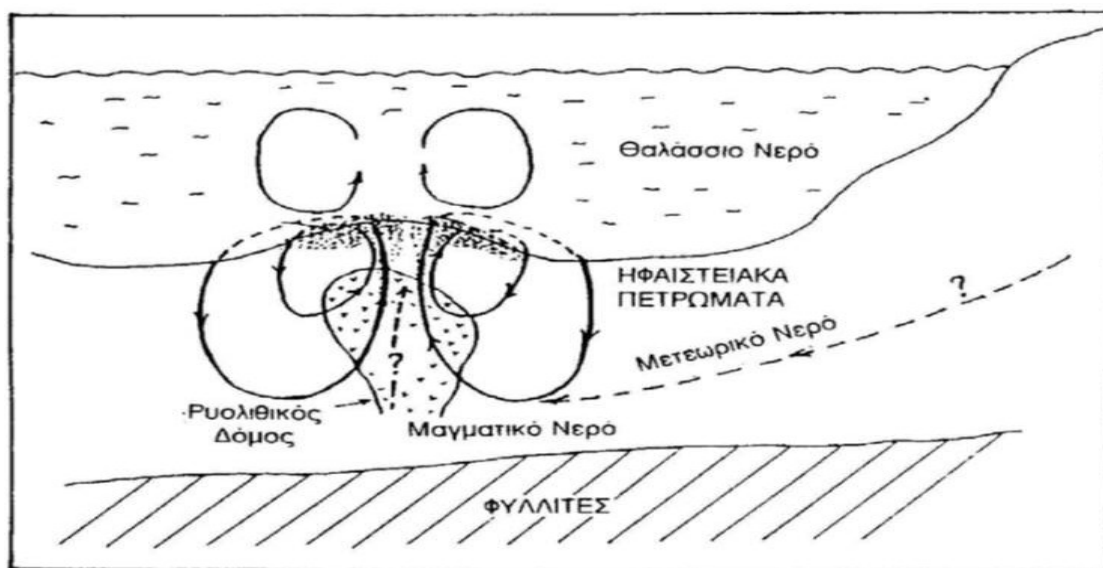
Σχήμα 2.1 Σχηματισμός των κοιτασμάτων VMS Hannington et al (1996).

Τα μεταλλικά συστατικά δεν προέρχονται μόνο από τα μάγματα αλλά και από το θαλασσινό νερό και κυρίως από το ξέπλυμα (depletion) των μητρικών πετρωμάτων και την

αποδέσμευση των μετάλλων από τα πετρώματα με τη δράση του θερμού νερού που κινείται κυκλικά λόγω της ηφαιστειότητας.



Σχήμα 2.2 Το θαλασσινό νερό τροποποιήθηκε με χημική ανταλλαγή με τα γύρω πετρώματα (μπλε βέλη) και το πλούσιο σε αέριο μαγνητικό υγρό (κόκκινα βέλη) αναμιγνύεται πριν αναδυθεί στον πυθμένα της θάλασσας. Το μαγγάνιο, ο σίδηρος, το οξυ-υδροξείδιο του σιδήρου, το διοξείδιο του άνθρακα, το υδροθείο, το μεθάνιο και το ήλιο-3 απελευθερώνονται από την κορυφή (black smoker) καθώς τα ζεστά υδροθερμικά υγρά αναμιγνύονται με κρύο θαλασσινό νερό.

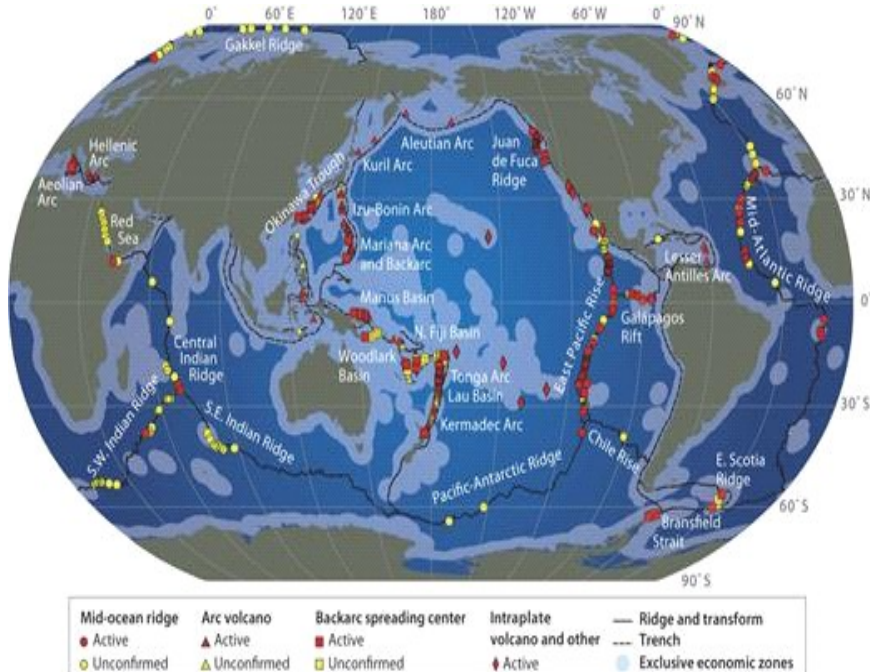


Σχήμα 2.3 Σχηματική αναπαράσταση σχηματισμού των κοιτασμάτων που συνδέονται με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα (Ohmoto and Rye 1974).



Σχήμα 2.4 Black smokers – Chimneys (θέσεις που παρατηρείται σύγχρονη απόθεση θειούχου μεταλλοφορίας)

Μαύρες καπνοδόχοι (Black smokers)- αεραγωγοί που εκπέμπουν σκούρα σωματίδια με υψηλά επίπεδα ανόργανων ουσιών που περιέχουν θείο ή σουλφίδια. Το σκούρο χρώμα προκαλείται επειδή τα διαλυμένα μέταλλα κατακρημνίζονται ως μικροσκοπικά πλούσια σε μέταλλα σωματίδια, σχηματίζοντας «καπνό». Αυτό οφείλεται σε μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ των υγρών εκκένωσης (350°C) και του περιβάλλοντος θαλασσινού νερού (2°C), καθώς και ταχείες αλλαγές στην οξύτητα και την περιεκτικότητα σε οξυγόνο.



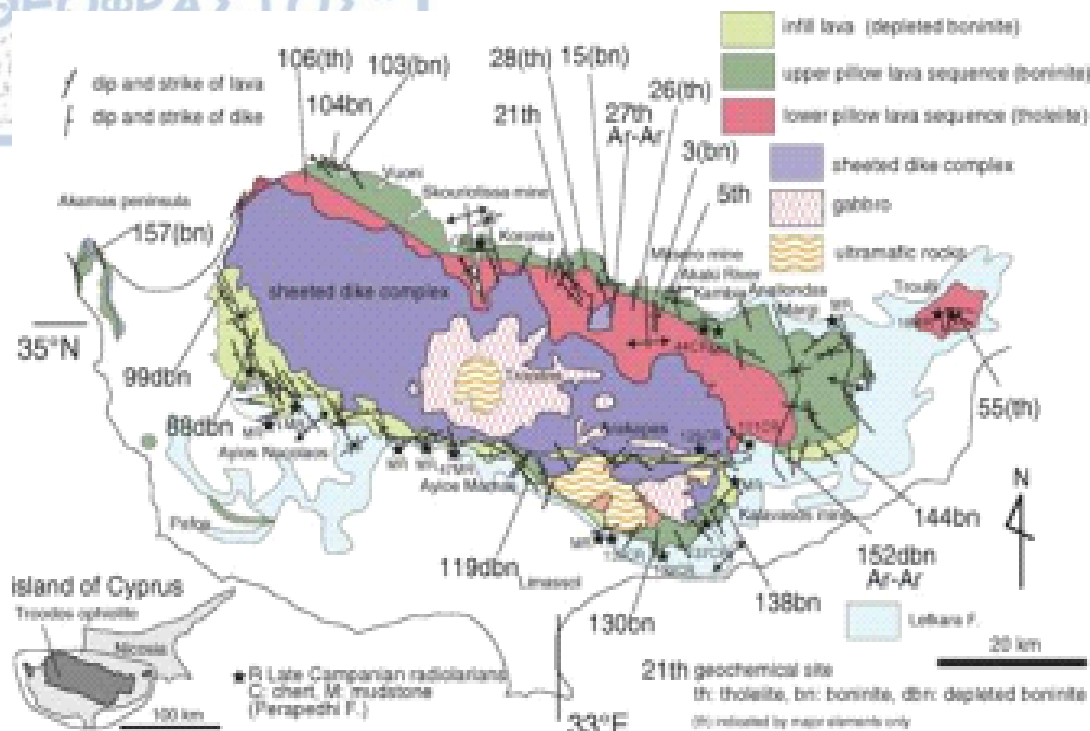
Σχημα 2.5 Hannington et al. (2011) Παγκόσμια κατανομή υδροθερμικών συστημάτων θαλάσσιου πυθμένα και σχετικών ορυκτών αποθεμάτων.

3. Κοιτάσματα τύπου Κύπρου (Ηλικία)

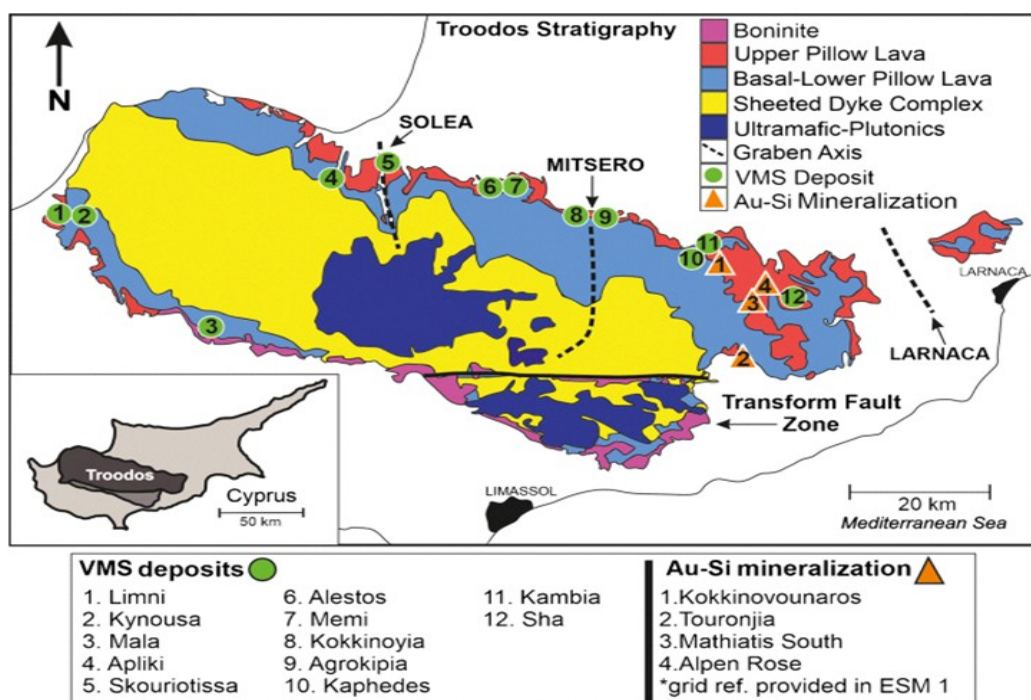
Η ανύψωση του ορεινού όγκου κατά τη διάρκεια του Πλειστόκαινου οδήγησε στην ελικοποίηση της αλληλουχίας του μανδύα (π.χ. Robertson, 1977; Robertson & Xenophontos, 1993) που οδήγησε σε διαπριισμό και διαφορική ανύψωση με επίκεντρο τον Όλυμπο (1950 m). Αυτό οδήγησε στην έκθεση μιας πλήρους οφιολιθικής στρωματογραφίας με σχετικά μικρή παραμόρφωση (Σχήμα 3.2). Οι Δουνίτες του μανδύα, οι λερζολίθοι και οι χαρζβουργίτες βρίσκονται στο γεωγραφικά υψηλότερο σημείο, που περιβάλλεται ακτινικά από την πλουτωνική ακολουθία - γάββρος, βερλίτες (wehrlites) και πλαγιογρανίτες. Στην περιφέρεια του οφιολίθου και από το τυπικό της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας (sheeted dyke complex (SDC)), η ακολουθία ηφαιστειακών πετρωμάτων που αποτελείται από έναν μεταβατικό στρώμα «Basal Group», ένα στρώμα «Lower Pillow Lava» (LPL) και πολλά άλλα στρώματα «Upper Pillow Lava» (UPL) (π.χ. Gass et al., 1994) (Σχήμα 3.2, 3.3).

Το οφιολιθικό αυτό σύμπλεγμα περιλαμβάνει τρεις ομάδες πετρωμάτων από κάτω προς τα πάνω: 1) υπερβασικά και βασικά πυριγενή πετρώματα (περιδοίτες, σερπεντινίτες, γάββροι) 2) φλεβικά και έκχυτα πετρώματα (διαβάσες, pillow λάβες) 3) Σερπεντινίτες. Η ανώτερη ομάδα pillow λαβών καλύπτεται από ιζήματα που έχουν στη βάση τους τη χαρακτηριστική «ούμβρα» (ιζήματα καστανού χρώματος πλούσια σε Mn και Fe) με τη μορφή φακών. Με το οφιολιθικό σύστημα της Κύπρου συνδέονται και διάφοροι τύποι μεταλλοφορίας. 1) Στη βάση χρυσοτιλικός αμιάντος σε σερπεντινωμένους χαρτσβουργίτες. 2) Σε υψηλότερες θέσεις μέσα σε δουνίτη ή χαρτσβουργίτη λοβόμορφα κοιτάσματα χρωμίτη. Μικρές εμφανίσεις σουλφιδίων Fe-Cu-Co-Ni φλεβικής, φακοειδούς μορφής ή διασπορών παρατηρούνται στα γαββρικά πετρώματα (μαγνητοπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, σιδηροπυρίτης και μαρκασίτης, αυτοφυής χρυσός). 3) Η κύρια μεταλλοφορία συμπαγών σουλφιδίων της Κύπρου συνδέεται με τη σειρά των pillow λαβών. Ορυκτολογική σύσταση: σιδηροπυρίτης και σε μικρότερη ποσότητα χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, ενώ υπάρχει χρυσός και άργυρος.

Τα κοιτάσματα Cu-σιδηροπυρίτη της Κύπρου συνδέονται με το οφιολιθικό σύμπλεγμα της οροσειράς του Τροόδους, ηλικίας Κάτω Κρητιδικού. Αποτελούν το χαρακτηριστικότερο παράδειγμα κοιτασμάτων του τύπου Cu-σιδηροπυρίτη που σχηματίστηκαν κατά μήκος των κέντρων επεκτάσεως των ωκεανών (sea floor spreading centers).



Σχημα 3.1 Γεωλογικός χάρτης του Οφιόλιθου του Τροόδους, μετά το Τμήμα Γεωλογικής Επισκόπησης Κύπρος (1995) και Gass et al. (1994) . Υπάρχουν 11 τοποθεσίες δειγματος, αλλά 12 συνολικά δείγματα (η τοποθεσία 152 έχει δείγματα γυαλιού f1 και βράχου f2), με τους αριθμούς δειγμάτων στο μεγαλύτερο μέγεθος γραμματοσειράς. Τα αστερία είναι τοποθεσίες δειγμάτων ιζημάτων (αριθμοί δειγμάτων σε μικρότερο μέγεθος γραμματοσειράς).



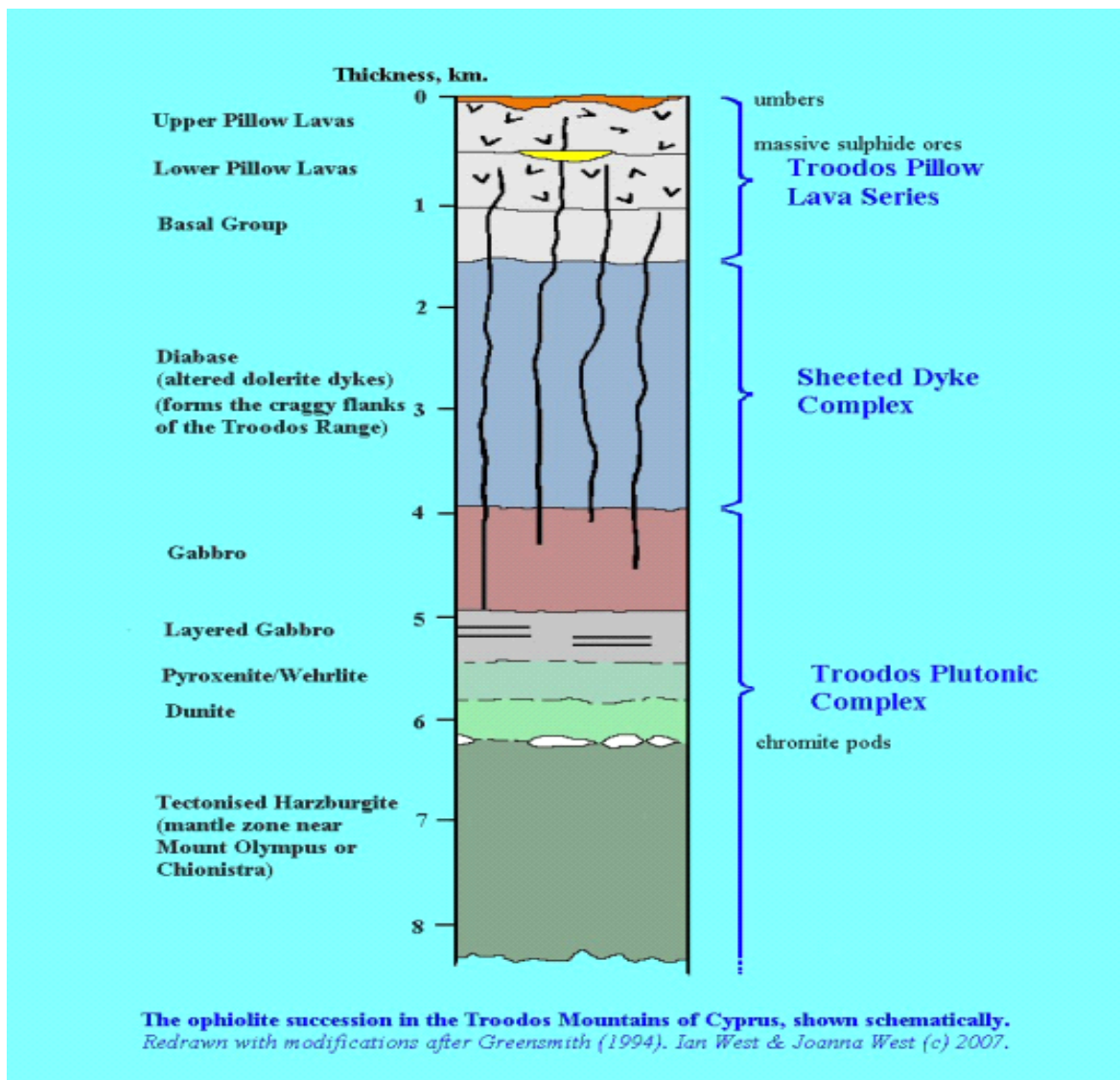
Σχήμα 3.2 Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης οφιόλιθου του Τροόδους . Η εικόνα που δείχνει την τοποθεσία του Τροόδους στο νησί της Κύπρου (μετά τους Martin et al., 2018).

Νέα ιχνοστοιχεία, ραδιογενετικά ισότοπα και γεωχρονικά δεδομένα από το Οφιόλιθο του Τροόδους, που εξετάστηκαν σε συνεννόηση με το μεγάλο σώμα των προηγούμενων δημοσιευμένων δεδομένων, δίνουν νέα εικόνα για την τεκτονική ιστορία αυτού του αποθηκευμένου οφιόλιθο, καθώς και για την επίδειξη της μεταβλητότητας της υπερπαραγωγής-ζώνης. Οφιολίτες, και διαφορές μεταξύ τους και των σύγχρονων αναλογικών που χρησιμοποιούνται συνήθως. Η αναλύσεις ιχνοστοιχεία των 12 πιο φρέσκων δειγμάτων από ολόκληρο τον οφιόλιθο (Σχήμα 3.2), και επίσης η αναλύσεις τις αναλογίες ισotόπων Nd, Sr και Pb για αυτά τα δείγματα. Ενώ τα δείγματά εκτείνονται σε μεγαλύτερη γεωγραφική έκταση του Οφιόλιθο του Τρόδος από τις προηγούμενες μελέτες των Rautenschlein et al. (1985), Cameron (1985), και άλλοι, το σύνολο δειγμάτων είναι μικρό σε σύγκριση με τα 137 δείγματα γυαλιού που αναλύθηκαν από τους Pearce και Robinson (2010), αν και η μελέτη τους παρουσίασε μόνο δεδομένα σημαντικών στοιχείων. Εκτός από τα γεωχημικά δεδομένα, παρουσιάζουμε ακτινολογικά βιοαστραγραφικά δεδομένα, ορισμένα παλαιομαγνητικά δεδομένα και αναλύσεις ηλικίας Ar-Ar δύο φρέσκων ηφαιστειακών γυαλιών που χρονολογούν άμεσα την έκρηξη του θειολίτη και του μπονίτη στον οφιόλιθο του Τροόδους. Ο συνδυασμός νέων γεωχημικών και γεωχρονικών δεδομένων, όταν ενσωματώνεται με δημοσιευμένα δεδομένα, δίνει νέα εικόνα για την ακολουθία του μαγματισμού και τη χρονική έκτασή του.

Ο οφιόλιθος του Τροόδους εκτείνεται 100 km σε Α-Δ και 30 km σε Β-Ν διαστάσεις (Geological Survey Department Cyprus, 1995). Ο ορεινός όγκος του Τροόδους σχηματίζει μια απαλή δομή θόλου επιμήκη Α-Δ (Σχήμα 3.1). Λόγω της υπέρθεσης αυτής της δομικής δομής και της διάβρωσης, τα δομικά χαμηλότερα υπερβασικά πετρώματα αποτελούν το κέντρο της οροσειράς του Τροόδους και τα υψηλότερα υψόμετρα στον Όλυμπο (1952 μ. Υψόμετρο). Τα υπερβασικά πετρώματα αντιμετωπίζονται από γάββρο που σχετίζεται με μια μικρή ποσότητα πλαγιογρανίτη, από ένα ανάχωμα, από pillow lava και ιζήματα, σε αύξουσα δομή στρωματογραφικής σειράς (Σχήμα 3.1). Ο οφιόλιθος του Τροόδους έχει υποδιαιρεθεί στον βόρειο κύριο ορεινό όγκο και στην αξονική του ακολουθία, συμπεριλαμβανομένου του βουνού.

Η Κύπρος βρίσκεται στην Ανατολική Μεσόγειο και αποτελείται από τέσσερα κύρια γεωλογικά εδάφη: τη σειρά Κερύνειας, την πεδιάδα της Μεσαορίας, τον όγκο του Τροόδους και το συγκρότημα Mamonia (π.χ. Robertson και Ξενοφώντος, 1993). Τρόδος είναι ένας οφιόλιθος (Σχήμα 3.2) που αντιπροσωπεύει ένα θραύσμα της Τουρονικής εποχής (~ 92 Ma; Mukasa και Ludden, 1987) ωκεάνια λιθόσφαιρα που σχηματίστηκε κατά το κλείσιμο του

ωκεανίου Τηθύς (π.χ. Gass, 1968; Robertson, 1977). Αρχικά το Τρόδος θεωρήθηκε ότι σχηματίστηκε σε ένα τυπικό περιβάλλον ανοιχτού ωκεανού (MOR) (Gass, 1968, 1980). Ωστόσο, οι γεωχημικές μελέτες του εξωθητικού τμήματος καταδεικνύουν μια γεωχημική συνάφεια διαφορετική από εκείνη του N-MORB, αντί να κυριαρχείται από τόλους θειολίτες (π.χ. Miyashiro, 1973; Pearce et al., 1984; Rautenschlein et al., 1985; Robinson et al., 1983). Ενώ είναι πλέον ευρέως αποδεκτό ότι το Τρόδος σχηματίστηκε σε μια ρύθμιση τύπου υπερ-υποαγωγής, η ακριβής φύση της γεωδυναμικής της ρύθμισης παραμένει υπό συζήτηση (Gass et al., 1975; Moores et al., 1975; Hynes 1975).

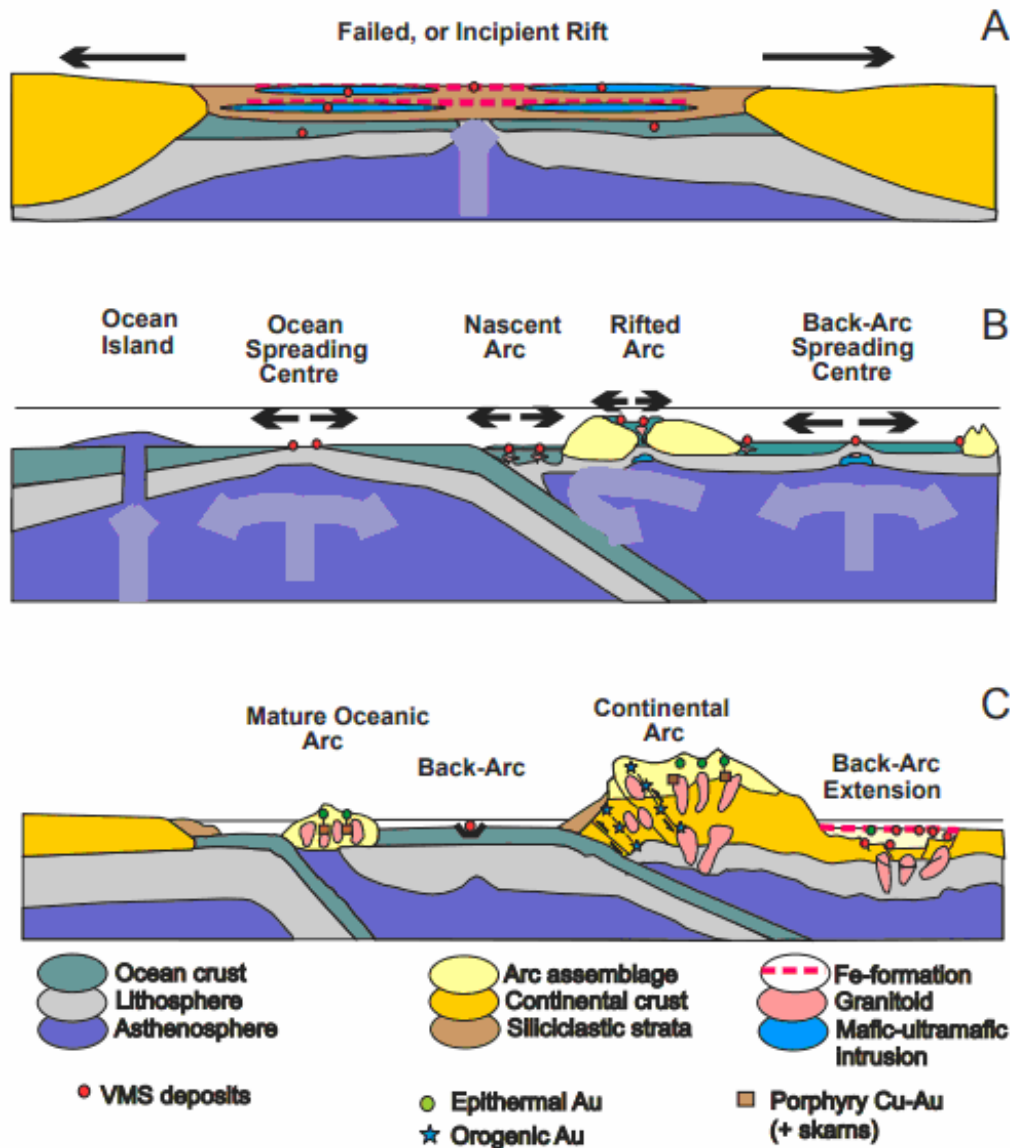


Σχήμα 3.3 Σχηματική λιθοστρωματογραφική στήλη της οφιολιθικής ακολουθίας του Τρόδος

3.1.Γεωτεκτονικό περιβάλλον

Ανάλογα με το γεωτεκτονικό περιβάλλον σχηματισμού διακρίνονται 3 τύποι κοιτασμάτων VMS. α) Κοιτάσματα που δημιουργούνται κατά μήκος των κέντρων εκτάσεως των ωκεανών (Cyprus type), β) Κοιτάσματα που δημιουργούνται σε ενδοωκεάνιες οπισθοτόξιες λεκάνες και στις τάφρους εμπρόσθια του τόξου (Besshi type) και γ) Κοιτάσματα που δημιουργούνται στο ηφαιστειακό-τόξο (Kuroko type) (Herzig and Hannington 1995). α) Ο τύπος Zn-Cu-σιδηροπυρίτη σχηματίζεται στο αρχικό στάδιο κατάδυσης όπου επικρατεί καταστροφή και ανάτληξη της καταδυόμενης ωκεάνιας πλάκας στη ζώνη Benioff. Ο μαγματισμός δίνει ηφαιστειακές σειρές βασαλτικής-ανδεσιτικής σύστασης από τον υποκείμενο ανώτερο μανδύα. Σταδιακά με διαφοροποίηση σχηματίστηκαν οξινότεροι ηφαιστίτες σε δόμους. Οι συνθήκες αυτές πραγματοποιήθηκαν σε μεγάλη έκταση και κατά το Αρχαϊκό σε έναν σχετικά λεπτό αρχέγονο φλοιό. β) Στα πιο προχωρημένα στάδια κατάδυσης σε περιβάλλον νησιωτικού τόξου ο μαγματισμός που προκύπτει είναι ασβεσταλκαλικού τύπου. Σε αυτό περιβάλλον σχηματίζονται τα κοιτάσματα Zn-Pb-Cu. γ) Στο Φανεροζωικό σε περιβάλλον μεσοωκεάνιας ράχης όπου δημιουργείται νέος ωκεάνιος φλοιός σχηματίζονται κοιτάσματα Cu-σιδηροπυρίτη. Ο μαγματισμός περιλαμβάνει βασαλτικές pillow λάβες με παρεμβολές ραδιολαριτών, σιδηρούχων σχηματισμών, υπο-ηφαιστειακές διεισδύσεις διαβασών και βαθύτερα βασικά και υπερβασικά πετρώματα. Με την καταστροφή των καταδυόμενων ωκεάνιων φλοιών τα κοιτάσματα επωθήθηκαν στα ηπειρωτικά περιθώρια όπου διατηρούνται σήμερα σε πολλές θέσεις.

Το πιο συνηθισμένο χαρακτηριστικό μεταξύ όλων των τύπων κοιτασμάτων VMS είναι ότι σχηματίζονται σε εκτεταμένες τεκτονικές ρυθμίσεις, συμπεριλαμβανομένων τόσο του ωκεάνιου ράχη όσο και του νησιωτικού τόξου (Σχήμα 3.1.1). Οι σύγχρονες αποθέσεις VMS ωκεάνιου πυθμένα αναγνωρίζονται τόσο σε ωκεάνια περιβάλλοντα κορυφογραμμής όσο και σε περιβάλλοντα τόξου (Herzig and Hannington, 1995), αλλά κοιτάσματα που εξακολουθούν να διατηρούνται στο γεωλογικό αρχείο που σχηματίζεται κυρίως σε ωκεανό και ηπειρωτικό περιβάλλον nascent-arc, rifted arc και οπισθοτόξιες λεκάνες (back-arc) (Allen et al. 2002, Franklin et al. 1998) (Σχήμα 3.1.1). Αυτό συμβαίνει επειδή κατά τη διάρκεια της τεκτονικής δραστηριότητας που βασίζεται στην υποαγωγή, μεγάλο μέρος του πυθμένα του ωκεανού αφαιρείται, αφήνοντας μόνο λίγες οφιολίτες σουίτες ως απομεινάρια του παρακωλυόμενου πυθμένα του ωκεανού. Παραδείγματα αυτών μπορεί να περιλαμβάνουν το Ordovician Bay of Islands ophiolite στο Newfoundland και το Terate Triassic-Cache Creek terrane στη Βρετανική Κολομβία (Bédard and Hébert, 1996; Nelson and Mihalynuk, 2003).



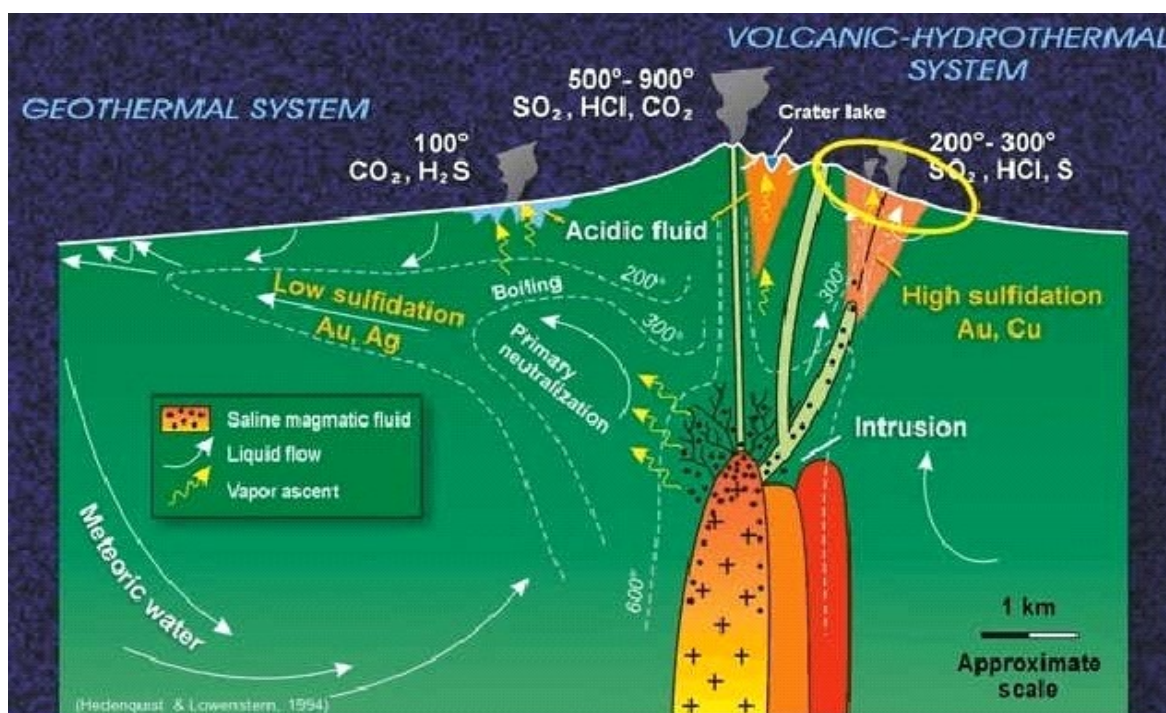
Σχήμα 3.1. Υπάρχουν τρία κύρια τεκτονικά περιβάλλοντα στα οποία σχηματίζονται τα κοιτάσματα VMS, καθένα αντιπροσωπεύει ένα στάδιο στο σχηματισμό του φλοιού της γης. A: Η πρόωρη εξέλιξη της γης κυριαρχούσε από τη δραστηριότητα του μανδύα κατά τη διάρκεια της οποίας πολλά αρχικά ρήγματα σχημάτισαν λεκάνες που χαρακτηρίζονται από πρώιμο ωκεάνιο φλοιό με τη μορφή πρωτόγονων βασαλτών και/ή κοματιτών, συνοδευόμενο από διοξείδιο του πυριτίου και συναφείς σχηματισμούς Fe (σιδήρου) και βασικά-υπερβασικά στρωματοειδές φλέβες (mafic-ultramafic sills).

Στον Φανεροζωικό παρόμοια είδη των αρχικών ρηγμάτων που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της μετατόπισης, μετά την αύξηση του τόξου (Windy Craggy). B: Ο σχηματισμός πραγματικών ωκεάνιων λεκανών συσχετίστηκε με την ανάπτυξη κέντρων εξάπλωσης ωκεανών κατά μήκος των οποίων σχηματίστηκαν αποθέσεις VMS που κυριαρχούν από τα βασικά. Η ανάπτυξη ζωνών (υποδιέγερσης) είχε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό ωκεάνιου τόξου με συναφείς επεκτατικούς τομείς στους οποίους

σχηματίστηκαν αποθέσεις VMS bimodal-βασικά, bimodal-όξινα και κυριαρχούνται από βασικά. C: Ο σχηματισμός ώριμων μετωπικών τόξων και ωκεανών-ηπειρωτικών μετωπικών επιπέδων είχε ως αποτέλεσμα διαδοχικά συγκροτήματα τόξου και ηφαιστειακού τόξου που φιλοξενούν τις περισσότερες από τις όξινες κυριαρχίες και bimodal αποθέσεις πυριτικού πυριτίου.

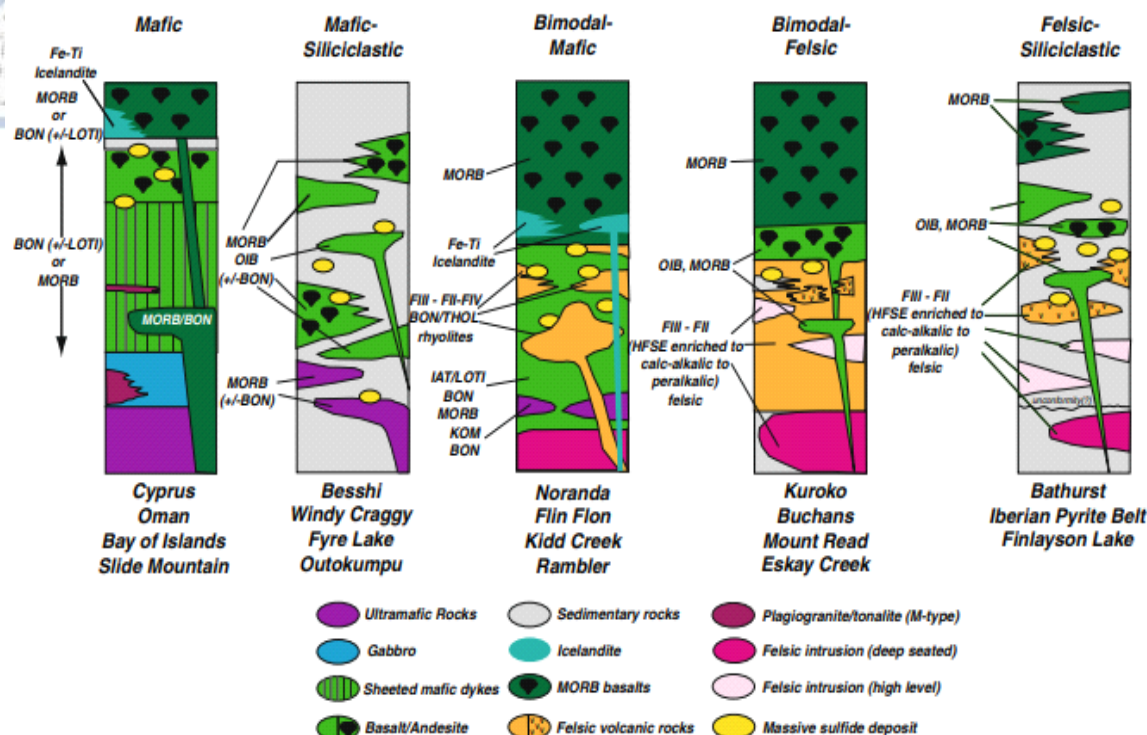
3.2. Ηφαιστειότητα και Ηφαιστειακά πετρώματα

Τα κοιτάσματα VMS και οι συνθήκες σχηματισμού τους έχουν απασχολήσει την επιστημονική κοινότητα για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σύμφωνα με τους Anderson (1969), Franklin et al. (1981), Hannington et al. (2005), Herzig and Hannington (1995) κομβικό ρόλο στο σχηματισμό αυτών των κοιτασμάτων κατέχουν τα κυκλοφορούντα θερμά ρευστά και η δράση των υδροθερμικών διαλυμάτων. Το θαλασσινό, το μαγματικό καθώς και το μετεωρικό νερό δημιουργούν ένα σύστημα που εισχωρεί σε μεγάλα βάθη και θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Εξαιτίας των ρηγμάτων και των διακλάσεων το νερό βρίσκει διόδους προς τα κάτω, θερμαίνεται και στη συνέχεια ανεβαίνει ξανά δημιουργώντας έτσι ένα υδροθερμικό σύστημα που κυκλοφορεί (Σχ.3.2.1). Η κυκλοφορία αυτή μειώνει την οξειδωτική κατάσταση του νερού, αυξάνει τη θερμοκρασία του και οδηγεί τελικώς στη δημιουργία των υδροθερμικών διαλυμάτων. Τα υδροθερμικά διαλύματα ξεπλένουν τα μεταλλικά στοιχεία από τα ηφαιστειακά πετρώματα με αποτέλεσμα το σχηματισμό των μεταλλοφόρων ρευστών. Στη συνέχεια, τα μεταλλοφόρα ρευστά ανεβαίνουν προς τα πάνω και αποβάλλουν υπό μορφή σουλφιδίων κάτω από κατάλληλες συνθήκες τα μεταλλικά τους στοιχεία.



Σχήμα 3.2.1 Ηφαιστειακό υδροθερμικό σύστημα (Hedenquists and Lowenstem, 1994)

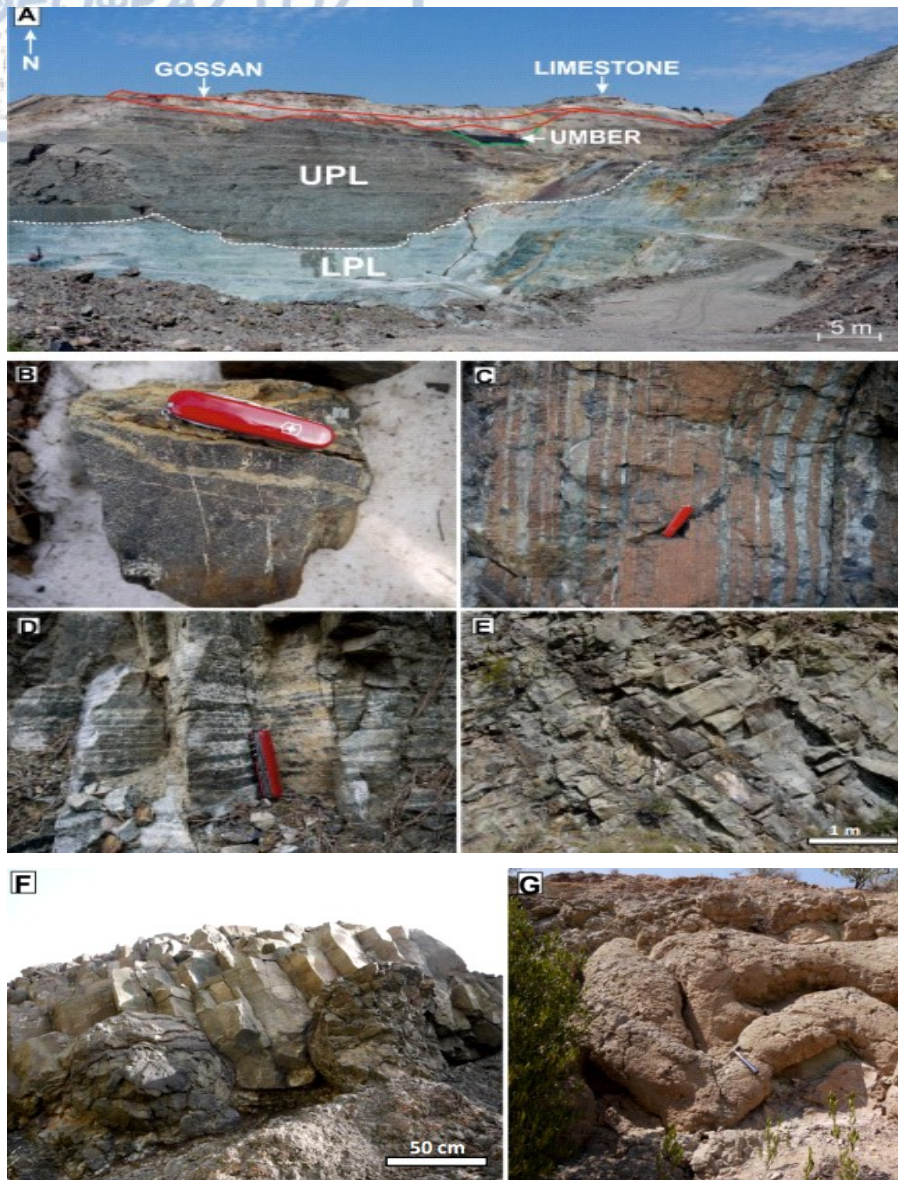
Κοιτάσματα VMS, λιθογεωχημικά και πετροχημικά σχηματίζουν αποθέσεις VMS ως αποτέλεσμα της συγγενικής εκπονώς των μεταλλοφόρων υδροθερμικών υγρών πάνω ή κοντά στον πυθμένα της θάλασσας. Αυτά τα κοιτάσματα ταξινομούνται με πολλούς τρόπους, αλλά η πιο ισχυρή και ευρέως αποδεκτή ταξινόμηση περιλαμβάνει τη χρήση λιθοστρωματογραφίας και γεωδυναμικής τοποθεσίας (π.χ., Barrie and Hannington 1999; Franklin et al. 2005; Galley et. κ.λπ. 2007). Σύμφωνα με τη λιθοστρωματογραφική ταξινόμηση, τα κοιτάσματα ταξινομούνται σε πέντε ομάδες, συμπεριλαμβανομένων (Σχήμα 3.2.1): (1) βασικά (mafic) (δηλαδή, τύπος Κύπρου). (2) βασικά-πυριτικά κλαστικά ιζήματα (mafic-siliciclastic) (Τύπου Besshi) • (3) διττό μάγμα-βασικά (bimodal-mafic) (δηλαδή, τύπος Noranda) • (4) διττό μάγμα-όξινο (bimodal-felsic) (δηλαδή τύπου Kuroko) • και (5) όξινα-πυριτικά κλαστικά (felsic-siliciclastic) (δηλαδή, τύπου Bathurst). Οι πρώτες τρεις ομάδες φιλοξενούνται από αλληλουχίες που κυριαρχούνται από υποκείμενα βασικά πετρώματα (mafic footwall) με ποικίλες ποσότητες πυριτικών πλαστικών και χημικών ιζηματογενών πετρωμάτων, δευτερεύοντες φλεβικά πετρώματα. Αυτές οι αλληλουχίες είναι συνήθως νεανικές και έχουν πολύ μικρή επιρροή στην ηπειρωτική σύγκρουση. Αντίθετα, τα όξινα και τα ιζηματογενή πετρώματα κυριαρχούν στις δύο τελευταίες ομάδες και αυτά τα περιβάλλοντα συνδέονται συνήθως με τον εξελισσόμενο ηπειρωτικό φλοιό. Η διακύμανση του υποστρώματος (δηλαδή, νεανική έναντι εξελισσόμενης συγκρούσεως) ασκεί ισχυρή επιρροή στην πετρολογία και τη λιθογεωχημεία του όξινου και βασικού του μαγματισμού που σχετίζεται με αποθέσεις VMS και τα περιβάλλοντά τους (π.χ. Piercey 2007, 2010). Τα συγκεκριμένα λιθογεωχημικά χαρακτηριστικά των ηφαιστειακών πετρωμάτων που σχετίζονται με το φάσμα των περιβαλλόντων κοιτασμάτων VMS και των σχετικών πετροχημικών συγκροτημάτων περιγράφονται παρακάτω. Η συγκέντρωση γίνεται κυρίως σε πετρώματα όξινα και βασικά (felsic and mafic) επειδή οι περισσότερες περιοχές VMS έχουν διττό (bimodal) χαρακτήρα ή σχετίζονται κυρίως με όξινα ή βασικά πετρώματα (mafic ή felsic).



Σχήμα 3.2.2 Στρωματογραφικές σχέσεις και πιθανοί χημειοστρωματογραφικοί συσχετισμοί (δηλαδή, πετροχημικά συγκροτήματα) για διαφορετικές ομάδες κοιτασμάτων VMS. Τροποποιήθηκε από τον Piercey (2010).

3.3. Υδροθερμικές εξαλλοιώσεις

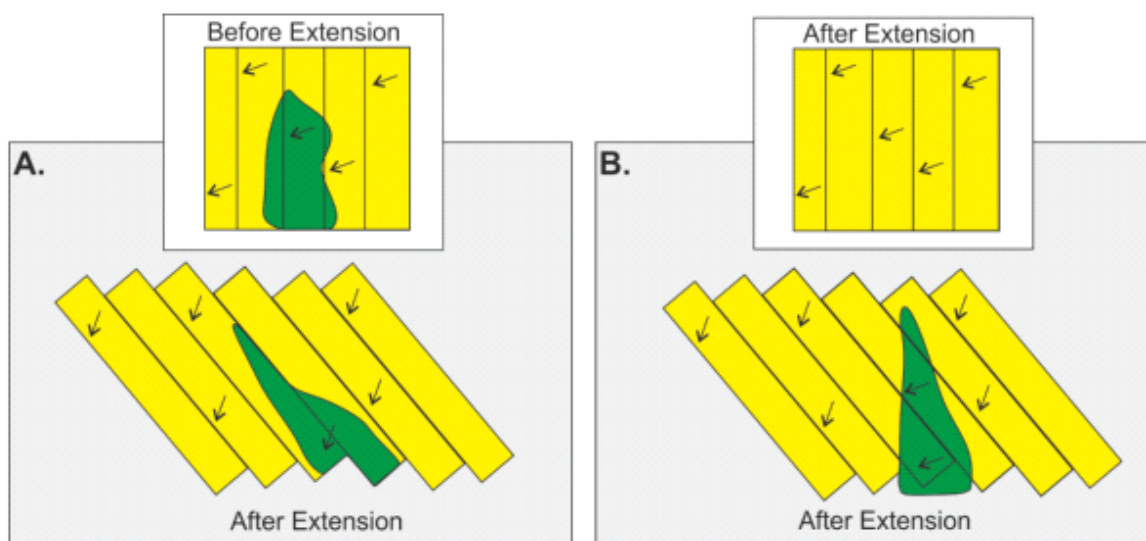
Ο παλαιομαγνητισμός έχει χρησιμοποιηθεί σε μια προσπάθεια να περιορίσει τον χρόνο της διάρρηξης σε σχέση με την υδροθερμική κυκλοφορία και επομένως τον χρόνο σχηματισμού των VMS κοιτασμάτων. Δύο σενάρια επιτρέπουν τον καθορισμό του σχετικού χρονισμού της υδροθερμικής αλλοίωσης (Σχήμα 3.3.1). Σενάριο (Α) είναι σωστή αν επιδοσίτες (epidosites) (και ως εκ τούτου VMS) που σχηματίζονται πριν από τον σχηματισμό τεκτονικού βυθίσματος, ενώ το σενάριο (Β) υποδηλώνει σχηματισμό επιδότου μετά την επέκταση και περιστροφή (Varga et al., 1999). Τα παλαιομαγνητικά δεδομένα υποδηλώνουν ότι το σενάριο Α είναι πολύ πιθανό.



Σχήμα 3.2.3 Παραδείγματα στρωματογραφίας του Τρόοδου

- A. Ιζήματα-UPL-LPL στο ορυχείο της Σκουριώτισσας. Το UPL είναι σκούρο γκρι και διαχωρίζεται από το LPL από το ρήγμα Phoucasa
- B. Παράδειγμα ημι-συμπαγούς χρωμίτη από το Κοκκινόροστο διαγώνιο από σερπενιτικές φλέβες.
- C. Πολυεπίπεδα σώματα χαρτζβουργίτη και δουνίτη, E του Ολύμπου, κοντά στην Αμιάντος
- D. Συγκεντρώσεις στρωμάτων βασικών- υπερβασικών (mafic-ultramafics). Πλάτρες, (Platres) κεντρικό Τρόοδος
- E. Ένα σύμπλεγμα διαβασικών- βασαλτικών, τυπικών της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας φλεβών, (Sheeted dyke complex) συμπαγών δολεριτικών φλεβών (dykes) με τη μικρότερη περιεκτικότητα σιδηροπυρίτη και επίδοτου (pyrite and epidote).
- F. Χαρακτηριστικές pillow lavas (Apliki Mine).
- G. Ανώτερες pillow lavas (Troulloi) μικρούς καλοσχηματισμένους σωλήνες λάβας.

Όλα τα συμπλέγματα βασικών φλεβών εμφανίζουν τους ίδιους φορείς απομαγνητισμού που υποδηλώνουν ότι ο σχηματισμός επιδότου (epidotisation) συνέβη όταν ένα σύμπλεγμα βασικών φλεβών (dykes) ήταν κατακόρυφα (Richardson et al., 1987; Varga et al., 1999). Ωστόσο, οι Varga et al. (1999) προτιμούν ένα μοντέλο σύμφωνα με το οποίο οι επιδοσίτες (epidosites) δεν σχηματίστηκαν εντελώς συγχρόνως με περιστροφή συμπλέγματος βασικών φλεβών, αλλά αντ' αυτού σχηματίστηκαν κατά τα πολύ πρώιμα στάδια του σχηματισμού τεκτονικού βυθίσματος. Αυτό θα μπορούσε να είχε γίνει αρκετά παλιά ώστε το μαγνητικό πεδίο του επιδοσίτη (epidosites) να μην είναι εμφανώς διαφορετικό από τα γύρω συμπλέγματα βασικών φλεβών, αλλά όχι τόσο πρόσφατο ώστε αυτά να έχουν περιστραφεί πλήρως. Όσον αφορά το σχηματισμό κοιτασμάτων VMS, πολλοί συγγραφείς έχουν αποδείξει τη σύνδεση μεταξύ της φυσιολογικής ρηγμάτωσης του εδάφους και τη δημιουργία VMS κοιτασμάτων. Επομένως, η φυσιολογική δημιουργία ρηγμάτων και η υδροθερμική μεταμόρφωση πρέπει να είναι τουλάχιστον συγχρονισμένη, ειδάλλως τα κοιτάσματα VMS δεν θα παρουσίαζαν άμεση σχέση με την κίνηση/απομάκρυνση των τεκτονικών πλακών ή κάτι τέτοιο.



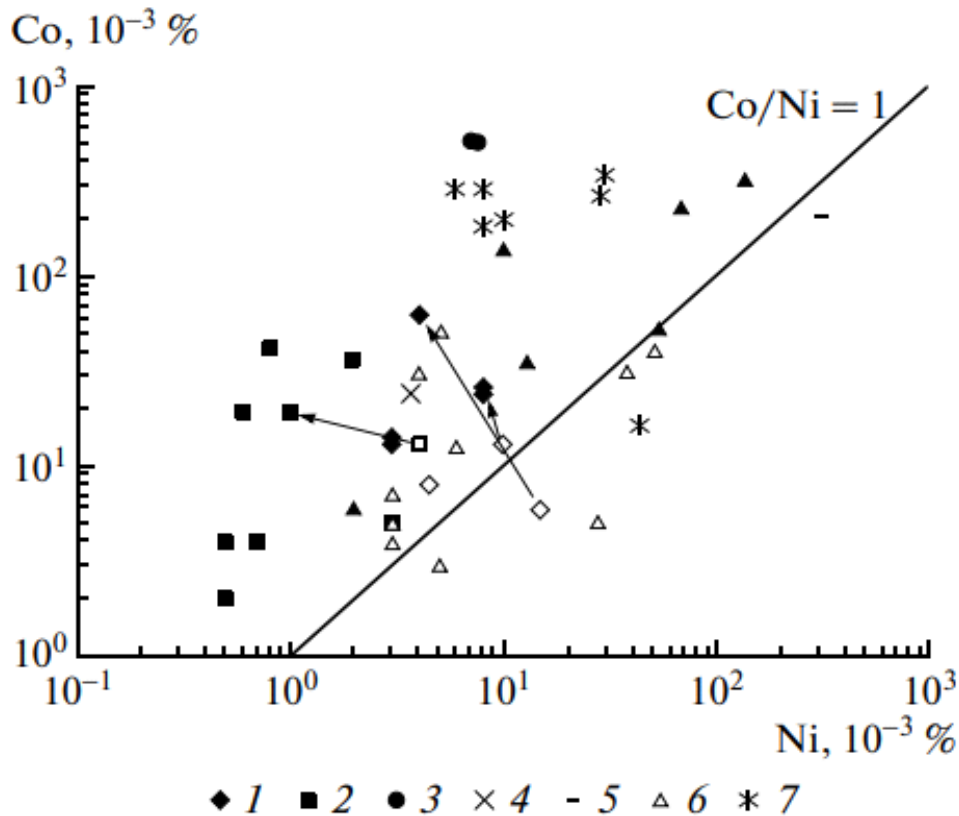
Σχήμα 3.3.1 Χρονικές περίοδοι του σχηματισμού επιδότου (epidotisation) και του σχηματισμού του κοιτάσματος που συσχετίζεται με τον φλοιό της γης, δημιουργία τεκτονικού βυθίσματος και (block) περιστροφή χρησιμοποιώντας παλαιομαγνητισμό: Α) η διαδικασία πριν την περιστροφή Β) Ο σχηματισμός επιδότου (epidotisation) μετά την περιστροφή.

3.4. Χημική Σύσταση

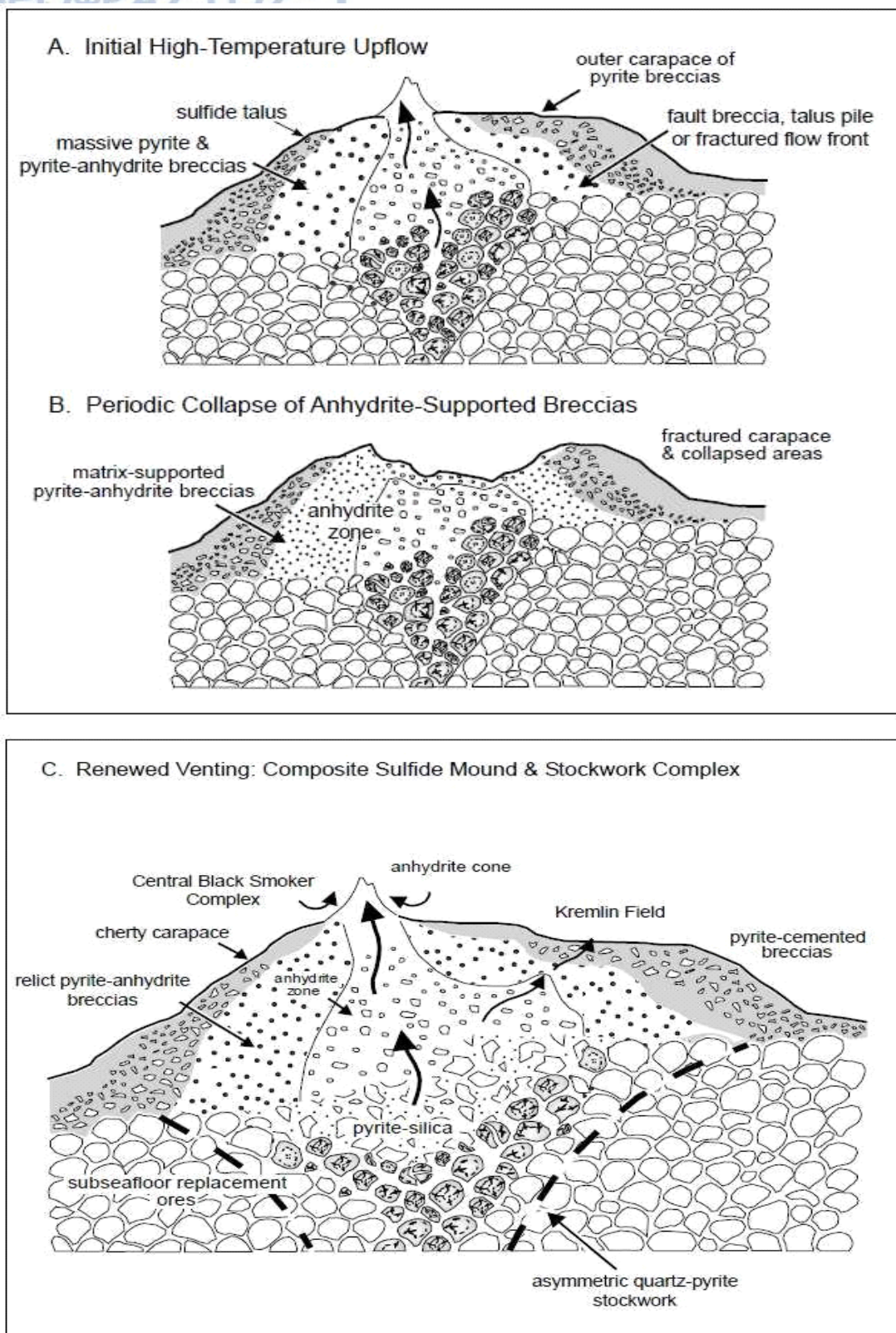
Τα πιο διαδεδομένα ορυκτά μεταλλεύματος του τύπου Κύπρου είναι σιδηροπυρίτης, χαλκοπυρίτης, σφαλερίτης, πετλανδίτης, μαγνητίτης, αιματίτη και χρώμιο είναι μικρά ορυκτά. Σπάνια ορυκτά περιλαμβάνουν αρσеноπυρίτη, κοβαλτίνη, βαλαρίτη, μπραβοίτη, λινναΐτη, βορνίτη, μαρκασίτη, και χρυσό. Τα μεταλλεύματα χαρακτηρίζονται από μια σχετικά χαμηλή μέση περιεκτικότητα σε μέταλλα, με μια σημαντική υπεροχή του Cu έναντι του Zn, μια σχεδόν πλήρη απουσία του Pb, μια υψηλή συγκέντρωση του Ni και Co, και σε ορισμένες περιπτώσεις, επίσης, As, καθώς και μια συγκριτικά χαμηλή περιεκτικότητα του Ag και μια μάλλον υψηλή Au / Ag αναλογία. Τα κοιτάσματα τύπου Κύπρου αποτελούνται από χαλκό ή ψευδάργυρου χαλκού. Η μέση (σύμφωνα με 71 κοιτασμάτων στη βάση δεδομένων) περιεκτικότητα σε μέταλλα σε μεταλλεύματα αυτών των κοιτασμάτων είναι 1,9% Cu και 0,6% Zn. Περίπου το 63% των κοιτασμάτων χαρακτηρίζεται από περιεκτικότητα σε χαλκό 2% ή μικρότερη, και η περιεκτικότητα σε Zn υπερβαίνει το 2% στο 12% των κοιτασμάτων. Οι πολύ υψηλές τιμές της αναλογίας $100\text{Cu}/(\text{Cu} + \text{Zn})$ είναι χαρακτηριστικές του τύπου Κύπρου, και επομένως μια απότομη κυριαρχία του χαλκού έναντι του ψευδαργύρου. Για το 66% των κοιτασμάτων αυτού του τύπου, οι οποίες περιλαμβάνουν το 58% των αποθεμάτων μεταλλεύματος, η αξία αυτής της αναλογίας κυμαίνεται από 0,9 έως 1,0 t. Ο ψευδάργυρος στο μέταλλευμα κυριαρχεί πάνω από το χαλκό μόνο για 11 κοιτάσματα (15%), αλλά κατά κανόνα τα κοιτάσματα αυτά είναι πολύ ασήμαντα στα αποθέματα (στα μισά από αυτά το απόθεμα ανέρχεται σε λιγότερο από 0,7 εκατομμύρια t). Αλλά αν τα συνολικά αποθέματα χαλκού και ψευδαργύρου σε όλα τα κοιτάσματα αυτής της ομάδας είναι παραμορφωμένα, τότε η αναλογία τους είναι 3,1 : 1. Ο μόλυβδος βρίσκεται σε εννέα κοιτάσματα, αλλά σε καμία περίπτωση η συγκέντρωσή του δεν υπερβαίνει το 0,09%.

Η υψηλή συγκέντρωση Co (0.002-0.52% σε 20 κοιτάσματα), Ni (0.001-0.3% σε 14 κοιτάσματα), Mn (0.004-0.11% σε 4 κοιτάσματα) είναι συχνά χαρακτηριστική για τα μεταλλεύματα των συμπαγών σουλφιδίων. Δεδομένου ότι η εξάπλωση αυτών των συστατικών δεν έχει μελετηθεί για όλα τα κοιτάσματα του τύπου Κύπρου είναι πιθανό να αναμένεται ότι το μερίδιο των κοιτασμάτων αυτού του τύπου σε μεταλλεύματα που είναι εμπλουτισμένα σε Ni και Co είναι πολύ υψηλότερο. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων, η τιμή της αναλογίας Co/Ni υπερβαίνει το 1. Κυμαίνεται από 0,03-0,7 για τους διαφορετικούς τύπους μεταλλευμάτων των κοιτασμάτων Ishkinskoie και Ivanovskoie [Melelevestseva, 2007], έως 7-8 (Hoydal, Ana Ytak, Weiss, Libiola) και σε 15-19 (Kinousa, Θεός Κάρολος, KhaialasSafil [Harmington et al., 1998]). Το κοβάλτιο έχει θετική συσχέτιση με το χαλκό. Η

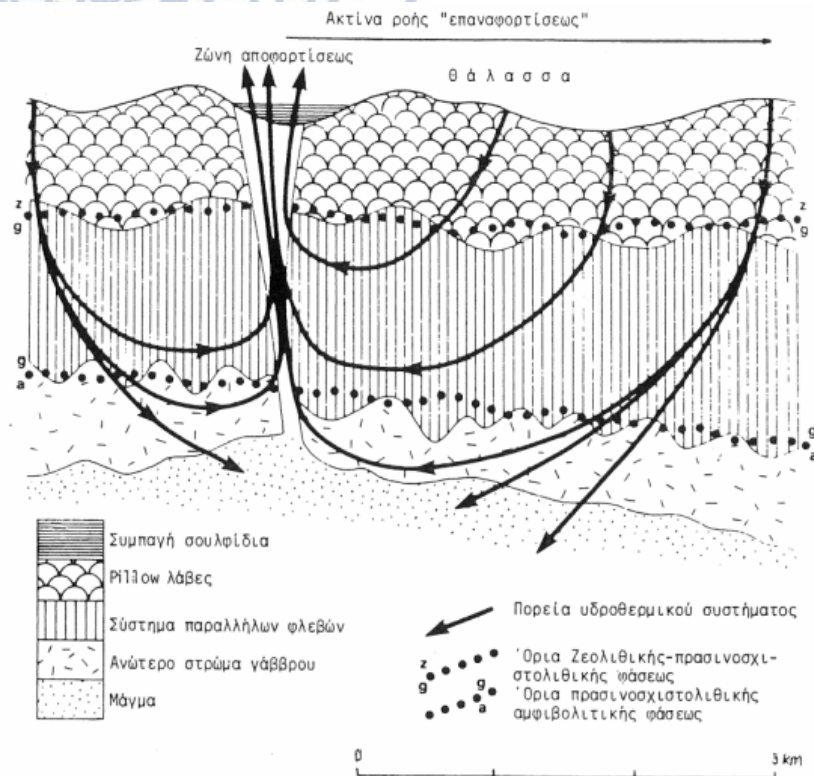
περιεκτικότητα σε νικέλιο μειώνεται κατά τη μεταφορά από τη ζώνη αποθεμάτων (stockwork) σε τεράστια μεταλλεύματα και η περιεκτικότητα σε κοβάλτιο αυξάνεται, και ως εκ τούτου αυξάνεται το σιτηρέσιο κοβάλτιο (Σχήμα 3.5.1). Σημαντικός εμπλουτισμός στο κοβάλτιο βρίσκεται στα συμπαγή μεταλλεύματα των κοιτασμάτων του τύπου στην περιοχή Τρόνκχαϊμ (Lokken και Hoydal), στη ζώνη Prisakmarsko-Voznesenskaya των Ουραλίων, και στις Βόρειες Απέννινες. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ίδια κατάσταση βρίσκεται για κάποιο σύγχρονο σουλφίδιο για mations, για παράδειγμα στο υδροθερμικό πεδίο TAG το στη midAtlantic κορυφογραμμή [Hannington et al., 1998]. Οι κύριοι φορείς ορυκτών Co και Ni είναι σιδηροπυρίτες και πυρροτίτες. Τα εγγενή ορυκτά αυτών των στοιχείων βρίσκονται μάλλον σπάνια [Eremin, et al., 2004b, 2005, και 2007γ]. Στα κοιτάσματα της ζώνης Prisakmarsko Voznesenskaya των Νότιων Ουραλίων (Dergaly shskoye, Ivanovskoie, και Ishkinskoie) για παράδειγμα τα σουλφίδια τους είναι παρόντα (Copentlandite, violarite, linnaeite, siegenite), αρσενίτες (νικέλινο και κοβαλίτης) και σουλφοαρσενίδης (glaucodot) [Zaikov, 1999; Μελεκέστεβα, 2007]. Σημαντική περιεκτικότητα σε χρυσό (0,06–7,2 g/t) αποκαλύφθηκε σε 20 κοιτάσματα του τύπου Κύπρου (28% του αριθμού τους στη βάση δεδομένων). Η μέση περιεκτικότητα της Au στα αποθέματα μεταλλεύματος αυτών των κοιτασμάτων είναι 0,31 g/t και υπερβαίνει το 1 g/t μόνο για το ένα τρίτο των κοιτασμάτων. Το περιεχόμενο του Ag κυμαίνεται από 9 έως 69 g/t και, κατά μέσο όρο, σε αποθέματα μεταλλευμάτων 23 κοιτάσματα αυτού του τύπου ισούται με 23,2 g/t. Ως εκ τούτου, ο λόγος Au/Ag φθάνει σε συγκριτικά υψηλές τιμές, οι οποίες κυμαίνονται από 0,004 έως 0,283. στο 50% όλων των περιπτώσεων υπερβαίνει το 0,050 και κατά μέσο όρο στα αποθέματα μεταλλεύματος κοιτασμάτων αυτού του τύπου ισούται με 0,042.



Σχήμα 3.5.1 Αναλογία περιεχομένου κοβαλτίου και νικελίου σε μεταλλεύματα τύπου Κύπρου (τα δεδομένα για σχηματισμούς σουλφιδίων του υδροθερμικού πεδίου TAG δίνονται για σύγκριση [Hannington, et al., 1998]. Τα σύμβολα με πλήρωση αντιστοιχούν σε συμπαγή μεταλλεύματα και αυτά που δεν γεμίζουν είναι αποθέματα. Τα σημεία που αντιστοιχούν σε συμπαγή μεταλλεύματα και stockworks bodies σχετικών κοιτασμάτων συνδέονται με βέλη. Κοιτάσματα οφιολιθικών συμπλεγμάτων: 1, Ομάν; 2, Κύπρος; 3, Νοτιοανατολική Ανατολία. 4, Νορβηγία 5, Ουράλια; 6, Βόρεια Απέννινα; 7, υδροθερμικό πεδίο TAG στην κορυφογραμμή MidAtlantic.



Σχήμα 3.6.1 Μοντέλο δημιουργίας κοιτασμάτων τύπου Κύπρου από Hannington et al. (1998)



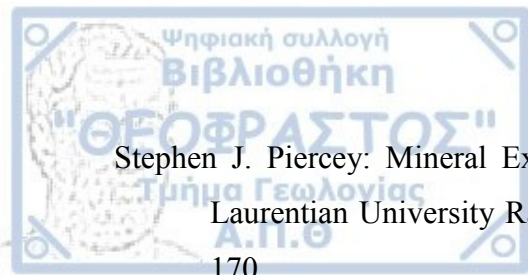
Σχ. 3-39. Τρόπος δημιουργίας κοιτασμάτων τύπου Κύπρου κατά I. GASS 1979 με τροποποίηση (από Συνέδριο Οφειολίθων Κύπρου).

4. Συμπεράσματα

Σε αυτή τη εργασία έχει ληφθεί διαδοχική προσέγγιση για τον εντοπισμό των κοιτασμάτων VMS παγκοσμίως, η σημασία τους αυτών των ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων και οι σχέσεις τους με τα υποθαλάσσια συστήματα. Τα βήματα της ακολουθίας αναγνώρισης βασίζονται, κατά σειρά, στα χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων, στην ηφαιστειότητα και στα πετρογραφικά χαρακτηριστικά, ορυκτολογικά και χημικά χαρακτηριστικά, τις υδροθερμικές εξαλλοιώσεις, στον μηχανισμό γένεσης και στον τρόπο δημιουργίας αυτών των συμπαγών κοιτασμάτων VMS.

Τα ηφαιστειογενή κοιτάσματα συμπαγών σουλφιδίων (VMS) είναι σημαντικές πηγές Zn, Cu, Pb, Ag και Au και σημαντικές πηγές για Co, Sn, Se, Mn, Cd, In, Bi, Te, Ga και Ge. Υπάρχουν πάνω από 800 γνωστές σε όλο τον κόσμο. Τα αποθέματα ηφαιστειακών συμπαγών σουλφιδίων (VMS) έχουν συμβάλει σημαντικά στην οικονομική ανάπτυξη της Νέας Γης για περισσότερο από έναν αιώνα. Τα αποθέματα των συμπαγών σουλφιδίων του Κύπρου βρίσκονται εντός της σειράς Pillow Lava του Οφιόλιθο του Τροόδους, το οποίο θεωρείται γενικά ότι αποτελεί θραύσμα του πυθμένα του Μεσοζωικού ωκεανού ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης μεταξύ της Ευρασίας και της Αφρικής.

- Εμμανουηλίδης Χ.Β., 2019. – Μεταλλογένεση της μεταξύ Βεροίας και Ναούσης περιοχής. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Αριθμός Παραρτήματος Επιστημονικής Επετηρίδας Τμ. Γεωλογίας Νο 193, 381 σελ. 242-251
- Μέλφος Β., 1995 – Ερευνα των βασικών και ευγενών μετάλλων στην Περιοδοπική Ζώνη της Θράκης. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ 2). σελ 23-28
- Andrew J. Martin Tellurium and Selenium in Mafic Volcanogenic Massive Sulfide Hydrothermal Systems: Evidence From the Troodos Ophiolite, Cyprus. Submitted in partial fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy May 2019 pp 8-16, 22-23, 57-58
- Alan Galley, Mark Hannington and Ian Jonasson Volcanogenic Massive Sulphide Deposits Geological Survey of Canada, 601 Booth Street, Ottawa, ON, K1A 0E8 pp 3-17
- A. L. Dergacheva , N. I. Ereminb , and N. E. Sergeevac Volcanogenic Massive Sulfide Deposits of Ophiolite Associations ISSN 01458752, Moscow University Geology Bulletin, 2010, Vol. 65, No. 5, pp. 265–272
- Galley, A.G., Hannington, M.D., and Jonasson, I.R., 2007, Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication No. 5, p. 141-161.
- Daniel Parvaz, March 2014 Oxidation Zones of Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in the Troodos Ophiolite, Cyprus: Targeting Secondary Copper Deposits 27-47, 134-135
- Herzig, P.M., Hannington, M.D. (1995). Polymetallic massive sulphides at the modern seafloor: A review. Ore Geol Rev 10, 95 – 115
- Mark D. Hannington, Alan G. Galley, Peter M. Herzig, and Sven Petersen 28. COMPARISON OF THE TAG MOUND AND STOCKWORK COMPLEX WITH CYPRUS-TYPE MASSIVE SULFIDE DEPOSITS¹ Herzig, P.M., Humphris, S.E., Miller, D.J., and Zierenberg, R.A. (Eds.), 1998 Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results, Vol. 158
- N. G. Adamides (2013) South Mathiatis: An unusual volcanogenic sulphide deposit in the Troodos ophiolite of Cyprus, Applied Earth Science, pp 194



Stephen J. Piercey: Mineral Exploration Research Centre, Department of Earth Sciences, Laurentian University Ramsey Lake Road, Sudbury, ON, Canada, P3E 2C6 pp 169-170

Stephen J. Piercey: The setting, style, and role of magmatism in the formation of volcanogenic massive sulfide deposits *Miner Deposita* (2011) 46:449–471

Soichi Osozawa, , Ryuichi Shinjo , Ching-Hua Lo , Bor-ming Jahn , Nguyen Hoang , Minoru Sasaki , Ken'ichi Ishikawa , Harumasa Kano , Hiroyuki Hoshi , Costas Xenophontos , and John Wakabayashi : Geochemistry and geochronology of the Troodos ophiolite: An SSZ ophiolite generated by subduction initiation and an extended episode of ridge subduction *Lithosphere* (2012) 4 (6): 497–510