ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ
"ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟΣ ΟΡΥΚΤΟΣ ΠΛΟΥΤΟΣ"

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΕ ΘΕΜΑΤΑ ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗΣ-ΕΡΕΥΝΑΣ-ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΑΠΟ: Κ.Θ.ΠΑΠΑΒΑΣΙΛΕΙΟΥ
ΕΠΙΚΟΥΡΟ ΚΑΘΗΓΗΤΗ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΑΘΗΝΩΝ

Α Θ Η Ν Α 2 0 0 4

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Α

ΕΙΣΑΓΩΓΗ- ΜΕΡΙΚΕΣ ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παγκόσμια οικονομία και ο ραγδαίος ρυθμός ανάπτυξης του πλυθησμού του πλανήτη μας δημιουργεί μια μεγάλη ανάγκη να βρεί νέους ορυκτούς πόρους. Οι θαλάσσεες και κυρίως οι ωκεανοί μπορούν να συνεισφέρουν σημαντικά για αυτούς τους πρόσθετους πόρους. Τα αποθέματα πετρελαίου καταναλώνονται αρκετά γρήγορα και το ενεργειακό μέλλον μας έχει μόνο τον άνθρακα και την πυρινική ενέργεια ως εναλλακτική λύση ενώ οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας που υπόσχονται πολλά για το μέλλον μέχρι τουλάχιστον το 2010, δεν μπορούν να αποτελέσουν μια πραγματική εναλλακτική λύση στον άνθρακα το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο. Το ξεκίνημα της νέας γενιάς πυρηνικών εγκαταστάσεων, των τεχνικών επεξεργασίας άνθρακα, ή της εξαγωγής πετρελαίου από τον σχιστόλιθο με αποδεκτές περιβαλλοντικά προδιαγραφές θα διαρκέσει τουλάχιστον 10 χρόνια ακόμα.

΄Ηδη μεγάλες βιομηχανικές χώρες στην Ευρώπη, οι ΗΠΑ και η Αυστραλία αντιμετωπίζουν την εξής κατάσταση: Οι ενεργειακές τους ανάγκες αυξάνουν και δεν μπορούν να καλύφθούν από την ιδία παραγωγή ενώ έχουν και σημαντική εξάρτηση,ιδιαίτερα η Ευρώπη από εισαγόμενες σημαντικές ορυκτές πρώτες ύλες.
Οι υποθαλάσσιοι πόροι παρέχουν τις πρόσθετες διασφαλίσεις για τις ανάγκες μας σε ορυκτούς πόρους . Η παράκτια δυνατότητα αποθεμάτων πετρελαίου είναι υψηλή, αλλά λόγω της χαμηλής αγοραστικής αξίας του πετρελαίου και ενός πλεονάσματος παγκοσμίως, λίγη έρευνα πηγαίνει στις νέες εσωτερικές πηγές.
Οι ωκεανοί είναι ένας σημαντικός πόρος για την ανθρωπότητα, οι οποίοι πρόκειται ακόμα να εξερευνηθούν και να χρησιμοποιηθούν στην πλήρη δυνατότητά τους. Οι ωκεανοί και οι διασυνδεδεόμενες θάλασσες διαμορφώνουν μια συνεχή περιοχή που καλύπτει για τα τρία τέταρτα της γήινης επιφάνειας. Μέσα σε αυτήν την σφαίρα, έχουμε τις πηγές μεταλλευμάτων και ενέργειας που είναι κατά ένα μεγάλο μέρος αναξιοποίητες. Είναι αξιοσημείωτο να γνωρίζετε ότι η παγκόσμια υφαλοκρηπίδα και τα ηπειρωτικά περιθώρια είναι μεγαλύτερα σε έκταση από το φεγγάρι και προσφέρουν μια σχεδόν παρθένα περιοχή για να εξερευνήση. Μεταξύ 1975 και 2000 ο παγκόσμιος πληθυσμός αυξήθηκε κατά σχεδόν 4 δισεκατομμύρια, αυτό είναι μια αύξηση 20 φορές του πληθυσμού των Ηνωμένων Πολιτειών η αύξηση στον πληθυσμό της Ινδίας σ αυτό το χρονικό διάστημα ήταν περίπου ίση με το συνολικό πληθυσμό των ΗΠΑ. Αυτή η αύξηση δημιουργεί ήδη ακόμη περισσότερη πίεση στους παγκόσμιους και προς το παρόν καθορισμένος ορυκτούς πόρους, και η θαλάσσια μεταλλεία πρέπει να γίνει μια πραγματικότητα στον αιώνα που ήδη διανύουμε.
Με τις αυξανόμενες ελλείψεις πολλών μεταλλευμάτων, έχουμε ήδη οδηγηθεί στην αναζήτηση των νέων πηγών. Οι θαλάσσιοι πόροι είναι η πολλά υποσχόμενη περιοχή για τις νέες ορυκτές πηγές (Τ1) . ΄Ηδη από την δεκαετία του ’60, η θαλάσσια μεταλλεία ήταν ένα σημαντικό ζήτημα μεταξύ των επιχειρηματιών, των πολιτικών και των επιστημόνων με μια σημαντική ώθηση από τους επιστήμονες να κατασταθεί η βιομηχανία ενήμερη για τις ευκαιρίες πιθανής αγοράς από τον ωκεανό. Πρώτη προτεραιότητα είχε όπως ήταν φυσικό ιδιαίτερα μετά την πρώτη ενεργειακή κρίση

στις αρχές της δεκαετίας του ’70 η εξερεύνηση πετρελαίου και φυσικού αερίου.
Η σύγκρουση μεταξύ της έρυνας και της παραγωγής με τις περιβαλλοντικές ανησυχίες και οι δαπάνες της παράκτιας και θαλάσσιας έρευνας έχουν οδηγήσει σήμερα σε μια μειωμένη κίνητικότητα να ερευνηθούν οι υποθαλάσσιες ορυκτές πρώτες ύλες.
Η επίλυση των κάθε είδους συγκρούσεων θα είναι ένα αναπόσπαστο τμήμα της ανάπτυξης των θαλασσίων ορυκτών πηγών. Τα νομικά, πολιτικά, και κοινωνικά προβλήματα που περιλαμβάνονται στη θαλάσσια μεταλλεία είναι σύνθετα και δυσκολότερο να επιλυθούν από ότι στην ξηρά. ΄Ενα σώμα μεταλλεύματος στο υπέδαφος στην ξηρά βρίσκεται μέσα σε ένα εθνικό όριο – τα πολιτικά όρια μπορούν να αλλάζουν και τα προβλήματα ανεμπόδιστης μεταλλείας κπορούν να δημιουργηθούν όπως ήδη έχουμε δει στην Αφρική αλλά τελικά οι κυβερνήσεις μπορούν να χειριστούν, να ελέγξουν τον ορυκτό τους πλούτο, και τελικά σαν κύριος του σώματος μεταλλεύματος να δίδει μια μίσθωση μεταλλείας.
Στις θάλασσες όμως τα πράγματα είναι πολύ πιο σύνθετα. Οι πρόσφατες συνθήκες και οι προκηρύξεις μετα την καθιέρωση του νέου δικαίου για την θάλασσα από τα Ηνωμένα ΄Εθνη έχουν καθιερώσει την έννοια της αποκλειστικής οικονομικής ζώνης που αναφέρεται και στα δικαιώνις ζώνες μτα στις ΥΟΠΥ στα γειτονικά έθνη, και οι διαπραγματεύσεις έχουν καθιερώσει τα προς τη θάλασσα όρια μεταξύ των παρακείμενων χωρών, αλλά ένα μεγάλο μέρος του ωκεανού βρίσκεται πέρα από τα εθνικά όρια, που δημιουργούν σημαντικά πολιτικά και νομικά προβλήματα για να προχωρήσει η δραστηριότητα έρευνας και εκμετάλλευσης ΥΟΠΥ σε μεγάλη κλίμακα.
Η παγκόσμια υφαλοκρηπίδα και τα ηπειρωτικά περιθώρια περιλαμβάνουν μια περιοχή που είναι σχεδόν 50% τόσο μεγάλο όσο οι υπάρχουσες περιοχές ξηράς. Τα ορυκτά αποθέματα στις περιοχές αυτές θα μπορούσαν να προσεγγίσουν εκείνων που βρέθηκαν στις παρακείμενες επίγειες περιοχές.
Σήμερα μόνο η εκμετάλλευση προσχωματικών ΥΟΠΥ στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας είναι ήδη μια πραγματικότητα. Στα μεγάλα θαλάσσια βάθη, οι αποθέσεις φωσφοριτών ,των οξειδίων σιδηρομαγγανίου σε μορφή κονδύλων και επιφλοιώσεων καθώς και των υδροθερμικής προέλευσης σουλφιδίων είναι τα μεταλλεύματα που αποτελούν τους κύριους στόχους της εξερεύνησης.
Το 1969, είχε προβλεφθεί ότι σε 2 δεκαετίες η αλιεία , το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο και οι κόνδυλοι Mn-Fe στους μεγάλους ωκεανούς θα ήταν τα σημαντικά θαλάσσια ευρήματα της ανθρωπότητας. ΄Ηδη από το 1999, τα αποθέματα ψαριών παρουσιάζουν σοβαρή μείωση και η μεταλλεία των κονδύλων Mn-Fe στους μεγάλους ωκεανούς είναι περισσότερο μια μελλοντική προοπτική, η εξερεύνηση αλλά και εκμετάλλευση μόνο πετρελαίου και αερίου καθώς και των προσχωματικών ΥΟΠΥ στην υφαλοκρηπίδα έχουν προχωρήσει αποφασιστικά.
Δεδομένου ότι σήμερα αρχίζει μια νέα στροφή στις προσπάθειές μας για την θαλάσσια μεταλλεία, πρέπει να καταλάβουμε ότι αν και πολλές γεωλογικές διαδικασίες και φαινόμενα είναι κοινά σε ηπείρους και ωκεανούς , ο βαθύς ωκεάνειος φλοιός, κρούστα και η συνέχεια του ηπειρωτικού φλοιού στην θάλασσα περιλαμβάνουν την δημιουργία διαφορετικών τύπων ορυκτών και πετρωμάτων ενώ και οι γεωχημικές διαδικασίες του εμπλουτισμού και οι ιζηματώγενείς διαδικασίες της μεταφοράς και της συγκέντρωσης των μεταλλοφοριών διαφέρουν. Τα προβλήματα όχι μόνο για την έρευνα αλλά και για και η εξαγωγή των υποθαλάσσιων ορυκτών πόρων είναι διαφορετικά, δυσκολότερα, και δαπανηρότερα. Οι επιπτώσεις της θεωρίας των τεκτονικής πλακών για την έρευνα των ΥΟΠΥ πρέπει να γίνουν κατανοητοί προκειμένου να αναπτυχθούν οι στρατηγικές εξερεύνησης δεδομένου ότι ο εντοπισμός των ορυκτών αποθεμάτων ελέγχεται από τις διαδικασίες κίνησης και φαινομένων στις τεκτονικές πλάκες. Η αυξανόμενη γνώση των μηχανισμών λειτουργίας και κίνησης των τεκτονικών πλακών έχει οδηγήσει σε νέες βελτιωμένες μεθόδους για την εντόπιση των υποθαλασσίων ορυκτών αποθεμάτων.

Προς το παρόν η θαλάσσια βιομηχανία μεταλλευμάτων επισκιάζεται από την ανοικτής θαλάσσης βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου τζίρου $100 δισεκατομμυρίων δολλαρίων/έτος. Εντούτοις, ένα μεγάλο μέρος της τεχνολογίας που επιτρέπει την εμπορική αναζήτηση των μεταλλευμάτων βρίσκει την προέλευσή της στην ανοικτής θαλάσσης βιομηχανία πετρελαίου.

Η εξαγωγή των υποθαλάσσιων ορυκτών πόρων σήμερα που παράγεται και αναφερόμαστε στα προσχωματικά κοιτάσματα και συσσωματώματα βαρέων ορυκτών στην υφαλοκρηπίδα αντιπροσωπεύει ακριβώς κάτω από δύο δισεκατομμύριο δολάρια ανά βιομηχανία κάθε χρόνο παγκοσμίως. Υπάρχουν περίπου δωδεκάδι γενικοί τύποι θαλασσίων και υποθαλασσίων ορυκτών προϊόντων, τα μισά από τα οποία προς το παρόν παράγονται από το θαλασσινό νερό ή προέρχονται από ΥΟΠΥ. Αυτές περιλαμβάνουν την άμμο, το κοράλλι, το αμμοχάλικο, και το κοχύλι για το σύνολο, την κατασκευή τσιμέντου και το ξαναγέμισμα παραλιών μαγνήσιο για τις χημικές ουσίες και το μέταλλο, NaCl (αλάτι) , ιώδιο, βρώμιο και μια σειρά αλάτων που βρίσκονται στο θαλασσινό νερό άλας θείο για το θειικό οξύ και αποθέσεις μεταλλοφόρων κοιτασμάτων βαρέων ορυκτών , αυτοφυών μετάλλων και πολυτίμων λίθων όπως π.χ τα διαμάντια, τον κασσίτερο, το τιτάνιο, σπάνιες γαίες, ζιρκόνιο, χρυσό,πλατίνα.

Οι μεταλλοφορίες ΥΟΠΥ που έχουν μεγάλο και συνές ενδιαφέρον αλλά δεν εξάγονται προς το παρόν περιλαμβάνουν τους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις οξειδίων μαγγάνιου-σιδήρου πλουσίων σε στρατηγικά μέταλλα όπως Ni, Co, Cu, τα πολυμεταλλικά σουλφίδια πλούσια σε Zn, Pb αλλά συχνά και σε Au και Ag, φωσφορίτες , και τις ένυδρες ουσίες μεθανίου. Κάθε ένα από αυτά τα ορυκτά προϊόντα αντιπροσωπεύεται από μια χωριστή βιομηχανία, η οποία αποκρίνεται στις τοπικές πιέσεις και τις ευκαιρίες στη γεωγραφική περιοχή της. Οι πρόσφατοι τομείς της επιτυχίας περιλαμβάνουν τη γρήγορη επέκταση της βιομηχανίας διαμαντιών από τη νοτιοδυτική ακτή της Αφρικής, εντατική εκμετάλλευση προσχωματικών μεταλλοφοριών βαρέων ορυκτών στην υφαλοκρηπίδα κυρίως στις χώρες της Ν.Α Ασίας, την Αυστραλία, Ινδία, Βραζιλία , επέκταση της ανοικτής θαλάσσης βιομηχανίας άμμου και αμμοχάλικου για το ξαναγέμισμα παραλιών και το συνολική, νέα ενδιαφέρον κλάδου των οικοδομικών και τεχνικών έργων και τη μίσθωση των πολυμεταλλικών αποθέσεων πολυμεταλλικών σουλφιδίων, και το σημαντικό ενδιαφέρον για πιθανή εκμετάλλευση των ένυδρων ουσιών μεθανίου.

Οι εμπορικές επιτυχίες της θαλάσσιας βιομηχανίας μεταλλευμάτων τα τελευταία πέντε χρόνια ήταν στην άμμο και το αμμοχάλικο, σε βαρέα μεταλλικά ορυκτά και τα παράκτια διαμάντια. Από τη νοτιοδυτική ακτή της Αφρικής, πρώτιστα Ναμίμπια, η ανοικτής θαλάσσης βιομηχανία διαμαντιών εργάζεται τώρα σε βάθος θάλασσας 200m, με τις μισθώσεις για μελλοντική εκμετάλλευση να επεκτείνομαι σε 1,000m βάθους.

Περισσότερο από δώδεκα ειδικά σκάφη εξόρυξης τέτοιων ΥΟΠΥ περιλαμβάνονται τώρα στον εξοπλισμό αυτών των βιομηχανιών ενώ πρόσφατα , πολλές από αυτές άρχισαν να εξοπλίζονται «περίπλοκους υποβρύχιους ρομποτικούς ανθρακωρύχους» όπως ονομάζονται. Ο ναυτικός εξοπλισμός της De Beers, ένας από τους ηγέτες σε αυτόν τον τομέα κυρίως στην παραγωγή διαμαντιών , έχει αγοράσει ένα ειδικό βαθυσκάφος από τη Δανία για να πραγματοποιήσει τις βαθιές υποβρύχιες έρευνες για ανέρευση νέων αποθεμάτων διαμαντιών. Μια άλλη επιχείρηση πειραματίζεται με τις νέες τεχνικές για να κοσκινιστούν τα αμμοχάλικα διαμαντιών υποβρύχια για να μειώσει την ποσότητα υλικού που μεταφέρεται. Η ποιότητα των διαμαντιών που προέρχονται από τον παράκτιο τομέα είναι ανώτερη από εκείνη που βρίσκεται σε πολλές χερσαίες περιοχές λόγω των φυσικών διαδικασιών ταξινόμησης κατά την ιζηματογέννεση.

Μια άλλη σημαντική πλευρά αυτής της βιομηχανίας είναι τα συσσωματώματα βαρέων ορυκτών που χρησιμοποιούνται στην δομική βιομηχανία κυρίως άμμος και αμμοχάλικο ειδικών προδιαγραφών. Η δραστηριότητα αυτή παρουσιάζει πολλά περιβαλλονικά προβλήματα αφού τεράστιες ποσότητες αδρανών υλικών εξορύσσονται σε παράκτιες περιοχές. Παρ' όλα αυτά όμως πολλές βιομηχανικές χώρες θέσπισαν αυστηρές περιβαλλοντικές προδιαγραφές για την προστασία και κυρίως αποκατάσταση των περιοχών αυτών Έτσι στις ΗΠΑ, σημαντικά ποσά άμμου έχουν έχουν τοποθετηθεί πίσω στις παραλίες στα προγράμματα ξαναγεμίσματος παραλιών. Ενώ είναι μια δαπανηρή διαδικασία το γεγονός αυτό είναι παρουσίαση αποδείξεων ότι υπάρχουν

αποτελεσματικοί τρόποι για να αντιμετωπιστεί η προστασία παραλιών.
Σε ότι αφορά τις μεταλλοφορίες στις ανοικτές θάλασσες , το εμπορικό ενδιαφέρον έχει μετατοπιστεί στα πολυμεταλλικά σουλφίδια (αποθέσεις κατά μήκος των ενεργών μεσω-ωκεάνειων ράχεων ή σε νησιωτικά ηφαιστειακά τόξα) σε σχέση με τους κονδύλους και επιφλοιώσεις οξειδίων μαγγάνιου-σιδήρου..
Η κυβέρνηση της Νέας Παπούα-Γουϊνέας έχει εκδώσει δύο μισθώσεις σε μεγάλες πολυεθνικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις στις αποθέσεις στο νότιο σημείο των λεκανών Manus της Νέας Γουϊνέας. Οι μισθώσεις από τα νησιά Φίτζι είναι στη φάση προγραμματισμού. Οι αποθέσεις πολυμεταλλικών σουλφιδίων που περιλαμβάνονται είναι πλούσιες σε χρυσό και άργυρο και βρίσκονται σε λιγότερο από 2,000m βάθος νερού. Οι έρευνες σε τέτοιες περιοχές δείχνουν ότι πολλά τεχνολογικά θέματα σε ότι αφορά τα απαιτούμενα περιβαλλοντικά σχέδια και την εξόρυξη πρέπει να αντιμετωπισθούν.Μέχρι σήμερα δεν έχει υπάρξει καμία δοκιμή εξόρυξης. Ενώ οι πρωταρχικοί οικονομικοί στόχοι θα είναι ο χρυσός και ο άργυρος, οι πιθανοί δευτερεύοντες στόχοι περιλαμβάνουν τον ψευδάργυρο, το μόλυβδο, και το χαλκό. Οι μελέτες της οικονομικής δυνατότητας φαίνονται ελπιδοφόρες. Εάν αυτές οι επιχειρήσεις είναι σε θέση να βρούν τα απαραίτητα κεφάλαια, οι διαδικασίες μεταλλείας θα μπορούσαν να αρχίσουν μέσα σε μια δεκαετία.
Η σημαντικότερη ανάπτυξη στα μεταλλεύματα μεγάλων θαλασσίων βαθών θα μπορούσε να είναι οι ένυδρες ουσίες μεθανίου. Αυτό το αέριο, που παγώνει στο βυθό μεγάλων θαλασσίων σε μεγάλα βαθη, έχει τη δυνατότητα να είναι ένας από τους μέγιστους αναξιοποίητους ενεργειακούς πόρους στον πλανήτη. ΄Ενα ιαπωνικό ερευνητικό πρόγραμμα αξίας $60 εκατομμύριων δολαρίων στρέφεται αυτήν την περίοδο στην έρευνα αυτού του πόρου και, για πρώτη φορά, προσπαθεί να αναπτύξει τους τρόπους που θα αξιοποιηθεί εμπορικά αυτό το υλικό. ΄Ενα κάπως μικρότερο αμερικανικό πρόγραμμα συντονίζεται επίσης μέσω του Υπουργείου ενέργειας. Ενώ λίγες πληροφορίες εφαρμοσμένης μηχανικής έχουν δημοσιευθεί από αυτά τα προγράμματα, φαίνεται από τις πρόωρες εκθέσεις ότι η εξαγωγή των ένυδρων ουσιών μεθανίου μπορεί να είναι τεχνικά εφικτή.

Η επιτυχής εμπορική εκμετάλλευση ενός μεγάλου βάθους υποθαλλασίου ορυκτού πόρου θα είχε μια βαθιά επίδραση στην ανάπτυξη και άλλων ορυκτών πόρων του και κυρίως σε ότι αφορά προγραμμάτα βυθού που απαιτούν νέες τεχνολογίες.

Η προηγμένη τεχνολογία βοηθά την ανάπτυξη

Διάφορες τάσεις ωθούν προς τα εμπρός την ανάπτυξη πολλών τύπων θαλασσίων μεταλλευμάτων. Αυτοί περιλαμβάνουν:

- την σημαντική επιτυχία της βιομηχανίας πετρελαίου ανοικτών θαλασσών καθώς και της ανοικτής θαλάσσης βιομηχανίας διαμαντιών, (off-the-shelf) τεχνολογία ικανή για εκμεταλλεύσεις σε βάθος βυθού 2,000m.
- ο αυξανόμενος πλούτος στο δυτικό κόσμο και περισσότερη ανοχή των επιχειρήσεων υψηλού κινδύνου,
- αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός με τις επόμενες απαιτήσεις μετάλλων που αναγκάζουν τις τιμές μετάλλων για να αυξηθεί,
- αυξανόμενη περιβαλλοντική συνείδηση, που καθιστά τα νέα ορυχεία στο έδαφος δύσκολα να ανοίξουν,
- ταχείες πρόοδοι στη ρομποτική, τη θαλάσσια βιοτεχνολογία, και τα βασισμένα στην πληροφορική συστήματα ελέγχου, και
- ένα σχετικά σταθερό διεθνές καθεστώς που πηγάζει απο την εφαρμογή του νέου δικαίου για την θάλασσα.

Το συνδυασμένο αποτέλεσμα αυτών των έξη τάσεων είναι, γενικά, ένα πολύ ευνοϊκό περιβάλλον για την ανάπτυξη των θαλασσίων μεταλλευμάτων.
Σε ένα ευρύτερο μέτωπο, ολόκληρη σειρά των θαλασσίων τεχνολογιών νέου χαμηλότερου κόστους

και υψηλότερης αποδοτικότητας καθιστά τη θαλάσσια βιομηχανία μεταλλευμάτων περισσότερο ανταγωνιστική. Κατά τη διάρκεια των επόμενων δέκα ετών οι τεχνολογίες αυτές θα αλλάξουν σημαντικά το πρόσωπο της βιομηχανίας.

Η αξιοποίηση κονδύλων και επιφλοιώσεων οξειδίων μαγγάνιου-σιδήρου είναι ακόμα μακριά

Παρά αυτές τις τεχνικές προόδους σε μια σειρά των βασικών βιομηχανιών υποστήριξης, η πλήρης ανάπτυξη των κονδύλων μαγγάνιου και των επιφλοιώσεων μαγγάνιου είναι ακόμα πιθανώς ένα ελάχιστο 20 ετών μακριά. Ένας από τους σημαντικότερους λόγους που δίνονται για τη βραδύτητα στην ανάπτυξη των κονδύλων μαγγάνιου είναι η υποτιθέμενη αποτυχία του νόμου η της θάλασσας σε ότι αφορά να προστατευθούν επαρκώς τα συμφέροντα μεταλλείας βυθού. Οι ΗΠΑ έχουν επαναδιαπραγματευθεί της Συνθήκης που θεωρήθηκε η προβληματική περιοχή.

Η συνθήκη για το νέο δίκαιο της θάλασσας τέθηκε σε πλήρη ισχύ τον Νοέμβριο του 1994. Εντούτοις, η ισχυρή αντίσταση των ΗΠΑ στη συνθήκη αυτή θα αποτρέψει πιθανώς τις ΗΠΑ από να συμφωνήσει σύντομα.

Στο μεταξύ, η διεθνής αρχή βυθού των Ηνωμένων Εθνών δημοσίευσε τα σχέδια κανονισμού σχετικά με την έρευνα και την εκμετάλλευση για τους πολυμεταλλικούς κονδύλους τον Αύγουστο του 1999. Το έγγραφο 49-σελίδων περιγράφει τις τυποποιημένες απαιτήσεις και τις μεθόδους για τις άδειες προκειμένου να επιτρέψει την εξερεύνηση. Το έγγραφο αντιπροσωπεύει ένα καλό πρώτο βήμα προς τη ρύθμιση μιας μελλοντικής βιομηχανίας κονδύλων. Η διεθνής αρχή βυθού έχει αρχίσει πρόσφατα την εργασία για τους κανονισμούς για άλλα μεταλλεύματα βυθού. Υπάρχουν σήμερα σημαντικά προγράμματα έρευνας κονδύλων στην Κορέα, την Κίνα, και την Ινδία με την απόλυτη στήριξη των κυβερνήσεων τους. Το πρόγραμμα στην Κορέα αντιμετώπισε προβλήματα μετά την ασιατική οικονομική κρίση αλλά συνεχίζεται σήμερα. Το πρόγραμμα στην Κίνα έχει περάσει από παρόμοια δοκιμασία .

Εάν η Ασία επιστρέψει σε μια περίοδο οικονομικής ανάκαμψης είναι πιθανό ότι αυτά τα προγράμματα να εντατικοποιηθούν δεδομένου ότι οι θεμελιώδεις παραδοχές που τα οδηγούν δεν έχουν αλλάξει. Ιδιαίτερα σημαντικός εδώ θα είναι η αύξηση στο διαθέσιμο εισόδημα των οικογενειών στην Κίνα και την Ινδία. Αυτό είναι ένας από τους λόγους ότι η κυβέρνηση της Κίνας ενδιαφέρεται τόσο για μια θαλάσσια βιομηχανία μεταλλευμάτων. Να παράσχει τις ποσότητες μετάλλων που απαιτούνται θα απαιτήσει πολλές νέες πηγές που αναπτύσσονται. Η συγκομιδή αυτών των μεταλλευμάτων από τον ωκεανό θα επιτρέψει επίσης να δημιουργηθεί μια σημαντική νέα εσωτερική υψηλή τεχνολογία ωκεάνιας μεταλλευτικής βιομηχανίας. Ο εξοπλισμός και η πείρα που αναπτύσσονται για μια εθνική ωκεάνια βιομηχανία μεταλλείας βαθέων θαλασσών θα έχουν ποικίλα άλλα υποπροϊόντα για ένα ευρύ φάσμα άλλων βαθιών ωκεάνιων εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της θαλάσσιας βιοτεχνολογίας.

Το νικέλιο, ο χαλκός, και το κοβάλτιο είναι οι πρωταρχικοί οικονομικοί στόχοι για τους κονδύλους μαγγάνιου. Το κοβάλτιο, το νικέλιο, το μαγγάνιο, και ο λευκόχρυσος είναι οι πρωταρχικοί οικονομικοί στόχοι για τις επιφλοιώσεις μαγγάνιου. Οι τιμές νικελίου και κοβαλτίου είναι αυτήν την περίοδο υψηλές (σε σχέση με το παρελθόν), ενώ οι τιμές του χαλκού είναι μέτριες. Αυτές οι τιμές ήταν συμπιεσμένων στις αρχές της δεκαετίας του '90. Με τις τιμές σε αυτήν την σειρά, τα νέα συστήματα μεταλλείας διαχωρισμού των μεταλλικών ενώσεων για τις επιφλοιώσεις μαγγάνιου κοστίζουν έξω από Ευρώπη και ΗΠΑ πολύ λιγότερο κάνοντας έτσι πάνω από 30% το εσωτερικό ποσοστό επιστροφής του επενδυομένου κεφαλαίου.

Εν τούτοις, η αμερικανική βιομηχανία είναι γενικά απρόθυμη να ακολουθήσει αυτήν την νέα ευκαιρία. Γιατί είναι αυτό; Είναι κατά ένα μεγάλο μέρος μια αντίληψη για τον κίνδυνο.Για τις περισσότερες επιχειρήσεις στα μεταλλεύματα η επιχείρηση, που λειτουργεί στον ωκεανό είναι μια άγνωστη περιοχή και σαφώς μια περιοχή όπου μερικές τεχνικές αποτυχίες είναι και πιθανό να εμφανιστούν και δύσκολο να διαχειριστούν.

Οι υψηλές τιμές κοβαλτίου ενθαρρύνουν επίσης άλλες στο περιβάλλον μεταλλείας κοβαλτίου. Εάν πάρα πολλά μεγάλα χερσαία προγράμματα έρθουν σε εκμετάλλευση, η τιμή του κοβαλτίου θα μειωθεί. Είναι πιθανό ότι μια θαλάσσια επιχείρηση μεταλλείας θα είχε ένα υψηλότερο κόστος παραγωγής από μια νέα μεγάλη επίγεια επιχείρηση.

Νέα σημαντικά κοιτάσματα κοβαλτίου αναπτύσσονται εντατικά στην Αυστραλία. Αυτό μετατοπίζει την ισορροπία της βιομηχανίας μεταλλείας κοβαλτίου από τη Ζάμπια και το Ζαϊρ στην Αυστραλία και τον Καναδά. Αυτό θα φέρει πιθανώς κάποια σταθερότητα τιμών στην αγορά, με τις αξίες του κοβαλτίου ενδεχομένως χαμηλότερα σε σχέση με την σημερινή. Συγχρόνως, οι νέες χρήσεις υψηλής τεχνολογίας αναγκάζουν την παγκόσμια αγορά για το κοβάλτιο για να αυξηθούν σε 5-8 τοις εκατό ετησίως. Η ανάπτυξη των ηλεκτρικών ή υβριδικών αέριο-ηλεκτρικών αυτοκινήτων θα αύξανε πολύ την απαίτηση για κοβάλτιο δεδομένου ότι το κοβάλτιο είναι ένα σημαντικό συστατικό των μπαταριών υψηλής ικανότητας.

Θαλάσσια βιοτεχνολογία

΄Ενα νέο ενδιαφέρον στη σκηνή είναι η θαλάσσια βιοτεχνολογία. Η αναζήτηση των οργανισμών μεγάλων θαλασσίων βαθών, ιδιαίτερα βακτηρίδια υδροθερμικών διεξόδων, είναι η νέα Μέκκα για το θαλάσσιο ανθρακωρύχο. Αυτοί χρησιμοποιούνται από τις επιχειρήσεις φαρμάκων και τους μηχανικούς βιομηχανικής διαδικασίας για να παρέχουν το γενετικό υλικό που μπορεί να αλλάξουν για τη βιομηχανική χρήση. Μερικοί από αυτούς τους οργανισμούς μπορούν να επιζήσουν στο θαλάσσιο πυθμένα στις θερμοκρασίες μέχρι 350 βαθμούς εκατοντάβαθμης και απέραντης πίεσης. Οι καταλύτες διαβίωσης ικανοί να σταθούν αυτά τα είδη των πιέσεων και των θερμοκρασιών θα ενθάρρυναν ένα ευρύ φάσμα των βιομηχανικών διαδικασιών, συμπεριλαμβανομένων μερικών όχι προς το παρόν οικονομικά ή τεχνικά εφικτών. Τα φάρμακα που μπορούν να εξαχθούν από τους οργανισμούς μεγάλων θαλασσίων βαθών είναι επίσης εξαιρετικά πολύτιμα λόγω της ακραίας δύναμης πολλών θαλασσίων τοξινών, χρήσιμης στην πάλη κατά του καρκίνου. Τα υποβρύχια σκάφη και ROVs χρησιμοποιούνται για να συλλέξουν αυτά τα υλικά από τον πυθμένα θάλασσας. Υποβάλλονται σε επεξεργασία έπειτα μέσω των εργαστηρίων και στέλνονται στον εμπορικό τομέα. Το ίδρυμα ΑΜΕΡΙΚΑΝΙΚΗΣ εθνικό επιστήμης άρχισε μόλις το θαλάσσιο κέντρο εφαρμοσμένης μηχανικής Bioproducts στο πανεπιστήμιο Καλιφόρνιας, του Μπέρκλεϋ, και του πανεπιστημίου της Χαβάης.

Αυξανόμενη απαίτηση για τα ωκεάνια μεταλλεύματα

Εάν οι σύγχρονες τάσεις κρατούν, η παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη είναι πιθανό να συνεχιστεί. Η απαίτηση για το σύνολο κατασκευής θα προκαλέσει την επέκταση στην ανοικτής θαλάσσης βιομηχανία άμμου και αμμοχάλικου. Η επιτυχία της ανοικτής θαλάσσης βιομηχανίας διαμαντιών θα οδηγήσει πιθανώς στην επέκταση στις νέες περιοχές ήδη υπό εξέταση, όπως από τη βορειοδυτική ακτή της Αυστραλίας και του βόρειου Καναδά. Η νέα τεχνολογία μπορεί να κάνει τις επιχειρήσεις που θεωρούν τώρα τα πολυμεταλλικά σουλφίδια να αισθανθεί τον κίνδυνο είναι πιό στενή σε εύγευστο. Τα αυξανόμενα χρηματικά ποσά έρευνας και ανάπτυξης θα ρεύσουν προς την εμπορευματοποίηση της ένυδρης ουσίας μεθανίου και των θαλασσίων ανακαλύψεων βιοτεχνολογίας. Οι ομάδες κυβερνητικής μεταλλείας στην Ασία αναβαθμίζουν ήδη τα προγράμματά τους κονδύλων και κρουστών μαγγάνιου για να εξετάσουν την αυξανόμενη ορυκτή απαίτηση.

Είναι πιθανό ότι αυτές οι προσπάθειες θα συνεχιστούν και ίσως να επεκταθούν ακόμα και, αλλά απίθανος ότι οποιαδήποτε εμπορική εξέλιξη θα εμφανιστεί στους κονδύλους ή τις κρούστες μαγγάνιου για πιό ελάχιστα 10 και πιθανώς 20 έτη.

Εν περιλήψει, η θαλάσσια βιομηχανία μεταλλευμάτων είναι ζωντανή και καλά. Οι σημαντικοί πόροι ενός ευρέος φάσματος των μεταλλευμάτων υπάρχουν και γίνονται ελκυστικότεροι. Οι νέες φτηνότερες και αποδοτικότερες θαλάσσιες τεχνολογίες κινούνται σε κάθε πτυχή της ορυκτών εξερεύνησης και της επεξεργασίας. Μέσα σε μια δεκαετία ή δύο, αυτοί μπορούν να προσδοκηθούν για να οδηγήσουν σε μια σημαντική επέκταση αυτής της βιομηχανίας και μια κίνηση στα μεγάλα θαλάσσια βάθη.

Η ερευνα γιά τίς ΟΠΥ επαιξε καί παίζει σημαντικο ρολο στήν οικονομία πολλών χωρών,στήν βιομηχανική ανάπτυξη,ιδίως τής μεταλλευτικής βιομηχανίας. Καί αυτο αφορά τοσο τίς βιομηχανικές χώρες,αλλά συχνότατα καί τίς αναπτυσσομενες. Η έρευνα γιά τίς ΟΠΥ περιλαμβάνει μιά σειρά από στάδια απο τήν αρχική διερεύνηση μέχρι την οικονομοτεχνική αξιολόγηση,πρίν ληφθεί η τελική απόφαση γιά την εκμετάλλευση.

Η έρευνα γιά τίς Υποθαλάσσιες Ορυκτές Πρώτες Υλες(Υ.Ο.Π.Υ) μπορεί νά θεωρηθεί σάν ένα τμήμα τής οικονομικής Γεωλογίας πού συγκρίνεται καί είναι προέκταση τής έρευνας γιά ΟΠΥ στήν ξηρά.Σέ σύγκριση βέβαια μέ τήν τελευταία περίπτωση η έρευνα γιά τίς ΥΟΠΥ τράβηξε πολύ μικρό ενδιαφέρον από τίς κυβερνήσεις,τά αρμόδια ερευνητικά ινστιτούτα αλλά καί τίς μεγάλες μεταλλευτικές επιχειρήσεις γιά μιά σειρά από λόγους.

Πρώτον γιατί οι Θαλασσιοι πορoι στήν μοντέρνα κοινωνία μας ήταν σχεδόν ώς τά τώρα συνδεδεμένοι μέ τήν αλιεία καί τήν αλιευτική βιομηχανία. Πολύ λιγα ερευνητικά κέντρα καί κέντρα λήψης αποφάσεων είχαν συνηδητοποιήσει το θεωρητικο αλλά καί πρακτικό ενδιαφέρον τών γεωλογικών θαλασσίων πορων πού είναι οι ΥΟΠΥ.

Δεύτερον γιά τίς ΟΠΥ στήν ξηρά ήταν πολύ πιό εύκολο νά αναπτυχθούν μέθοδοι σχετεκά μέ τήν έρευνα καί αξιοποίηση τους σέ σχέση μέ τίς οχι καί τοσο προσιτές ΥΟΠΥ.

Γιά τά περισσοτερα σχετικά ερευνητικά ινστιτούτα αλλά καί κάποιες μεταλλευτικές βιομηχανίες, οι όποιες έρευνες γιά ΥΟΠΥ είχαν μιά πολύ περισσοτερο ακαδημαϊκή-ερευνητική διάσταση παρά μιά οικονομική. Είναι πιθανά αλήθινο αυτο πού ακούγεται συχνά οτι δηλαδή γνωρίζουμε περισσοτερα γιά τήν επιφάνεια τής σελήνης η τόν κοντινο μας διαστημικο χώρο παρά γιά τούς βυθούς τών ωκεανών ή το εσωτερικό τής Γής. Έτσι γιά σημαντικο χρονικο διάστημα μετά τον 2ο παγκοσμιο πολεμο,δέν κατεβλήθησαν σημαντικές προσπάθειες απο τίς κυβερνήσες ,τά ερευνητικά ινστιτιούτα σχετικά μέ τήν έρευνα τών μή-ζώντων φυσικών πορων τών ωκεανών. Απο τήν άλλη πλευρά οι υπάρχουσες πολλές φορές πολιτικές διαστάσεις καί προβλήματα πού είχαν σχέση μέ τήν υφαλοκρηπίδα ή τμήματα τών ανοικτών ωκεανών συνέβαλαν αρνητικά στήν προώθηση τής έρευνας τών ΥΟΠΥ.

Η κατάσταση αυτή άλλαξε δραματικά πρίν μερικά χρόνια καί ιδίως μετά τήν πρώτη ενεργειακή κρίση το 1973. Τοτε βγήκε στό προσκήνιο η ανάγκη επανεξέτασης τού δυναμικού σέ υποθαλάσσcους υδρογονάνθρακες,στήν υφαλοκρηπίδα ενώ σάν αποτέλεσμα τής σέ παγκόσμιο επίπεδο ασταθούς πολιτικής κατάστασης οι κυβερνήσεις πολλών χωρών έστρειψαν το ενδιαφέρον τούς στήν υφαλοκρηπίδα ,ακομη καί στούς βυθούς τών ανοικτών ωκεανών αυτή τήν φορά γιά μή ζώντες θαλάσσιους πορους,δηλ. γιά τίς ΥΟΠΥ προεξαρχοντων τών υδρογονανθράκων καί τών προσχωματικών κοιτασμάτων. Σήμερα ιδίως η έρευνα γιά υποθαλάσσιους υδρογονάνθρακες έχει επεκταθεί στά εξώτερα τμήματα τής υφαλοκρηπίδας,ενώ η παραγομενη νέα τεχνολογία εξ' αιτιάς ολης αυτής νέας καταστάσεως επιδρά καί βοηθά σημαντικά τήν έρευνα καί μελλοντική αξιοποίηση τών ΥΟΠΥ.

Η ενεργειακή κρίση τού 1973 ήταν πιθανοτατα ο καταλύτης γιά νά ελθουν στήν επιφάνεια μεά σειρά απο θέματα πού έχουν σχέση αφ'ενος μέν μέ τίς ΥΟΠΥ(συμπεριλαμβανομένων καί τών υδρογονανθράκων)αφέτερου δέ μέ το μοίρασμα του Θαλάσσιου βυθού καί τής υφαλοκρηπίδας μεταξύ πολλών χωρων.

Η κατάσταση αυτή οδήγησε στήν ήδη καθυστερημένη γιά πολύ ΔΙΑΣΚΕΨΗ ΓΙΑ ΤΟ ΔΙΚΑΙΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ πού οργάνωσαν τά Η. Ε μέ τόν τίτλο UNCLOS III. (United Nations Conference on the Laws Of the Sea). Η διάσκειψη αυτή άρχισε το 1973 στήν Ν.Υορκη πέρασε ανάμεσα απο μεγάλες πολτικές κρίσεις καί συγκρούσεις καί τελικά κατάληξε στήν υιοθέτηση τού νέου δίκαιου γιά τήν Θάλασσα (LOS) (Law Of the Sea) το 1982. Οι διατάξεις τού δικαίου αυτού τέθηκαν σέ ισχύ μόλις τον Νοέμβριο τού 1994 αφού ξεπεράσθηκαν οι αντιρρήσεις καί τά vetoes κάποιων μεγάλων βιομηχανικών κρατών(ΗΠΑ,Βρεττανία,Γερμανία κλπ.).

Εκείνο πού πρέπει νά τονισθεί μέ τήν ευκαιρεία τής καθιέρωσης τού δικαίου αυτού είναι η σχετικά πολύ γρήγορη αναγνώριση τής σημασίας τών ΥΟΠΥ υποθετικών ή μή γιά τεράστιες εκτάσεις τού μή ερευνημένου σέ μεγάλο βαθμό,βυθού τών ωκεανών απο μία πολύ μεγάλη ομάδα νομικών,οικονομολογων,πολιτικών αλλά καί τεχνοκρατών στά πλαίσια τού UNCLOS Ill.Τό γεγονός αυτό δέν έχει ίσως ιστορικό προηγούμενο. Είναι επίσης άξιο σχολιασμού το γεγονός ότι, γιά μεγάλο ποσοστό σέ οτι αφορά τήν έκταση καί τό είδος τών ΥΟΠΥ πού συζητήθηκε καί βασίθηκαν πολλές διατάξεις τού νέου δίκαιου τής θάλασσας, οι έρευνες είναι περιορισμένες καί σέ πολλες περιπτώσεις σέ αρχικο στάδιο.

Μετά ιδίως το 1973 μεγάλα προγράμματα τής ωκεανογραφίας καί υποθαλάσσιας γεωλογίας εστράφησαν στήν μελέτη τού θαλάσσιου βυθού, τών υποθαλασσίων ιζημάτων,τού ωκεάνειου φλοιού ,τής υποθαλάσσιας μεταλλογένεσης,καί τελικά στίς ΥΟΠΥ.Τό μεγάλο ερευνητικό πρόγραμμα DSDP(Deep Sea Drilling Project) τό οποίο αρχικά ξεκίνησε μέ πρωτοβουλία τών ΗΠΑ τό 1968 πήρε ένα διεθνή χαρακτήρα στά μέσα τής δεκαετίας τού 70 μέ τήν συμμετοχή καί άλλων μεγάλων χωρών οπως τής τότε Σ.Ενωσης,τής Ιαπωνίας τής Γερμανίας,τής Βρεττανίας καί τής Γαλλίας πήρε τήν οριστική του μορφή λαμβάνοντας τό όνομα IPOD(International Phase of Ocean Drilling).Τό πρόγραμμα αυτό υλοποιήθηκε μέ τό μεγάλο καί τελευταίας τεχνολογίας τότε, ωκενονγραφικό σκάφος ¨GLOMAR CHALLENGER.¨ **(ΦΩΤ.Α1).**

ΦΩΤ.Α1. Το διάσημο ωκενογραφικό σκάφος "GLOMAR CHALLENGER"

Τον Αυγουστο τού 1968 το G.C άρχισε τήν πρώτη απο τίς επικές του 96 επιστημονικές κρουαζιέρες αφιερωμένες στίς υποθαλάσσσες γεωεπιστήμες καί τίς υποθαλάσσιες ΟΠΥ.Μεταξύ τού

1968 έως το 1983 το πλοίο αυτό ταξίδεψε πάνω απο 600000 χιλιομετρα καλύπτοντας καί τρυπόντας όλους τούς ωκεανούς τού πλανήτη καί συλλέγοντας πάνω απο 97 χιλιομετρα πυρήνων γεωτρήσεων. Τά επιστημονικά αποτελέσματα αυτών τών επιστημονικών κρουαζιέρων ξεπέρασαν κατά πολύ τίς προσδοκίες τών επιστημονων καί μπορούν νά χαρακτηρισθούν επαναστατικά.Τό πιό επαναστατικό ίσως αποτέλεσμα ήταν η επιβεβαίωση τής θεωρίας τών τεκτονικών πλακών μέ τήν επέκταση τού θαλάσσιου φλοιού η οποία επιτυγχάνεται μέσω τής απομάκρυνσης μεταξύ των δύο τεκτονικών πλακών καί τήν άνοδο μάγματος από τήν λιθόσφαιρα κατά μήκος τών ενεργών μεσω-ωκεάνειων ράχεων.Στήν διάρκεια αυτής τής περιόδου καί εξ αιτίας αυτού τού μεγάλου προγράμματος έγιναν μεγάλα άλματα στήν τελιοποίηση καί ανάπτυξη νών τεχνολογιών σέ οτι αφορά κλάδους τής υποθαλάσσιας γεωλογίας,γεωφυσικής,τής τεχνολογίας γεωτρήσεων σέ βαθειές θάλασσες. Η τεράστια επιτυχία τού προγράμματος αυτού οδήγησαν αρχικά τίς ΗΠΑ καί αργοτερα μιά σειρά απδ αναπτυγμένες βιομηχανικές χώρες(συμπεριλαμβανομένης καί τής Ελλάδος) νά δημιουργήσουν ένα νέο πιο φιλόδοξο καί τεχνολογικά επαναστατικό πρόγραμμα το OCEAN DRILLING PROGRAM(O.D.P).Το Glomar ChaIlenger ήταν πιά ένα κουρασμένο και τεχνολογικά ξεπερασμένο σκάφος.0ι ΗΠΑ πήραν τήν πρωτοβουλία νά δημοιυργήσουν ένα πολύ πιο τεχνολογικά εξελιγμένο καί μέ περισσοτερς δυνατότητες ωκεανογραφικό σκάφος το SEDCOI/BP 471 γνωστο στήν επιστημονική κοινότητα σάν JOIDES RESOLUTION (ΦΩΤ.Α**2**) αποτελούμενο μεταξύ τών άλλων απο 7 πατώματα επιστημονικών εργαστηρίων καί ενος τεραστίου καί μέ πολύ μεγάλες δυνατοτητες γεωτρυπάνου πυρηνοληψίας.Οί δυνατότητες τού γεωτρυπάνου αυτού είναι νά κάνει πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις σέ βάθος θάλασσας μέχρι 8200 μέτρα!.

ΦΩΤ.Α2. Το νεότερο ωκεανογραφικό σκάφος "JOIDES RESOLUTION" το οποίο αντικατέστησε "GLOMAR CHALLENGER"

Πολλές απο τίς δραστηριότητες τού ODP γίνονται σήμερα έξω απο τίς ΗΠΑ .Η διεθνοποίηση αυτή τού προγράμματος οδήγησε ήδη σέ έναν πολύ μεγαλύτερο δυναμισμό καί έχουν ήδη σχεδιασθεί πολλά φιλοδοξα επιστημονικά προγράμματα βαθέων γεωτρήσεων σέ πολλούς ωκεανούς καί μέ εξειδεκευμένους στοχους.

Παράλληλα μετά ιδίως τά μέσα τής δεκαετίας τού 70 πολλές μεταλλευτικές μεγάλες βιομηχανέες σέ συνεργασία μέ ερευνητικά ινστιτούτα άρχισαν συστηματικές μελέτες γιά τίς

διάφορες κατηγορίες τών ΥΟΠΥ ενώ γιά τό μέλλον προβλέπεται οτι η έρευνα αυτή θά διευρυνθεί σημαντικά. Καί θά διευρυνθεί οχι τόσο πολύ στους ανοικτούς ωκεανούς,οπου οί προσπάθειες τών Ηνωμένων Εθνών έχουν ξεκαθαρίσει πολλά σημαντικά θέματα σέ ότι αφορά τήν έρευνα,αλλά περισσότερο στίς ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΕΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ (Exclusive Economic Zones) (Ε.Ε.Ζ) πολλών νησιωτικών χωρών αλλά καί χωρών μέ μεγάλο μήκος ακτών.

Το νέο δίκαιο τής θάλασσας Θά μπορούσε νά θεωρηθεί σάν η μεγαλύτερη ″αποικιοποίηση″ περιοχών τού Πλανήτη αφού στά πλαίσια υλοποίησης τού δικαίου αυτού μέ ευθύνη τών Η. Ε η έκταση τής εθνικής κυριαρχίας πολλών χωρών αυξάνει σημαντικά.(Βλπ.Πίνακα **Α1**).Αυτο παρατηρείται ιδίως στά μικρά αρχιπελαγικά κράτη καθώς καί σέ ορισμένα παράκτια κράτη μέ μεγάλο μήκος ακτών οπως συμβαίνει μέ τήν χώρα μας. Είναι φανερό ότι γιά τά κράτη αυτά προκύπτει η μεγάλη ευθύνη νά ερευνήσουν τήν υφαλοκρηπίδα τους καί τήν Ε. Ε.Ζ καί γιά το πιθανο δυναμικό σέ ΥΟΠΥ αλλά καί γιά καθαρά περιβαλλοντικούς λόγους.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1. Η ΔΙΑΜΟΡΦΟΥΜΕΝΗ ΕΙΚΟΝΑ ΤΩΝ ΔΙΕΚΔΙΚΗΣΕΩΝ ΕΘΝΙΚΗΣ ΚΥΡΙΑΡΧΙΑΣ ΣΤΗΝ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑ ΚΑΙ ΤΑ ΚΕΡΔΗ (%) ΣΕ ΔΙΚΑΙΩΜΑΤΑ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗΣ ΣΤΗ ΝΕΑ ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΖΩΝΗ (Ε.Ε.Ζ) ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΧΩΡΩΝ-ΜΕΛΩΝ ΤΟΥ ΟΗΕ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΨΗΦΙΣΗ ΤΟΥ ΝΕΟΥ ΔΙΚΑΙΟΥ ΓΙΑΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ(UNCLOS III). (ΑΠΟ KUNZENDORF 1986).

ΧΩΡΑ/ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km^2)	ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΩΝ (km)	ΕΚΤΑΣΗ Ε.Ε.Ζ ΣΤΑ 200-nm (km^2)	ΚΕΡΔΟΣ (%) ΣΕ ΕΚΤΑΣΗ ΣΤΗ ΝΕΑ Ε.Ε.Ζ
Albania	28749	418	3600	12.5
Algeria	2460500	1183		
Angola	1245790	1600	147000	11.8
Antigua	280	153		
Argentina	2771300	4989	339500	12.3
Australia	7692300	25760	1854000	24.1
Bahamas	11396	3542	221400	1942
Bahrain	596	161	1500	252
Bangladesh	142000	580	22400	15.8
Barbados	430	92	48800	1135
Belgium	30562	64	800	2.6
Belise	22973	386	9000	39.2
Benin	115773	121	7900	6.8
Bermuda	54	103		
Brazil	8521100	7491	924000	10.8
Brunei	5776	161	7100	122.9
Bulgaria	11852	354	9600	8.6
Burma	678600	3060	148600	21.9
Cameroon	47400	402	4500	9.5
Canada	9971500	90908	1370000	13.7
Cape Verde	4040	965		
Chile	740740	6425	667300	90.0
China	9600000	14500	28100	0.3
Columbia	1139600	2414	175000	15.4

Comoros	2170	340		
Congo	349650	169	7200	2.1
Cook Islands	240	120	556100	231708
Costa Rica	51000	1290	75500	148
Cuba	114478	3735	105800	92.4
Cyprus	9251	537	29000	313
Denmark	42994	3379	20000	46.5
Djibouti	23310	314		
Dominica	790	148		
Dominican Republic	48692	1288	78400	161
Ecuador	274540	2237	338000	123
Egypt	1000258	2450	5060	5.1
El Salvador	21400	307	26800	125
Equat. Guinea	27972	296	82600	295
Ethiopia	1178450	1994	21600	1.8
Falkland Islands	12168	1288		
Faroe Islands	1340	764		
Fiji	18272	1129	368900	2019
Finland	336700	1126	28600	8.5
French Guiana	90909	378		
French Polynesia	4000	2525		
France	551670	3427	99500	18.0
Gabon	264180	385	62300	23.6

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1(συνέχεια)

ΧΩΡΑ/ΠΕΡΙΟΧΗ	**ΕΚΤΑΣΗ (km^2)**	**ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΩΝ (km)**	**ΕΚΤΑΣΗ Ε.Ε.Ζ ΣΤΑ 200-nm (km^2)**	**ΚΕΡΔΟΣ (%) ΣΕ ΕΚΤΑΣΗ ΣΤΗ ΝΕΑ Ε.Ε.Ζ**
Gambia	10360	80	5700	55.0
GDR	108262	901	2800	2.6
Germany	248640	1488	11900	4.8
Ghana	238280	539	63600	26.7
Gibraltar	6	12		
Greece	***132608***	***13676***	***147300***	***111***
Greenland	2175600	44087		
Grenada	344	122		
Guadeloupe	1779	306		
Guatemala	108880	400	28900	26.5
Guinea	246	346	2070	8.4
Guinea-Bissau	36260	274	43900	121
Guyana	214970	459	38000	17.7
Haiti	27713	1771	46800	168.9
Honduras	112150	820	58600	52.3
Hong Kong	1036	733		
Iceland	102952	4988	252800	245,6

India	3136500	7003	587600	18.7
Indonesia	1906240	54716	1577000	82.7
Iran	1647240	3180	45400	2.8
Iraq	445480	58	200	0.04
Ireland	68894	1448	110900	161
Israel	20720	273	6800	32.8
Italy	301217	4996	161000	53.4
Ivory Coast	323750	515	30500	9.4
Jamaica	11422	1022	86800	759.9
Japan	370370	12075	1126000	304
Jordan	96089	26		
Kampuchea	181300	443	16200	8.9
Kenya	582750	536	34400	5.9
Kiribati	684	1143		
Korea, D.P.R.	121730	2495	37800	31.1
Korea, Rep.	98400	2413	101600	103
Kuwait	16058	499	4100	25.5
Lebanon	10360	225	6600	63.7
Liberia	111370	579	67000	60.2
Libya	1758610	1770	98600	5.6
Macao	16	40		
Madagascar	595700	4818	376800	63.3
Malaysia	332556	4675	138700	41.7
Maldives	298	644	279700	93859
Malta	313	140	19300	6166
Martinique	1100	290		
Mauritania	1085210	754	45000	4.1
Mauritius	1856	177	345000	18588
Mexico	1978800	9330	831500	42.0
Monaco	2	4		
Mozambique	786762	2470	163900	20.8
Namibia	823620	1489	145900	17.7
Nauru	21	24	92500	440476
Netherlands	33929	451	24700	72.8
Neth. Antilles	1020	364		
New Caledonia	22015	2254	382400	1737
New Zealand	268276	15134	1058000	394.4
Nicaragua	147900	910	46600	31.5

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1(συνέχεια)

ΧΩΡΑ/ΠΕΡΙΟΧΗ	ΕΚΤΑΣΗ (km^2)	ΜΗΚΟΣ ΑΚΤΩΝ (km)	ΕΚΤΑΣΗ Ε.Ε.Ζ ΣΤΑ 200-nm (km^2)	ΚΕΡΔΟΣ (%) ΣΕ ΕΚΤΑΣΗ ΣΤΗ ΝΕΑ Ε.Ε.Ζ
Nigeria	924630	853	61500	6.7
Norway	323750	5832	590500	182.4
Oman	212380	2092	163800	77.1
Pakistan	803000	1046	92900	11.6
Panama	75650	2490	89400	118.2
Papua Mew Guinea	475369	5152	684200	143.9
Peru	1284640	2414	229400	17.9
Phillipines	300440	22540	551400	183.5
Poland	312354	491	8300	2.7
Portugal	94276	1793	517400	548.8
Qatar	10360	563	7000	67.6
Reunion	2512	201		
Romania	273503	225	9300	3.4
St. Lucia	616	158		
St. Vincent	389	81		
Sao Tome and Prin.	964	200		
Saudi Arabia	2331000	2510	51900	2.2
Senegal	196840	531	60000	30.5
Seychelles	404	491		
Sierra Leone	72261	402	45400	62.8
Singapore	583	193	100	17.2
Solomon Islands	29785	5313	458400	1539
Somalia	637140	3025	288300	45.2
South Africa	1222480	2881	296500	24.3
Spain	505050	4964	355600	70.4
Sri Lanka	65500	1340	150900	230.4
Sudan	2504530	853	26700	1.1
Suriname	142709	386		
Sweden	448070	3213	45300	10.1
Syria	186480	196		
Taiwan	32260	990	114400	354.6
Tanzania	939652	1424	65100	6.9
Thailand	512820	3219	94700	18.5
Togo	56980	56	300	0.5
Tonga	997	419	158400	15888
Trinidad/Tobago	5128	362	22400	436.8
Tunisia	164206	1408	25000	15.2
Turkey	***766640***	***2574***	***69000***	***9.0***
Tuvalu	26	24	211500	813462

USSR	22274000	46670	1309000	5.9
United Arab Emir.	83880	1448	17300	20.9
United Kingdom	243978	12429	274800	112.6
USA	9363396	19924	2220000	23.7
Uruguay	186998	660	34800	18.6
Vanatu	14763	2528	179900	1219
Venezuela	911680	2800	106600	11.7
Vietnam	329707	3444	210600	63.9
Wallis/Futuna	207	129	71900	34734
Western Sahara	266770	1110		
Western Samoa	2849	403	38100	1337
Yemen, Arab Rep.	194250	1528	9900	5.1
Yemen, Democ. Rep.	287490	1383	160500	55.8
Yugoslavia	255892	3935	15300	6.0
Zaire	2343950	37	300	0.01

Μετά καί τήν θέσπιση τού νέου δικαίου τής θάλασσας οι έρευνες μέ απ'ευθείας πλέον στόχο τίς υποθαλάσσιες

Ο.Π.Υ εντατικοποιήθηκαν καί από κυβερνήσεις καί ερευνητικά ιδρύματα αλλά καί από μεγάλες πολυεθνικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις.Οι χώρες μέ μεγάλο μήκος ακτών αλλά και οι νησιωτικές χώρες μέ τήν ουσιαστική έναρξη ισχύος τού νέου δικαίου γιά τήν θάλασσα από τόν Νοέμβριο τού 1994 νομιμοποίησαν τίς απαιτήσεις των σχετικά μέ τήν άσκηση τών κυριαρχικών δικαιωμάτων τους στήν αποκλειστική οικονομική τους ζώνη. Πρόσφατες και καλά τεκμηριωμένες έρευνες και ανακαλύψεις έχουν επιταχύνει τις προσπάθειες πολλών χωρών για τήν άσκηση τών δικαιωμάτων τους αυτών ιδιαίτερα σέ ότι αφορά την έρευνα καί αξιοποίηση υποθαλασσίων ΟΠΥ οι οποίες εμπίπτουν στήν αποκλειστική οικονομική τους ζώνη συμπεριλαμβανομένης φυσικά καί τής υφαλοκρηπίδας.

Από την άλλη μεριά πρέπει όμως να τονισθεί ότι δεν έχουμε φθάσει ακόμα στο βάθος της επιστημονικής γνώσης που συνδέεται με την γέννεση των υποθαλλάσιων ΟΠΥ, το πού ακριβώς βρίσκονται, τί έκταση έχουν, ποιά είναι τα ορυκτά που τις αποτελούν.Ακόμη χρειάζεται πολύ έρευνα και μελέτη σχετικά με την ανάπτυξη του "know how" για την εξόρυξη τους και τον τρόπο εμπλουτισμού και επεξεργασίας σε βιομηχανικό επίπεδο.Είναι φανερό ότι οι παράμετροι που θα προσδιορίσουν αν θα επενδυθούν κεφάλαια για την εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων ΟΠΥ πρέπει να στηρίζονται σε πολύ προσεκτική οικονομοτεχνική εκτίμηση. Η απόφαση για το αν κάποια υποθαλάσσια ΟΠΥ είναι εφικτό να υποστεί εκμετάλλευση σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή,προσδιορίζεται απο τους παρακάτω παράγοντες :

i. Οικονομοτεχνική εκτίμηση του κοιτάσματος.
ii. Η ύπαρξη κατάλληλης μεθόδου τεχνολογίας εξόρυξης και το κόστος που αυτή συνεπάγεται.
iii. Σωστή και πλήρη πληροφόρηση σχετικά με τις συνθήκες και προοπτικές που υπάρχουν στην αγορά, σχετικά με την ή τις ΟΠΥ που πρόκειται να υποστούν εκμετάλλευση.

Το τελευταίο είναι ιδιαίτερα ση μαντικό λαμβανομένου υπόψη ότι το κόστος και οι τιμές των ΟΠΥ συνεχώς είναι μεταβαλλόμενες.Πρέπει να τονίσουμε ότι πλήρεις οικονομοτεχνικές εκτιμήσεις κοιτασμάτων υποθαλάσσιων ΟΠΥ είναι

πολύ λίγες.Μπορούμε να αναφέρουμε σαν παράδειγμα τους κονδύλους Mn από την περιοχή του Ειρηνικού Ωκεανούπου βρίσκονται στον Ισημερινό καθώς και τα μεταλλοφόρα ιζήματα και θειούχα

της Ερυθράς Θάλασσας. Αν και η οικονομοτεχνική εκτίμηση επιφανειακών υποθαλάσσιων ΟΠΥ,όπως π.χ. επιφλο ιώσεις και κόνδυλοι, φαίνεται να είναι σχετικά εύκολη – δεδομένου ότι οι εμφανίσεις, τα κοιτάσματα αυτά είναι πρακτικά δυσδιάστατα – εν τούτοις μία
λεπτομερής οικονομοτεχνική εκτίμηση δεν έχει γίνει ως τα τώρα. Από την άλλη μεριά υποθαλάσσιες ΟΠΥ που συχνά είναι ″θαμμένες″ κάτω από επιφανειακά ιζήματα, όπως π.χ. κάποια προσχωματικά κοιτάσματα, φωσφορίτες, συμπαγή θειούχα, έχουν με γάλες πρακτικές δυσκολίες να εκτιμηθούν – κύρια ποσοτικά – από οικονομικής απόψεως.
Και τούτο γιατί είναι πολύ πιό δύσκολο να διαχωρισθούν από τα ιζήματα ή πετρώματα που τα περιβάλλουν και τα ″φιλοξενούν″, ενώ παράλληλα η πλήρης κάθετη (τρισδιάστατη) κατανομή τους δεν είναι συχνά εύκολο να προσδιορισθεί.Ετσι, ως τα σήμερα τουλάχιστον, αυτή η αβεβαιότητα και τα προβλήματα που συνδέονται με τον ακριβή υπολογισμό των αποθεμάτων των περισσότερων υποθαλάσσιων ΟΠΥ, δημιουργεί στους ειδικούς επιστήμονες πολλές δυσκολίες σε ότι αφορά την οικονομική εκτίμηση των κοιτασμάτων αυτών.Οι συμβατικές σεισμικοί μεθοδοι εξερεύνησης, οι τρόποι απευθείας δειγματοληψίας οι μέθοδοι γεώτρησης και εξαγωγής και δειγματοληψίας πυρήνα που συνήθως χρησιμοποιούνται για να πρ &σδιορίσουν την έκταση, τη σύσταση, τις ποιοτικές και ποσοτικές παραμέτρους υποθαλλάσιων ΟΠΥ, όπως π.χ. τα προσχωματικά και οι φωσφορίτες, είναι μέθοδοι υψηλού κόστους και χρονοβόροΕίναι επομένως φανερή η ανάγκη για επινόηση και ανάπτυξη νέων μεθόδων και τεχνολογιών για την γρήγορη, φθηνότερη και ακριβέστερη εκτίμηση των αποθεμάτων υποθαλάσσιων ΟΠΥ. Πρέπει νά τονίσθεί ότι ιδίως γιά τά προσχωματικά κοιτάσματα και τους φωσφορίτες, οι εκτιμήσεις των αποθεμάτων τους προϋποθέτουν μια πολύ καλύτερη κατανόηση του τρόπου, του μηχανισμού γεννέσεώς των, σε σχέση με αυτή που υπάρχει σήμερα.
Παράλληλα είναι αυτά τα υποθαλάσσια κοιτάσματα τα οποία ήδη σέ πολλές, χώρες,υφίστανται, εκτεταμένη εκμετάλλευση (ΜΑΛΑΙΣΙΑ, ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ, ΤΑΥΛΑΝΔΗ, ΗΠΑ, ΦΙΛΙΠΠΙΝΕΣ, ΑΥΣΤΡΑΛΙΑ) ενώ προβλέπεται να τύχουν αξιοποίησης κατά προτεραιότητα καί στο εγγύς μέλλον.Και τούτο γιατί βρίσκονται σε αβαθή νερά (στο αβαθές τμήμα της υφαλοκρηπίδας). Δεν βρίσκονται επομένως μακριά από την ξηρά ενώ παράλληλα υπάρχει η τεχνολογία για την εξόρυξή τους.

Υπάρχει σήμερα ένα ανανεωμένο ενδιαφέρον για τους κονδύλους και επιφλοιώσεις Mn, όχο τόσο για το Mn, αλλά για τα περιεχόμενα σε υψηλά ποσοστά απ'αυτούς ιχνοστοιχεία και κύρια το Co.Το ενδιαφέρον εντοπίζεται κύρια στον Ειρηνικό ωκεανό όπου υπάρχει εντατική ερευνητική δραστηριότητα.Προϋπόθεση για την οικονομική τους αξία, για το αν αξίζουν τον κόπο να αξιοποιηθούν, αποτελεί η πλήρης γνώση της έκτασής τους, η περιεχόμενη αξία των μετάλλων που ενδιαφέρουν καθώς και η τεχνολογία που είναι απαραίτητη για την εξόρυξή τους.Προϋπόθεση που προς το παρόν δεν πληρείται.Υπάρχουν φυσικά τώρα οι τεχνολογίες δειγματοληψίας για μεγάλα δείγματα κάποιων τόννων και μέτρησης του πάχους των επιφλοιώσεων και κονδύλων.Τεχνολογίες που ίσως οδηγήσουν στην επιννόηση και κατασκευή των κατάλληλων μεθόδων,τεχνολογιών και μηχανικών μέσων για την αξιοποίησή τους με οικονομικό αποτέλεσμα.
Εμφανίσεις μεταλλοφόρων σουλφιδίων είναι διαρκώς αυξανόμενες καθώς η υποθαλάσσια έρευνα προχωρεί σε έκταση και βάθος.Το επίπεδο έρευνάς τους μόλις τα τελευταία 5-6 χρόνια πέρασε από το στάδιο κάποιων ανακαλύψεων και διαπιστώσεων στο στάδιο της πιό συστηματικής έρευνας και χαρτογράφησης κύρια κατά μήκος των ενεργών μεσω-ωκεάνειων ράχεων και στις back-arc υποθαλάσσιες λεκάνες, ενώ μόλις τώρα άρχισε παρόμοια έρευνα και σε γεωτεκτονικά περιβάλλοντα που συνδέονται με ενεργά νησιωτικά τόξα.Πολύ δουλειά χρειάζεται ακόμη για να προσδιορισθεί η όποια οικονομική αξία τέτοιων εμφανίσεων δεδομένου ότι η πληροφόρηση σχετικα με την σύστασή τους, την έκταση τους και τον όγκο τους ειναι για τις περισσότερες περιοχές ελλειπής.Ετσι λίγα πράγματα μπορούν να λεχθούν σχετικά με τα ποσοστά και την αξία των περιεχομένων μετάλλων στις πολυμεταλλικές θειούχες υποθαλάσσιες ΟΠΥ δεδομένου ότι οι πλευρικές και κάθετες διαφοροποιήσεις τους κύρια στην ορυκτολογική τους σύνθεση είναι σε μεγάλο ποσοστό άγνωστες.

Πρέπει πάντως να τονίσουμε ότι αν και η ως τα τώρα οικονομική εκτίμηση για τις

υποθαλάσσιες πολυμεταλλικές θειούχες ΟΠΥ αποκλείει όποια αξιοποίησή τους, βραχυπρόθεσμα και μεσοπρόθεσμα, η λεπτομερής έρευνα τους έχει ένα σημαντικότατο όφελος που έχει πέραν της επιστημονικής και οικονομική διάσταση. Μας βοηθά να μελετήσουμε, να κατανοήσουμε καλύτερα και επομένως να σχεδιάσουμε καλύτερα την στρατηγική έρευνας για παρόμοιες ΟΠΥ που βρίσκονται σήμερα στην ξηρά που είχαν όμως δημιουργηθεί στο απώτερο γεωλογικό παρελθόν σε υποθαλασσια γεωτεκτονικά περιβάλλοντα παρόμοια με εκείνα στα οποία δημιουργούνται σήμερα τα μοντέρνα πολυμεταλλικά θειούχα κοιτάσματα.

Συμπερασματικά θε λέγαμε ότι με εξαίρεση τους κονδυλους και επιφλοιώσεις Mn και κυρίως μέ αρκετές περιπτώσεις προσχωματικών κοιτασμάτων οι έρευνες για την ανακάλυψη, χαρτογράφηση,εκτίμηση της αξίας των υποθαλλάσιων ΟΠΥ βρίσκονται στο αρχικό στάδιο της αναγνώρισης. Εμφαση έτσι δίδεται - και έτσι πρέπει να γίνει - στην κατανόηση της προέλευσης των κοιτασμάτων αυτών, στην κατανόηση της σχέσης και δομής που έχουν στο όλο γεωλογικό περιβάλλον, το γεωτεκτονικό περιβάλλον δημιουργίας των.Ακόμη στον ακριβή προσδιορισμό της θέσης των στους ωκεάνιους πυθμένες.Εμφαση επίσης δίδεται στη αύξηση της γνώσης σχετικά με τους φυσικούς, χημικούς, υδρολογικούς και βιολογικούς μηχανισμούς που προσδιορίζουν και ελέγχουν την δημιουργία των υποθαλάσσιων ΟΠΥ, την εναπόθεση τους αλλά και τις πιθανές εξαλλοιώσεις τους.

Πρέπει να τονισθεί ότι αν και η τεχνολογία για τέτοιες έρευνες και μελετες έχει αυξηθεί και βελτιωθεί σημαντικά δεν είναι ακόμη σε εκείνο το επίπεδο που να μας επιτρέπει να ερευνήσουμε και προσδιορίσουμε όλα τα αναγκαία δεδομένα προκειμένου να εχουμε πλήρη εικόνα για την οικονομική διάσταση των περισσοτέρων υποθαλάσσιων ΟΠΥ. Οι τεχνικές έρευνας και μέτρησης πρέπει να βελτιωθούν, ενώ πρέπει να επινοηθούν μέθοδοι δειγματοληψίας και γεωτρήσεων κατάλληλοι για την βέλτιστη έρευνα-αξιολόγηση αυτών των ΟΠΥ. Επί πλέον είναι αναγκαία η συνεχής παρακολούθηση και μελέτη των υδροθερμικών,τεκτονικών και ηφαιστειακών φαινομένων που λειτουργούν κατά μήκος των ενεργών μεσω-ωκεάνειων ράχεων, των νησιωτικών τόξων των περιοχών που βρίσκονται πίσω από τα τόξα (back-arc basins), χρησιμοποιώντας όλο το φάσμα των γεωεπιστημών.

Η μελλοντική αξιοποίηση των υποθαλάσσιων ΟΠΥ ήταν σίγουρα βασικό κίνητρο πίσω από την έγερση αιτημάτων επικυριαρχίας στα πλαίσια του νέου δικαίου της θάλασσας τόσο από τα Ηνωμένα Εθνη (Η.Ε.) όσο και από πολλές μεμονωμένες χώρες. Πρέπει όμως και πάλι να τονίσουμε ότι βελτιώσεις και άλματα τεχνολογικά ειναι απαραίτητα προτού η μεταλλευτική βιομηχανία, σε διεθνές επίπεδο, διαπιστώσει ότι πληρούνται όλες οι αναγκαίες οικονομοτεχνικές παράμετροι για να προχωρήσει στην εξόρυξη κάποιων υποθαλάσσιων ΟΠΥ.Είναι επίσης λογικό να υποθέσουμε ότι τα χαρακτηριστικά των υποθαλλάσιων ΟΠΥ, η έκτασή τους, το πού ακριβώς βρίσκονται,θα επηρεάσουν αποφασιστικά το ποιά και τί είδους τεχνικά μέσα,μέθοδοι, προσεγγίσεις είναι απαραίτητες για την έρευνα και αξιολόγησή τους.

Η γέφυρα μεταξύ του κλάδου των υποθαλάσσιων ΟΠΥ και του κλάδου των κάθε είδους μηχανικών μέσων που απαιτούνται για τη μελλοντική αξιοποίησή τους,χτίζεται εν μέρει από τις όποιες εκτιμήσεις (οικονομοτεχνικές) αυτών των ΟΠΥ. Τέτοιες εκτιμήσεις φέρνουν στο φώς την απαιτούμενη ειδική πληροφόρηση για την αξία αυτών των ΟΠΥ.Αν και υπαρχει διεθνώς πολύ καλή μεθοδολογία για την αξιολόγηση-εκτίμηση της αξίας των ΟΠΥ,πρέπει να τονίσουμε ότι είναι αναγκαίες κάποιες τροποποιήσεις,βελτιώσεις και προσαρμογές αυτής της μεθοδολογίας σε ότι αφορά τις υποθαλάσσιες ΟΠΥ.

ιι) Η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

Το γεγονός ότι στή χώρα μας μιά κατ' εξοχή θαλασσινή χώρα μέ χιλιάδσε μήκος ακτών, τό αντικείμενο πού σχετίζεται μέ τήν υποθαλάσσια γεωλογική έρευνα καί ιδιαίτερα αυτό πού αγορά

τίς υποθαλάσσιες ορυκτές πρώτες ύλες δέν διδάσκεται συστηματικά στά γεωλογικά τμήματα τών Ελληνικών Πανεπιστημίων ειναι λυπηρό και αποτελεί σημαντικό κενό. Η έρευνα στο χώρο της υποθαλάσσιας γεωλογίας και των υποθαλάσσιων ορυκτών πρώτων υλών μόλις τα τελευταία 6-7 χρόνια άρχισε να εντατικοποιείται κύρια μέσω του Ινστιτούτου Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνων (ΙΓΜΕ), της Δημόσιας Επιχείρησης Πετρελαίου (ΔΕΠ) και κατά δεύτερο λόγο του Εθνικού Κέντρου θαλασσίων Ερευνών(ΕΚΘΕ).Αυτή η σημαντική καθυστέρηση είχε σαν συνέπεια αφενός μεν να είναι αχαρτογράφητη σε μεγάλο βαθμό η ηπειρωτική και νησιωτική υφαλοκρηπίδα μας, αφετέρου δε να αγνοούμε αν και σε ποιά έκταση οι ελληνικές θάλασσας, κύρια το Αιγαίο και Ιόνιο Πέλαγος,έχουν υποθαλάσσιες ορυκτές πρώτες ύλες οι οποίες δυνατόν να προκαλέσουν πέραν του επιστημονικού ενδιαφέροντος,γιατί όχι στο μέλλον, και οικονομικό ενδιαφέρον.
Οι πολιτικές,επιστημονικές και οικονομικές επιπτώσεις από την καθυστέρηση αυτή, καθυστέρηση που συνεπάγεται και σε μεγάλο βαθμό έλλειψη τεχνολογικού know-how και επομένως τεχνολογικής εξάρτησης,είνια πολλαπλές.Τα τελευταία 10 μόλις χρόνια θα λέγαμε ότι το ΙΓΜΕ και η ΔΕΠ άρχισαν να "πατούν στα πόδια τους" από πλευράς επιστημονικού και τεχνολογικού know-how στον τομέα της έρευνας υποθαλάσσιου ορυκτού πλούτου χωρίς αυτό να σημαίνει ότι έγιναν αυτάρκεις.Τα γεωλογικά τμήματα των ελληνικών πανεπιστημίων στον τομέα αυτό είναι δυστυχώς πολύ πίσω εξ'αιτίας συνδυασμού μιας σειράς παραγόντων και κύρια της έλλειψης,με ελάχιστες εξαιρέσεις,ουσιαστικής χρηματοδότησης προχωρημένων ερευνητικών σπουδών,της υποβάθμισης ως τα τώρα για μία σειρά από λόγους, του τμήματος των γεωεπιστημών που ασχολούνται με την υποθαλάσσια γεωλογία και τις υποθαλάσσιες ορυκτές πρώτες ύλες και επίσης από την παντελή σχεδόν έλλειψη συνεργασίας των γεωλογικών τμημάτων των Ελληνικών Πανεπιστημίων με το ΙΓΜΕ, τη ΔΕΠ και το ΕΚΘΕ, συνεργασίας που πολύ πρόσφατα σε μερικούς τομείς άρχισε σιγά-σιγά να δημιουργείται.

Είναι καιρός όλοι μας στα Πανεπιστήμια αλλά και η ελληνική πολιτεια να συνειδητοποιήσουμε ότι, κύρια για τη χώρα μας, η ουσιαστική έρευνα στο χώρο της υποθαλάσσιας γεωλογίας και κατ'επέκταση η έρευνα στο χώρο του υποθαλάσσιου ορυκτού πλούτου δεν είναι μόνο στόχοι που η επίτευξή τους προάγει την επιστήμη και δυνατό να δημιουργήσει μελλοντικά και οικονομικούς στόχους για υποθαλάσσιες ορυκτές πρώτες ύλες, αλλά προάγει και μία σειρά από πολιτικούς στόχους.
Στις σημειώσεις που ακολουθούν αφού γίνεται μία γενική εισαγωγή παρουσιάζονται κατόπιν συνοπτικά τα φαινόμενα και οι διαδικασίες που οδηγούν στον σχηματισμό υποθαλάσσιων ΟΠΥ.Κατόπιν εξετάζονται συνοπτικά ο συσχετισμός μεταξύ υποθαλάσσιων κοιτασμάτων, και της εξέλιξης των ωκεάνειων λεκανων στα πλαισια της θεωρίας των τεκτονικών πλακών.Στη συνέχεια εξετάζονται οι κυριώτερες υποθαλάσσιες ορυκτές πρώτες υλες με την εξής σειρά:

- Προσχωματικά κοιτάσματα και συσσωματώματα άλλων βαρέων ορυκτών
- Κοιτάσματα φωσφοριτών
- Κόνδυλοι και επιφλοιώσεις οξειδίων μαγγανίου-σιδήρου
- Τα υδροθερμικής προέλευσης μεταλλοφόρα ιζήματα που συνδέονται με ενεργές μεσο-ωκεάνειες ράχες και με περιοχές εκτός μεσο-ωκεάνειων ράχεων
- Οι πολυμεταλλικές θειούχες μεταλλοφορίες που βρίσκονται κάτω ή επί του θαλάσσιου πυθμένα και συνδέονται κύρια με

υδροθερμική δραστηριότητα που λαμβάνει χώρα κατά μήκος ενεργών μέσω-ωκεάνειων ράχεων ή νησιωτικών τόξων.

Η σειρά των μαθημάτων που δίνονται,σκοπό έχουν να εξετάσουν συνοπτικά τη φύση,την εμφάνιση, προέλευση και την εκμεταλλευσιμότητα των υποθαλάσσιων ΟΠΥ και όπου είναι αναγκαίο των ΟΠΥ που συνδέονται με λίμνες και ποτάμια. Οι ΟΠΥ που θα εξεταστούν μπορούν χονδρικά να ταξινομηθούν σε 5 ομάδες:

α.) ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ:

Βρίσκονται στον θαλάσσιο πυθμένα έχουν κλαστική προέλευση και απαντούν γενικά σε υποθαλάσσιες παράκτιες περιοχες σαν αποτέλεσμα της προέλευσής των από τις γειτονικές χερσαίες περιοχές.

β.) ΦΩΣΦΟΡΙΤΕΣ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΧΗΜΙΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ :Περιέχουν φωσφορικά ορυκτά σε ανάμιξη με άλλες φάσεις που απαντούν συνήθως στον υποθαλάσσιο πυθμένα σε σχετικού μικρού βάθους περιβάλλοντα.

γ.) ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΣΙΔΗΡΟΥ-ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ-ΚΟΝΔΥΛΟΙ Mn:Είναι χημικά ιζήματα οξειδίων Fe-Mn συνήθως σε μορφή κονδύλων η επιφλοιώσεων που συχνά περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων όπως Ni, Cu, Co. Συνήθως βρίσκονται στον πυθμένα της θάλασσας και σπανιότερα σε μερικές λίμνες.

δ.) ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ :Είναι επίσης χημικά ιζήματα ποικιλίας στοιχειών που σχηματίζονται σαν αποτέλεσμα της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας σε ενεργές ηφαιστειακές περιοχές.

ε.) ΠΟΛΥΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΘΕΙΟΥΧΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΤΟΝ ΚΑΙ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΤΟΝ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΥΘΜΕΝΑ.

Είναι θειούχες πολυμεταλλικές ενώσεις σε συμπαγή,φλεβοειδή ή διάσπαρτη (stockwork) μορφή. Δημιουργούνται εντός και κατά μήκος των ενεργών μεσο-ωκεάνιων ράχεων σαν αποτέλεσμα της αλληλοεπίδρασης του κατερχομένου θαλασσινού νερού με τα ανερχόμενα μαγματικά ρευστά και λάβες.

ΟΙ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΟΠΥ ΚΑΙ ΤΟ ΔΙΚΑΙΟ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ

α)Η Συνθήκη Ηνωμένων Εθνών του 1982 σχετικά με το νόμο της θάλασσας

Το 1970, η Γενική συνέλευση των Ηνωμένων Εθνών ενέκρινε ένα ψήφισμα δηλώνοντας ότι οι θαλάσσιοι πόροι του βυθού και του θαλάσσιου πυθμένα πέρα από τα όρια της εθνικής δικαιοδοσίας αποτελούν την **« την κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας,»** που κανένα κράτος ή πρόσωπο δεν θα μπορούσε δικαίως να ιδιοποιηθεί. Για να εφαρμόσει αυτήν την αρχή, και για να επιλύσει άλλα από μακρού υφιστάμενα ζητήματα σχετικά με τους ωκεανούς, η συνέλευση συγκάλεσε το 1973 την τρίτη διάσκεψη Ηνωμένων Εθνών σχετικά με το νόμο της θάλασσας. Αυτή η «μαμμούθ» προσπάθεια για να διαμορφωθεί ένα διεθνές δίκαιο που καλύπτει τα δύο τρίτα της γήινης επιφάνειας, ένας στόχος που είχε τεθεί σε προηγούμενες διασκέψεις από το 1958, πραγματοποιήθηκε το 1982 με την υιοθέτηση της Συνθήκης Ηνωμένων Εθνών σχετικά με το νόμο της θάλασσας. Ακόμα και τότε η εργασία ήταν ελλιπής, έως ότου μια σειρά από διάφορες και διαφωνίες που σχετιζόταν με κανονισμός που αναφερόταν στον θαλάσσιο βυθό επιλύθηκαν το 1994 με μια συμπληρωματική συμφωνία σχετικά με την εφαρμογή του μέρους XI της Συνθήκης. Η Συνθήκη και η συμφωνία για το νέο δίκαιο της θάλασσας τέθηκαν σε ισχύ στις 16 Νοεμβρίου 1994 και στις 28 Ιουλίου 1996 αντίστοιχα.

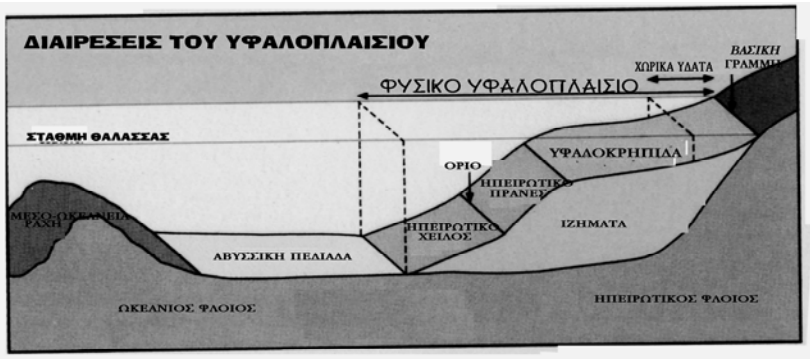
Το Μέρος XI της Συνθήκης, μαζί με τη συμφωνία του 1994, διαμορφώνει το πλαίσιο για ένα πρωτοπόρο διεθνές καθεστώς που θα διαχειρισθεί τους Υποθαλάσσιους ορυκτούς πόρους που βρίσκονται τον θαλάσσιο βυθό των διεθνών υδάτων, πέραν των ορίων της εθνικής δικαιοδοσίας των διαφόρων χωρών. Αυτή η περιοχή αποτελείται από το βυθό και τον θαλάσσιο πυθμένα και το υπέδαφος κάτω από αυτόν. Οι κατευθυντήριες αρχές είναι οι παρακάτω:

- **• Οι πόροι της διεθνούς περιοχής βυθού (πέραν των ορίων της εθνικής δικαιοδοσίας) θα είναι η κοινή κληρονομιά της ανθρωπότητας, μη υποκείμενη στο σφετερισμό από οποιοδήποτε κράτος.**
- **• Όλα τα δικαιώματα σε αυτούς τους πόρους θα περιέλθουν στην ανθρωπότητα συνολικά και τα οικονομικά οφέλη από την εκμετάλλευση των υποθαλασσίων των πρώτων υλών από αυτές τις περιοχές πρόκειται να μοιραστούν σε αμερόληπτη βάση για το όφελος όλης της ανθρωπότητας.**
- **• Η Διεθνής Αρχή Βυθού(Δ.Α.Β) καθιερώνεται ως οργάνωση μέσω της οποίας τα κρατικά συμβαλλόμενα μέρη θα οργανώσουν και θα ελέγξουν τις δραστηριότητες στην περιοχή, ιδιαίτερα με σκοπό τη διαχείρηση των πόρων της περιοχής των διεθνών υδάτων , ενώ θα προωθήσουν και θα ενθαρρύνουν την θαλάσσια επιστημονική έρευνα στην περιοχή των διεθνών υδάτων.**

β) Ορισμένα βασικά σημεία

Οπως ήδη αναφέρθηκε παραπάνω η Συνθήκη γιά τό νέο δίκαιο τής θάλασσας ολοκληρώθηκε τό 1982 καί έγινε υπό τήν αιγίδα τών Η.Ε. Η Συνθήκη αυτή μπήκε σέ εφαρμογή μόλις τό 1994 αφού υπεγράφει από 60 κράτη. Μέχρις στιγμής γιά διαφόρους λόγους τήν Συνθήκη δέν έχουν υπογράψει οι ΗΠΑ ό Καναδάς καί η Τουρκία.Παρόλα αυτά οι ΗΠΑ καί ο Καναδάς υποστηρίζουν τήν αρχή τής ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ. Η Συνθήκη αυτή παρέχει σήμερα ένα ολοκληρωμένο σύστημα γιά νά προστατεύσει τά οικονομικά αλλά καί περιβαλλοντικά συμφέροντα καί ενδιαφέροντα τών κρατών πού βρέχονται από θάλασσα καθώς επίσης καί τών νησιωτικών κρατών. Παράλληλα λαμβάνει μέριμνα γιά τήν ελευθερη διέλευση τών πλοίων από άλλα μη θαλάσσια κράτη. Σύμφωνα μέ την Συνθήκη γιά τό νέο δίκαιο τής θάλασσας κάθε χώρα πού βρέχεται από θάλασσα έχει ΧΩΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ τά οποία εκτείνονται σέ μήκος 12 Ναυτικών μιλλίων (22km.) από τήν ακτή τής χώρας.(Βλέπε ΦΩΤ. Α3).

Η καλούμενη ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ ΖΩΝΗ(Α.ΟΙ.Ζ) στίς περισσότερες περιπτώσεις εκτείνεται σέ μιά έκταση 200 Ναυτικών μιλίων (370 χιλιομ.) μετά τό τέλος του ορίου τών ΧΩΡΙΚΩΝ ΥΔΑΤΩΝ τής συγκεκριμένης χώρας.(ΦΩΤ.Α3). Κάθε μια τέτοια χώρα ακόμα και αν είναι νησί ή έχει και νησιά στην επικυριαρχία της, ασκεί κυριαρχικά δικαιώματα σε σχέση με την έρευνα και εκμετάλλευση των κάθε είδους θαλασσίων και υποθαλασσίων πόρων (π.χ υποθαλάσσιες ΟΠΥ) πού βρίσκονται στα χωρικά της ύδατα και εντός τής ΑΠΟΚΛΕΙΣΤΙΚΗΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΖΩΝΗΣ



ΦΩΤ.Α3.Γεωλογική και νομική απεικόνιση της έννοιας της υφαλοκρηπίδας

Γενικά η Συνθήκη για το νέο δίκαιο τής θάλασσας παρέχει στις χώρες αποκλειστικά δικαιώματα να ερευνήσουν και να εκμεταλλευθούν υδρογονάνθρακες και άλλες υποθαλάσσιες ΟΠΥ σε μία έκταση 350 ναυτικών μιλλίων(648km.) από τις ακτές τους. Μέσα στην έκταση των 200 ναυτικών μιλίων-όχι όμως εντός των υπολοίπων 12 ναυτικών μιλίων- όλες οι υπόλοιπες χώρες έχουν δικαιώματα ελεύθερης ναυσιπλοΐας και πτήσεων.

Το τμήμα τού ωκεανού ή τής όποιας θάλασσας μετά την Α.ΟΙ.Ζ. ονομάζεται ΑΝΟΙΚΤΗ ΘΑΛΑΣΣΑ ή ΔΙΕΘΝΗ ΥΔΑΤΑ. Στα ΔΙΕΘΝΗ ΥΔΑΤΑ κανένα κράτος δεν δικαιούται να ασκήσει ή να εγείρει κυριαρχικά δικαιώματα. Σύμφωνα με την Συνθήκη για το νέο δίκαιο τής θάλασσας τα διεθνή ύδατα είναι ανοικτά σε κάθε χώρα όχι μόνο στην ναυσιπλοΐα αλλά στην αλιεία και την έρευνα.
Τα ΧΩΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ όπως τονίσθηκε παραπάνω είναι οι περιοχές όπου κάθε χώρα ασκεί κυριαρχικά δικαιώματα. Τα δικαιώματα αυτά αφορούν την αλιεία, την ναυσιπλοΐα πτήσεις καθώς και την έρευνα-εκμετάλλευση των κάθε είδους υποθαλασσίων ΟΠΥ. Τα ΧΩΡΙΚΑ ΥΔΑΤΑ κάθε χώρας αποτελούνται από τα ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΤΗΣ ΥΔΑΤΑ και ΤΗΝ ΧΩΡΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΑ. Τα εσωτερικά ύδατα περιλαμβάνουν λίμνες, ποταμούς κόλπους και λιμνοθάλασσες.Η ΧΩΡΙΚΗ ΘΑΛΑΣΣΑ εκτείνεται από την ακτή τής χώρας και για έκταση 12 Ναυτικών μιλίων όπως αναφέρθηκε παραπάνω.
β)Καθορισμός τής έννοιας και η σημασία των υποθαλασσίων ΟΠΥ στα πλαίσια τής Συνθήκης για το νέο δίκαιο τής θάλασσας.
Ο καθορισμός τής έννοιας των Υποθαλασσίων Ορυκτών Πρώτων Υλών (Υ.Ο.Π.Υ) μέχρι πρόσφατα είχε μάλλον μία χαλαρή προσέγγιση. Σύμφωνα με τον Archer(1987) ο καθορισμός τής έννοιας αυτής συνδέθηκε με το όλο πρόβλημα τής σύγχυσης πού υπάρχει γύρω από τούς γενικότερους ορισμούς πού αφορούν τις έννοιες τού κοιτάσματος και τού αποθέματος .Σε μία προσπάθεια να ξεκαθαρίσει κάπως τα πράγματα ο Archer(1987) πρότεινε ότι οι ΥΟΠΥ μπορεί να ορισθούν σαν μεταλλοφόρες εμφανίσεις κάτω από την επιφάνεια τής θάλασσας οι οποίες είτε είναι αξιοποιήσιμες τώρα ή έχουν την πιθανότητα να γίνουν οικονομικά αξιοποιήσιμες τα προσεχή 20-30 χρόνια.
Με βάση αυτό τον ορισμό τα προσχωματικά ορυκτά, τα συσσωματώματα βαρέων ορυκτών μπορούν να θεωρηθούν ότι είναι στο παρόν αξιοποιήσιμες ΥΠΟΥ καθώς πολλές εξ'αυτών εδώ καί χρόνια υφίστανται συστηματική εκμετάλλευση.Θά δούμε σέ άλλα κεφάλαια τών σημειώσεων αυτών ότι κάποιες κατηγορίες κονδύλων καί επιφλοιώσεων οξειδίων Mn-Fe , Φωσφωριτών καί υδροθερμικών ορυκτών έχουν μελετηθεί ικανοποιητικά καί θεωρούνται ότι μπορούν νά αξιοποιηθούν οικονομικά τά προσεχή 30 χρόνια.Τέτοιου είδους εμφανίσεις μπορούν νά θεωρηθούν σάν ΥΟΠΥ σύμφωνα μέ τόν ορισμό τού Archer(1987).
Ενα βασικό ερέθισμα πού οδήγησε στήν έναρξη καί συνέχιση τών διαπραγματεύσεων γιά τό νέο δίκαιο τής θάλασσας ήταν η περίπτωση τής μελλοντικής αξιοποίησης τών κονδύλων καί επιφλοιώσεων οξειδίων μαγγανίου-σιδήρου.Ηδη από τά μέσα τής δεκαετίας τού 60' οι σχηματισμοί αυτοί θεωρήθηκαν ότι δυνατόν νά αποτελέσουν μελλοντικά μεταλλεύματα γιά τήν εξαγωγή στρατηγικών μετάλλων όπως κοβάλτιο ,νικέλιο,χαλκό καί κατά δεύτερο λόγο μαγγάνιο.Η θεώρηση αυτή μέ τό πέρασμα τού χρόνου επιβεβαιώθηκε μέ τίς έρευνες οι οποίες πήραν εντατικό ρυθμό μετά τά τέλη τής δεκαετίας τού 70'.Πρόσφατες έρευνες εδειξαν επίσης ότι οι σχηματισμοί αυτοί δυνατόν νά έχουν καί άλλη μιά σημαντική εφαρμογή.Εργαστηριακές έρευνες έδειξαν ότι οι κόνδυλοι αυτοί μπορούν νά απορροφήσουν έως καί 200% τού βάρους τους τό διοξείδιο τού θείου,ένα από τά πλέον ρυπογόνα αέρια πού εκπέμπονται από θερμοηλεκτρικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Η ιδιότητα τους αυτή σημαίνει ότι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν γιά τόν έλεγχο τής εκπομπής τέτοιων αερίων σέ ενεργειακούς σταθμούς. Τό βασικό πάντως ενδιαφέρον γιά τήν αξιοποίηση αξιοποίησης τών κονδύλων καί επιφλοιώσεων οξειδίων μαγγανίου-σιδήρου εξακολουθεί νά εστιάζεται κύρια στήν μεταλλευτική τους αξιοποίηση ιδίως μετά τό ενδιαφέρον πού έδειξαν μεγάλες πολυεθνικές μεταλλευτικές επιχειρήσεις ιδίως μετά τό 1980.Είναι σίγουρο ότι σημαντικές μελλοντικές αυξήσεις τών τιμών μετάλλων όπως Co,Ni,Mn,Cu στήν διεθνή αγορά θά επιταχύνουν τήν έναρξη υλοποίησης αρκετών προγραμμάτων αξιοποίησης εμφανίσεων κονδύλων καί επιφλοιώσεων οξειδίων μαγγανίου-σιδήρου οι οποίες έχουν ερευνηθεί καί αξιολογηθεί επαρκώς.
Πρέπει νά τονίσουμε εδώ ότι τό οικονομικό ενδιαφέρον πού υπήρξε για τούς κονδύλους καί επιφλοιώσεις Mn-Fe δέν υπήρξε καί γιά άλλες υποθαλάσσιες ΟΠΥ. Καί αυτό παρά τό γεγονός ότι τά

προσχωματικά κοιτάσματα αξιοποιούνται ήδη εδώ καί αρκετά χρόνια,ενώ τά συσσωματώματα βαρέων ορυκτών αποτελούν σημαντική πρώτη ύλη γιά τήν δομική βιομηχανία σέ πολλές παράκτιες περιοχές. Από τήν άλλη πλευρά μικρό ενδιαφέρον υπήρξε μέχρι στιγμής γιά τήν αξιοποίηση τών υποθαλασσίων φωσφωριτών κύρια εξ' αιτίας τού γεγονότος ότι τά υπάρχοντα κοιτάσματα φωσφωριτών στήν ξηρά είναι ακόμα πολύ σημαντικά. Τό ενδιαφέρον γιά τά υδροθερμικά κοιτάσματα προέκυψε σχετικά πρόσφατα καί κύρια εστιάσθηκε στό κοίτασμα τής Ερυθράς θάλασσας στό τέλος τής δεκαετίας τού 70. Από τότε καί έως σήμερα ανακαλύφθηκαν καί άλλες σημαντικές υποθαλάσσιες υδροθερμικές μεταλλοφορίες αλλά τό κοίτασμα τής Ερυθράς θάλασσας παραμένει τό πλέον σημαντικό καί τό καλύτερα ερευνημένο.

Είναι δύσκολο νά γίνουν προβλέψεις γιά τό πότε θά αρχίσει μιά συστηματική αξιοποίηση τών Υ.Ο.Π.Υ (μέ εξαίρεση αυτή τών προσχωματικών κοιτασμάτων καί συσσωματωμάτων βαρέων ορυκτών).Αυτό θά εξαρτηθεί από τήν όλη πορεία αξιοποίησης τών ΟΠΥ στήν ξηρά ,τίς τιμές τών μετάλλων στήν διεθνή αγορά αλλά καί τό σύνολο τών τεχνολογικών εξελίξεων πού αναφέρονται στά νέα υλικά καί τήν ανακύκλωση τών μετάλλων.Ενας άλλος παράγοντας πού θά επηρεάσει τήν πορεία αυτή αφορά καί τήν ανάπτυξη νέων μεθόδων καί τεχνολογιών πού θά κάνουν φθηνότερη καί αποτελεσματικότερη τήν έρευνα καί αξιοποίηση τών Υ.Ο.Π.Υ. Δέν πρέπει νά ξεχνούμε τό γεγονός ότι η έρευνα καί πολύ περισσότερο η αξιοποίηση ΟΠΥ σέ υποθαλάσσιο περιβάλλον είιναι μιά πολύ πιό πολύπλοκη ιστορία σέ σχέση μέ τήν ξηρά.Δέν πρέπει άλλωστε νά παραγνωρισθεί τό γεγονός ότι εκτός από τήν πληθώρα τών τεχνολογικών δυσκολιών τό θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζει συχνά απρόβλεπτες δυσκολίες(ισχυρά κύματα καί άνεμοι,άλλα έντονα καιρικά φαινόμενα κλπ.).

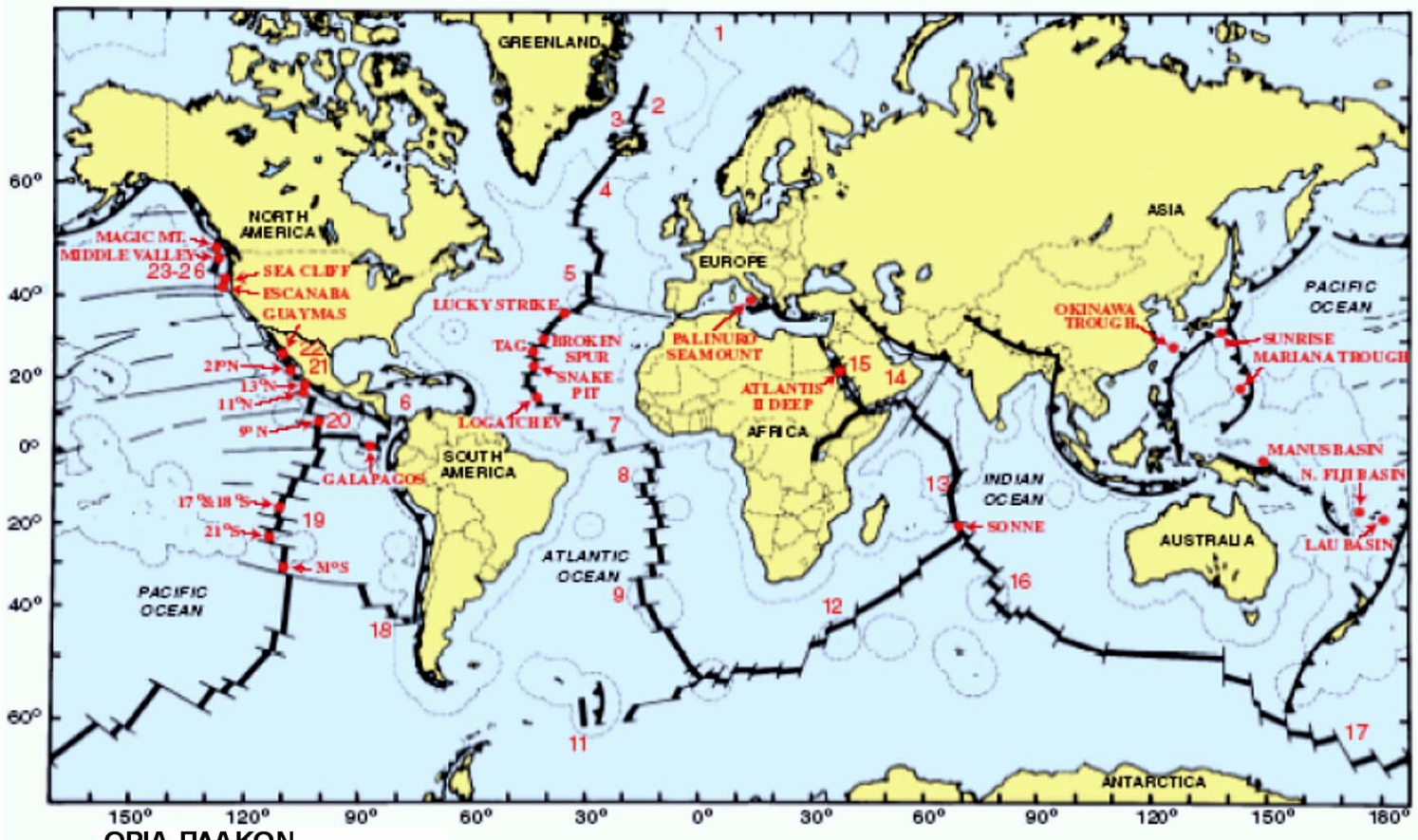
Φυσικά προτεραιότητα γιά εκμετάλλευση έχουν οι Υ.Ο.Π.Υ πού βρίσκονται στήν Οικονομική Αποκλειστική Ζώνη σέ σχέση μέ αυτές τών ανοικτών θαλασσών,γιά λόγους πού συνδέονται αφ'ενός μέν μέ τήν συνθήκη γιά τό δίκαιο τής θάλασσας(υπάρχει δεδομένο ότι χώρα ή χώρες έχουν κυρίαρχα δικαιώματα καί επομένως ενδιαφέρον αξιοποίησης) αφ'ετέρου δέ μέ τό γεγονός ότι είναι ευκολότερα προσπελάσιμες από πλευράς τεχνολογικής αλλά καί απόστασης από τήν ξηρά ενώ συνηθέστατα βρίσκονται καί σέ μικρότερα βάθη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΒΒ

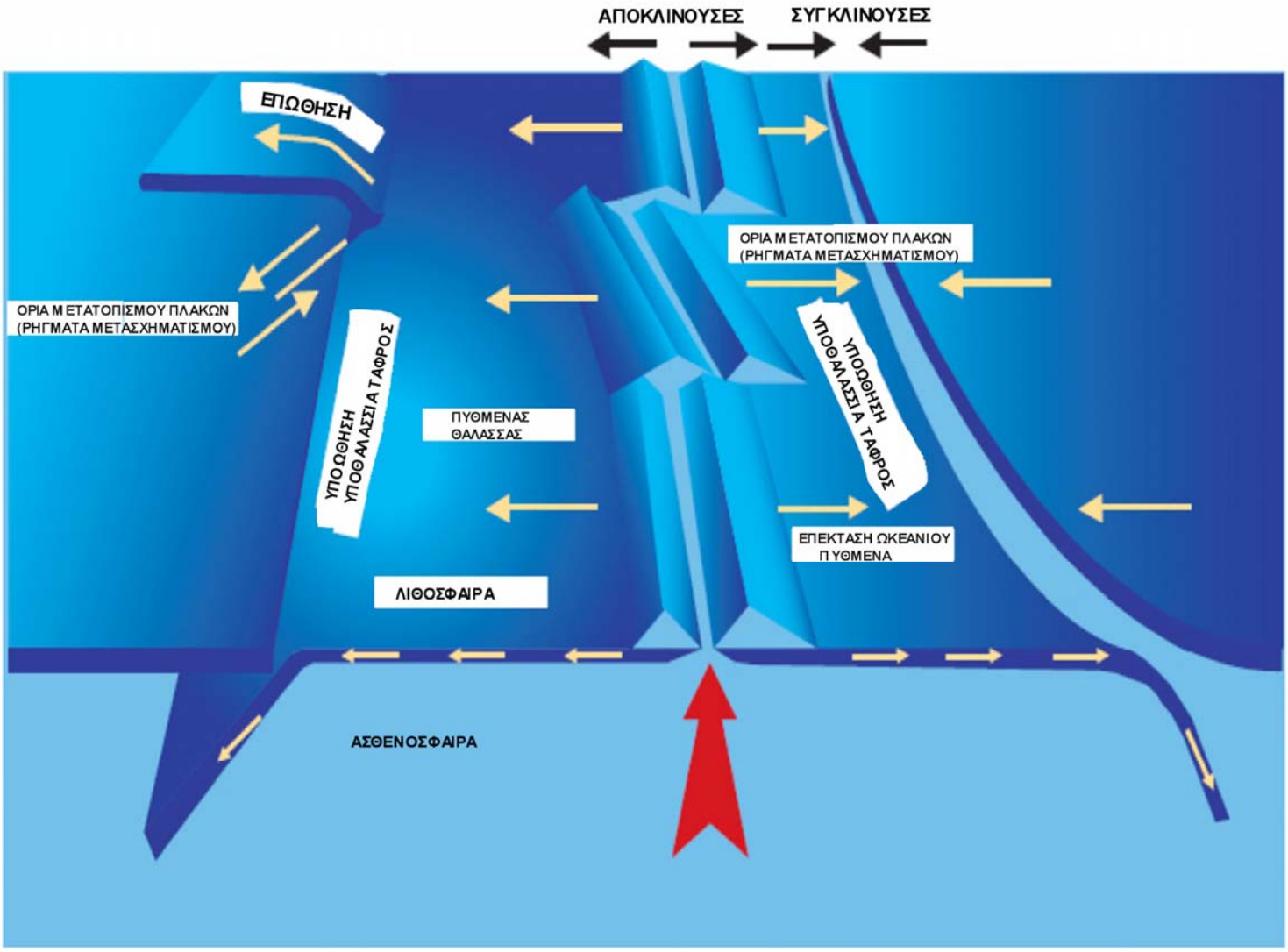
ΤΟ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΟ ΓΕΩΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΚΑΙ Η ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΩΝ Υ.Ο.Π.Υ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΚΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Η θεωρία της τεκτονικής των πλακών άλλαξε την άποψή μας σχετικά με τις ωκεάνιες λεκάνες: από μεγάλες λεκάνες που περιέχουν τα υλικά που διαβρώθηκαν και αποσαθρώθηκαν στην ξηρά και μεταφέρθηκαν στην θάλασσα από τους ποταμούς, σε ενεργές πηγές υλικών τα οποία σχηματίζουν ορυκτές πρώτες ύλες διαφορετικές από εκείνες που δημιουργήθηκαν από την διάβρωση των ηπειρωτικών σχηματισμών. Μια νέα άποψη ενός δυναμικού πλανήτη σύμφωνα με την θεωρία των τεκτονικών πλακών έχει αντικαταστήσει την παλαιά άποψη ενός στατικού πλανήτη με μόνιμες ακίνητες ηπείρους και ωκεάνιες λεκάνες.

Σύμφωνα με αυτήν την νέα θεωρία που πλέον έχει επιβεβαιωθεί το εξώτερο στρώμα της γης διαμορφώνεται από έναν άκαμπτο στρώμα πάχους περίπου 100 χιλιομέτρων που καλείται «λιθόσφαιρα». Η λιθόσφαιρα επιπλέει πάνω σε ένα πιό πλαστικό υπόστρωμα αποκαλούμενο "ασθενόσφαιρα". Η Λιθόσφαιρα είναι τεμαχισμένη σε περίπου δώδεκα μεγαλύτερες πλάκες και ένα αριθμό από μικρότερες πλάκες, όλες αυτές διαχωρίζονται μεταξύ τους από τρεις διαφορετικούς τύπους ορίων (ΦΩΤ.Β1 και Β2).



ΦΩΤ.Β1.Παγκόσμιος χάρτης όπου εμφανίζονται τα όρια και οι τύποι των πλακών, η αποκλειστική οικονομική ζώνη των 200 ναυτ. Μιλίων (370 χιλιομ.) και περιοχές στα όρια πλακών στις οποίες βρέθηκαν μερικά από τα σημαντικότερα κοιτάσματα πολυμεταλλικών σουλφιδίων



ΦΩΤ.Β2 . Τύποι ορίων πλακών

Ο πρώτος τύπος ορίου μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών καλείται "αποκλίνον" όριο. Καθώς δύο αποκλίνουσες πλάκες απομακρύνονται η μια σε σχέση με την άλλη ανέρχεται μάγμα από την ασθενόσφαιρα το οποίο ψύχεται στερεοποιείται και σχηματίζει την νέα ωκεάνεια λιθόσφαιρα η οποία μετακινείται εκατέρωθεν των δύο πλευρών του ορίου σαν δύο ¨ατέρμονους ιμάντες¨με μια μέση ταχύτητα άποιων εκατοστών ανά έτος διαμορφώνοντας έτσι το φαινόμενο της επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα.Τα όρια των αποκλινουσών πλακών σχηματίζουν μια σειρά υποθαλασσίων ηφαιστειακών ορέων που εκτείνονται κατά μήκος όλων των μεγάλων ωκεάνιων λεκανών του πλανήτη σχηματίζοντας έτσι το μεγαλύτερο γεωγραφικό χαρακτηριστικό της Γής. Η επέκταση του

ωκεάνιου πυθμένα στα όρια των αποκλινουσών πλακών έχει σαν αποτέλεσμα το άνοιγμα των θαλασσίων λεκανών και τις ηπείρους να μετακινούνται η μια σε σχέση με την άλλη δημιουργώντας έτσι το φαινόμενο της μετακίνησης των ηπείρων και ταυτόχρονα της διεύρυνσης των ωκεανών. Παραδείγματος χάριν, οι ήπειροι γύρω από τον Ατλαντικό Ωκεανό έχουν κινηθεί ξεχωριστά αλλά σε συντονισμό με το άνοιγμα της λεκάνης του Ατλαντικού Ωκεανού για σχεδόν διακόσια εκατομμύρια χρόνια, συνεπεία της δημιουργίας Λιθόσφαιρας εξαιτίας της επέκτασης του θαλάσσιου πυθμένα σε αμφότερες τις πλευρές της μέσω-ωκεάνιας ράχης του Ατλαντικού. Η μεσω-ωκεάνια ράχη του Ατλαντικού είναι ένα αποκλίνον όριο πλακών έχοντας τη μορφή μιας καταδυόμενης ηφαιστειακή σειράς βουνών η οποία εκτείνεται σε κατεύθυνση βορρά-νότου κατά μήκος της λεκάνης του κεντρικού τμήματος του Βόρειου Ατλαντικού έως τη λεκάνη του νότιου Ατλαντικού.

Ο δεύτερος τύπος ορίου μεταξύ των λιθοσφαιρικών πλακών καλείται: "συγκλίνον" όριο πλακών καθώς δύο λιθοσφαιρικές πλάκες συγκρούονται μεταξύ τους. Κατά κανόνα η μια πλάκα μετακινείται κάτω από την άλλη κατά μήκος μιας ωκεάνιας τάφρου. Η πλάκα που βρίσκεται από κάτω κατέρχεται και τήκεται όταν φθάσει στην ασθενόσφαιρα στο εσωτερικό της Γής στη διάρκεια της διαδικασίας της υποβυθίσεως. Οι ηφαιστειακές αλυσίδες νησιών όπως η Ιαπωνία, το Marianas, οι Φιλιππίνες, και Νέα Γουϊνέα που βρίσκονται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου του Ειρηνικού ωκεανού, και οι ηφαιστειακές αλυσίδες βουνών όπως οι Άνδεις στην Νότια Αμερική διαμορφώνονται από την ηφαιστειακή δραστηριότητα που παράγεται από την τήξη της Λιθόσφαιρας καθώς αυτή κατέρχεται κατά μήκους των ορίων των συγκλινουσών πλακών. Το "δαχτυλίδι της Φωτιάς" γύρω από τον Ειρηνικό ωκεανό δημιουργείται από την ηφαιστειότητα που δημιουργείται στα όρια των συγκλινουσών πλακών οι οποίες περιβάλλουν τον Ειρηνικό.

Αποκλίνοντα όρια πλακών που περιβάλλουν σειρές ηφαιστειακών βουνών και συγκλίνοντα όρια πλακών στις ηφαιστειακές αλυσίδες νησιών περιβάλλονται από σεισμούς οι οποίοι παράγονται με την τριβή των πλακών της μιας σε σχέση με την άλλη καθώς εναλλασσόμενα μετακινούνται στα όριά τους. Το συνολικό μέγεθος (όγκος και διάμετρος) της γης παραμένει σταθερό σαν συνεπεία της ισορροπίας που προέρχεται από την δημιουργία και καταστροφή της λιθόσφαίρας κατά μήκος των ορίων των συγκλινουσών και αποκλινουσών πλακών.

Ένας τρίτος τύπος ορίου πλακών, που εκφράζεται σαν μια μετατόπιση παράπλευρα του μήκους μιας συγκλίνουσας ή αποκλίνουσας πλάκας, χρησιμεύει στο να προσαρμόσει τα γραμμικά όρια της για στην κυρτότητα της σφαιρικής γης. Είναι τα λεγόμενα "Ρήγματα μετασχηματισμού".

Τα όρια των πλακών είναι μέρος του παγκόσμιου συστήματος μεταφοράς της θερμότητας και χημικών συστατικών μεταξύ του υψηλής θερμοκρασίας εσωτερικού της Γής και των ωκεανών. Η θερμότητα είναι βασικός παράγοντας για τις διαδικασίες της μεταλλογένεσης ενώ τα χημικά συστατικά είναι η πηγή των υλικών που δημιουργούνται ως ορυκτές αποθέσεις (κοιτάσματα) κατά μήκος αλλά και μακρυά από τα όρια των πλακών (Rona, 1973 Mitchell και Garson, 1981 Sawkins, 1984). Αυτά τα κοιτάσματα περιλαμβάνουν τα πολυμεταλλικά συμπαγή σουλφίδια κατά μήκος των ορίων των πλακών καθώς και υδροθερμικά ρευστά πλούσια σε μέταλλα που συνδυαζόμενα με τα υλικά υπό

μορφή διαλύματος που προέρχονται από τις ηπείρους σχηματίζουν τους πολυμεταλλικούς κονδύλους και επιφλοιώσεις οξειδίων Mn-Fe τα οποία είναι πλούσια σε Co. (Πίνακας Β1).

ΠΙΝΑΚΑΣ Β1 . Συσχετισμός των δυνατών τύπων ορυκτών και ενεργειακών πρώτων υλών με τους τύπους των ορίων πλακών

ΤΥΠΟΙ ΟΡΙΩΝ ΠΛΑΚΩΝ	ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ	ΕΝ ΔΥΝΑΜΕΙ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ
ΑΠΟΚΛΙΝΟΝΤΑ: ΜΕΣΩ ΩΚΕΑΝΙΕΣ ΡΑΧΕΙΣ	Μεταλλοφόρα ιζήματα (πλούσια σε Cu, Fe, Mn, Pb, Zn, Co, Ba, Ag, Au π.χ. κοίτασμα Atlantis II Deep στην Ερυθρά Θάλασσα)	Γεωθερμία	(Rona and Scott, 1993)
	Στρωματόμορφα οξείδια μαγγάνιου και σιδήρου - υδροοξείδια και πυριτικά ορυκτά του σιδήρου (π.χ., περιοχές της μέσος-ατλαντικής ράχης και το κέντρο επέκτασης πλακών στην περιοχή Galapagos)	Υδρογονάνθρακες στο αρχικό στάδιο της διάρηξης και του ανοίγματος της ωκεάνιας λεκάνης (π.χ., Ερυθρά Θάλασσα, τα ηπειρωτικά περιθώρια του Ατλαντικού και περιθωριακές θάλασσες της δυτικής περιοχής του Ειρηνικού)	
	Πολυμεταλλικές συμπαγείς αποθέσεις σουλφιδίων (Cu, Fe, Zn, Pb, Ag,Au π.χ., στις περιοχές East Pacific Rise στον Ειρηνικό, στην περιοχή Galapagos στο κέντρο επέκτασης , της μέσω Ωκεάνιας ράχης του Ατλαντικού, στην μέσο- ωκεάνια ράχη του Ινδικού και σε περιθωριακές θάλασσες πίσω από τις ηφαιστειακές αλυσίδες νησιών του δυτικού Ειρηνικού)		
	Πολυμεταλλικά Σουλφίδια σε μορφή πλεγμάτων φλεβιδίων (stockwork) (Cu, Fe, Zn, Au, Ag π.χ. σε περιοχές της μέσω Ωκεανίας ράχης του Ατλαντικού, στην μέσος-ατλαντική κορυφογραμμή, στην κορυφογραμμή Carlsberg, και στην μέσω –ωκεάνια ράχη του Ειρηνικού στο κέντρο δημιουργίας νέου ωκεάνειου φλοιού στην περιοχή Galapagos		
	Άλλα πολυμεταλλικά σουλφίδια σε διάσπαρτη ή διαχωρισμένη μορφή (Cu, Ni, μέταλλα της ομάδας του λευκόχρυσου)		
	Αμίαντος		

	Χρωμίτης		
ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΑ: ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	Τμήματα του ωκεάνειου φλοιού που περιέχουν τύπους ορυκτών πόρων που σχηματίστηκαν σε αποκλίνοντα όρια πλακών τα οποία τώρα είναι ανυψωμένα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (π.χ., περιοχές στις ηφαιστειακές αλυσίδες νησιών του δυτικού Ειρηνικού) Κοιτάσματα Sn, U, πορφυρικού Cu και πιθανή μεταλλοφορία Au σε γρανιτικά πετρώματα.	Γεωθερμία Υδρογονάνθρακες	(Mitchell and Garson, 1981; Sawkins, 1984)
ΣΥΓΚΛΙΝΟΝΤΑ: ΧΕΡΣΑΙΑ	Πορφυρικά κοιτάσματα (σε μεγάλα αποθέματα αλλά χαμηλών περιεκτικότητων του Cu, Fe, Mo, Sn, Zn, Au, Ag π.χ., κοιτάσματα σε περιοχές της ηφαιστειακής οροσειράς των Άνδεων) Πολυμεταλλικά συμπαγή σουλφίδια (Cu, Fe, Pb, Zn, Ag, Au Ba π.χ., τα γνωστά κοιτάσματα τύπου Kuroko της Ιαπωνίας)	Γεωθερμία	(Mitchell and Garson, 1981; Sawkins, 1984)
ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΗΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗΣ: (ΡΗΓΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ) ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ	Κοιτάσματα παρόμοια με εκείνα που σχηματίζονται στα αποκλίνοντα όρια πλακών (ωκεάνιες ράχες) μπορούν να εμφανιστούν στα υποθαλάσσια όρια πλακών στα ρήγματα μετασχηματισμού (π.χ. σε περιοχές της μέσο-ατλαντικής ράχης στον Ατλαντικό Ωκεανό και στην ράχη Carlsberg στον Ινδικό Ωκεανό)		(Bonatti, 1981)

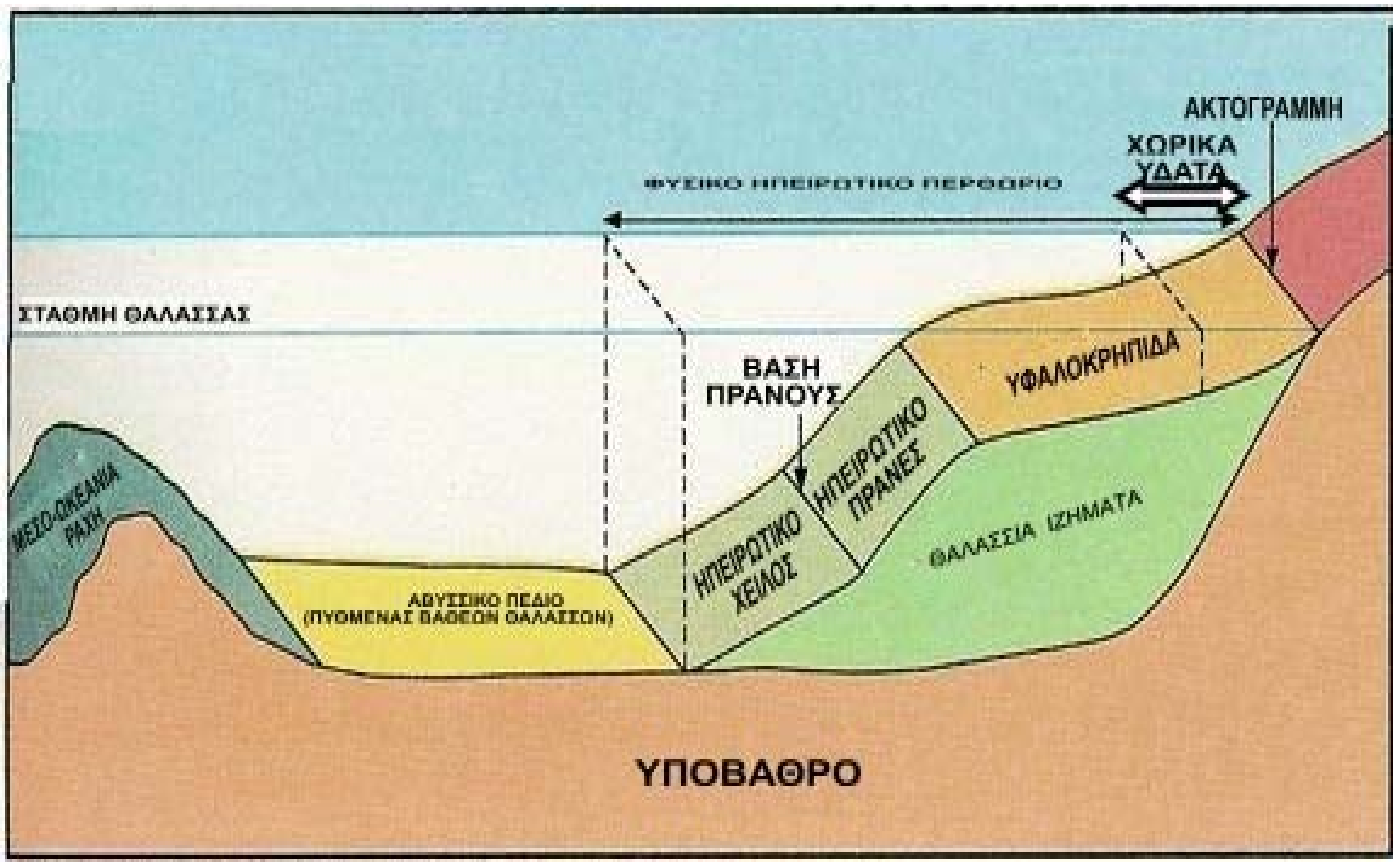
ΥΟΠΥ ΚΑΙ ΤΟ ΑΝΑΓΛΥΦΟ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ

Ο θαλάσσιος πυθμένας σύμφωνα με την τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών διαιρείται σε 2 μεγάλες κατηγορίες και σε ένα αριθμό υποδιαιρέσεων. Οι δύο μεγάλες κατηγορίες είναι τα περιθώρια των ηπείρων και οι ωκεάνιες λεκάνες. Τα Ηπειρωτικά περιθώρια υποδιαιρούνται σε μη-ενεργά (παθητικά) και σε ενεργά με σημαντικές επιπτώσεις σε ότι αφορά την παρουσία στερεών και ρευστών (πετρέλαιο και φυσικό αέριο) ΟΠΥ.

Ανενεργά (Παθητικά) Ηπειρωτικά Περιθώρια

Τα ανενεργά ηπειρωτικά περιθώρια είναι οι ακμές, οι άκρες των ηπείρων, οι οποίες έχουν διαχωρισθεί μεταξύ τους από την εισαγωγή ενός ενδιάμεσου ορίου αποκλινουσών πλακών που στη συνέχεια διασπάσθηκε ενώ παράλληλα μια ωκεάνια λεκάνη άρχιζε να δημιουργείται και να διευρύνεται μεταξύ των ηπειρωτικών τεμαχίων σαν συνεπεία του φαινομένου της δημιουργίας και

εξάπλωσης νέου θαλάσσιου πυθμένα (ΦΩΤ.Β3). **Ένα τυπικό ανενεργό (παθητικό) περιθώριο διαμορφώνεται από την υφαλοκρηπίδα, το ηπειρωτικό πρανές και το ηπειρωτικό χείλος.**



ΦΩΤ.Β3. Το γεωμορφολογικό ανάγλυφο του βυθού

Η υφαλοκρηπίδα αποτελεί την συνέχεια του ηπειρωτικού φλοιού προς την πλευρά της θάλασσας καθώς κλίνει προς τη θάλασσα με μια χαμηλή κλίση από την οριζόντια επιφάνεια (περίπου 1 βαθμός προς τη θάλασσα) και ποικίλα πλάτη μέχρι κάποια εκατοντάδες χιλιόμετρα από την παραλία που στη συνέχεια ακολουθείται από μια σημαντική αύξηση της κλίσης, η οποία εμφανίζεται γενικά σε ένα βάθος ύδατος περίπου 100 μέτρων. **Το ηπειρωτικό πρανές** επεκτείνεται από εκεί που τελειώνει η ηφαλοκρηπίδα έως το ηπειρωτικό χείλος. Παρουσιάζει μια σχετικά απότομη αύξηση της κλίσης προς τη θάλασσα από (5 έως 15 βαθμούς σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο) και πολύ συχνά διακόπτεται από υποθαλάσσια φαράγγια τα οποία παρουσιάζουν κλίση προς τη θάλασσα, ενεργώντας έτσι ως αγωγοί για τη μεταφορά ιζημάτων από τις ηπείρους στις βαθιές ωκεάνιες λεκάνες. Η μέση κλίση του θαλάσσιου πυθμένα μειώνεται απότομα από τη βάση του ηπειρωτικού πρανούς προς **το ηπειρωτικό χείλος** (περίπου 1 βαθμό σε σχέση με το οριζόντιο επίπεδο), το οποίο επεκτείνεται στη βαθιά ωκεάνια λεκάνη (μέσο βάθος ύδατος 3,8 χιλιόμετρα).

Παραδείγματα είναι τα παθητικά ηπειρωτικά περιθώρια που περιβάλλουν τον Ατλαντικό Ωκεανό και εκείνα που εμφανίζονται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου του Ινδικού Ωκεανού.

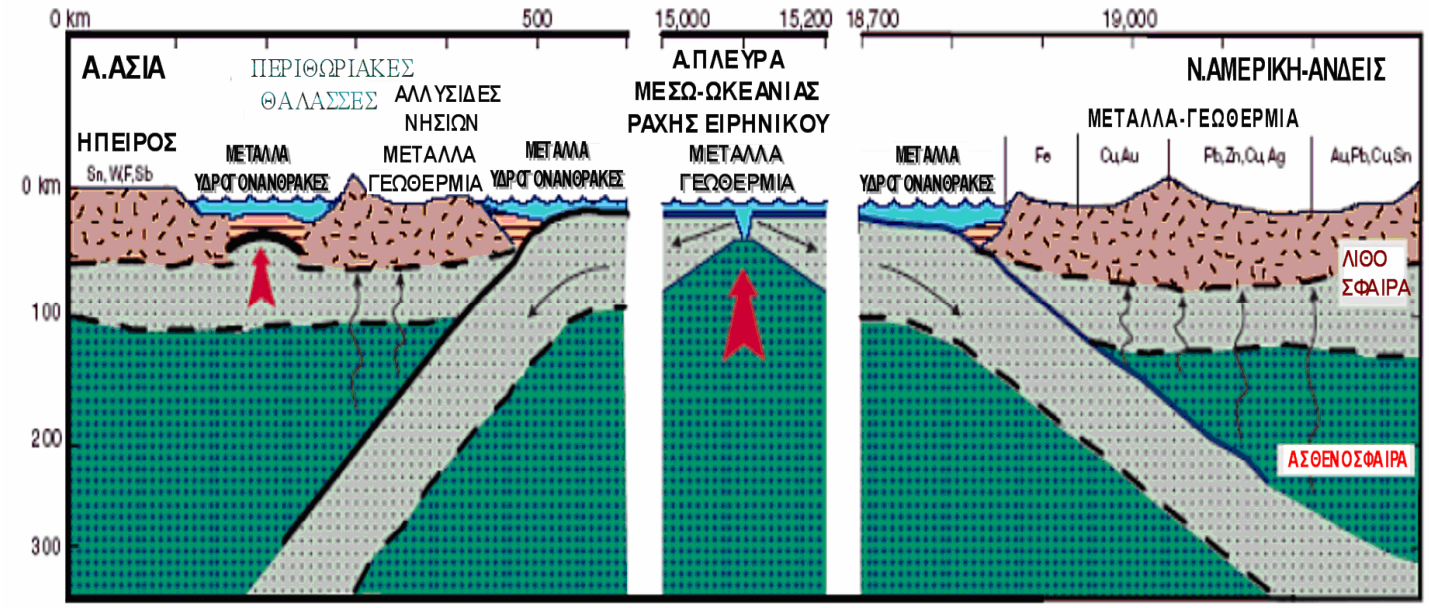
Αυτά τα περιθώρια καλούνται ″ανενεργά″ επειδή καθιζάνουν ομαλά,χωρίς τεκτονικά φαινόμενα, μετά την διάρηξή και τον αποχωρισμό τους. Στη συνέχεια σκεπάζονται από στρώματα ιζημάτων μεγάλου

πάχους,της τάξης δεκάδων χιλιομέτρων, τα οποία είναι προϊόντα διάβρωσης από τις παρακείμενες ηπειρωτικές μάζες που στη συνέχεια εναποτίθενται σε όλο το υποθαλάσσιο ανάγλυφο κύρια στην υφαλοκρηπίδα,το ηπειρωτικό πρανές και το ηπειρωτικό χείλος.
Επομένως, τα ανενεργά ηπειρωτικά περιθώρια είναι οι περιοχές που έχουν τη δυνατότητα για την δημιουργία και ανεύρεση προσχωματικών κοιτασμάτων μετάλλων πολυτίμων λίθων,συσσωματωμάτων βαρέων ορυκτών καθώς και κοιτασμάτων Φωσφωριτών, εναποθεσεις οι οποίες καταβυθίζονται άμεσα από το νερό της θάλασσας ή/και έμμεσα σε συνδυασμό με τους τους θαλάσσιους οργανισμούς (κυρίως πλανκτόν) .
Οι μεγάλου πάχους εναποθεσεις ιζημάτων περιέχουν γενικά υψηλά ποσοστά οργανικής ουσίας κυρίως εξαιτίας των υπολειμμάτων των μικροσκοπικών θαλασσίων φυτών και πλεκτονικών οργανισμών τα οποία καταβυθίζονται θα ενσωματώνονται στα ιζήματα από τα υπερκείμενα νερά της θάλασσας, όταν οι οργανισμοί αυτοί κλείσουν τον κύκλο της ζωής τους. Ο συνδυασμός της υψηλής πίεσης και θερμότητας καθώς αυτή η άφθονη οργανική ουσία θάβεται κάτω από μεγάλες μάζες ιζημάτων βαθμιαία την μετατρέπει σε υδρογονάνθρακες που σχηματίζουν το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο και τις ένυδρες ουσίες υδρογονανθράκων. Οι υδρογονάνθρακες αυτοί κάτω από ορισμένες συνθήκες αποτελούν εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα όταν συμπίπτει να έχουμε μεγάλους όγκους πορώδους και διαπερατού ιζήματος σαν μια φυσική δεξαμενή και μια ποικιλία δομών οι οποίες καλύπτονται από ένα μη διαπερατό στρώμα ιζημάτων που ενεργεί ως παγίδα. Στην περίπτωση των ένυδρων ουσιών φυσικού αερίου, αέριο μεθανίου που παράγεται πρώτιστα από την αποσύνθεση της οργανικής ουσίας ενσωματώνεται στον πάγο που σχηματίζεται κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης, χαμηλής θερμοκρασίας οι οποίες συχνά υπάρχουν μέσα σε στρώματα ιζημάτων που υπόκεινται των παθητικών ηπειρωτικών περιθωρίων. Σε αντίθεση με το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, το οποίο συγκεντρώνεται σε φυσικές δεξαμενές εντός των στρωμάτων των ιζημάτων, το μεθάνιο διαχέεται μέσα σε μεγάλους όγκους ιζημάτων που που βρίσκονται κάτω από εκτεταμένες περιοχές των ηπειρωτικών περιθωρίων. Η πρόκληση για την επιστήμη είναι πώς θα καταφέρει να εξάγει αυτό το μεθάνιο από τις ένυδρες ουσίες αερίου για να το αξιοποιήσει ως πιθανό ενεργειακό πόρο. Οι υπάρχουσες εκτιμήσεις σχετικά με την έκταση των ενεργειακών πόρων που βρίσκονται υπό τη μορφή αερίου μεθανίου που παγιδεύεται μέσα και κάτω από στα στρώματα πάγου μέσα τα ιζήματα πρώτιστα των ηπειρωτικών περιθωρίων ποικίλλουν ευρέως, με μια σειρά εκτιμήσεων από μεγαλύτερο του 100% (Kvenvolden, 1998) σε λιγότερο από 10% (Milkov, 2003) σε σχέση με τα γνωστά αποθέματα των ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο, φυσικό αέριο, και άνθρακας).

Ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια

Τα ενεργά ηπειρωτικά περιθώρια εμφανίζονται στα συγκλίνοντα όρια πλακών στην περίπτωση όπου οι λιθοσφαιρικές πλάκες συγκρούονται μεταξύ τους και ένα τμήμα της λιθόσφαιρας καταστρέφεται κατά την καταβύθιση της στο εσωτερικό της γης στη διάρκεια του φαινομένου της υπο-ώθησης. (Βλ. ΦΩΤ.Β2&Β4). Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα ηπειρωτικά περιθώρια που περιβάλλουν τον ειρηνικό ωκεανό και το ανατολικό περιθώριο του Ινδικού Ωκεανού. Αυτά τα περιθώρια καλούνται "ενεργά" επειδή συνδέονται με σεισμούς και τις ενεργές ηφαιστειακές αλυσίδες νησιών όπως την Ιαπωνία, το Ryukus, τις Φιλιππίνες, Νέα Γουϊνέα, και τα νησιά Kermadec και του Τόγκα βόρεια της Νέας Ζηλανδίας.
Η δημιουργία και η άνοδος του μάγματος κάτω από το θαλάσσιο πυθμένα καθώς η μία λιθοσφαιρική πλάκα κατεβαίνει κάτω από την άλλη συνοδεύεται από έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα και δημιουργεί τους όρους για την δημιουργία και συγκέντρωση των υποθαλασσίων πολυμεταλλικών

συμπαγών σουλφιδίων και των μεταλλοφόρων ιζημάτων του σχετικού μεταλλικού μεταλλεύματος καταθέσεις (βλ. Πίνακα Β1). Ιζηματογενείς λεκάνες προς την πλευρά της θάλασσας και προς την πλευρά της ξηράς γη πλευρές οι ηφαιστειακές αλυσίδες νησιών έχουν το δυναμικό για την ύπαρξη προσχωματικων κοιτασμάτων βαρέων ορυκτών υδρογονανθράκων και ένυδρων αερίων του μεθανίου (βλ. ΦΩΤ.Β 4).



ΦΩΤ.Β4 1: Διατομή Α-Δ του Ειρηνικού ωκεανού μεταξύ Αμερικής και Ασίας η οποία δείχνει τη σχέση των εν δυνάμει ορυκτών και ενεργειακών ΟΠΥ με τις υποθαλάσσιε αποκλίνουσες (ράχη Ειρηνικού ωκεανού) και συγκλίνουσες πλάκες(ηπειρ.περιθωρια ειρηνικού) (ΒΛΠ.ΚΕΙΜΕΝΟ RONA 1983). Μεταλλικές ΟΠΥ περιλαμβανομένων των συμπαγών θειούχων πολυμεταλλικών κοιτασμάτων συχνά δημιουργούνται στον ωκεάνιο φλοιό(μαύρα στρώματα στην εικόνα) στην ανώτερη πλευρά της λιθόσφαιρας.

ΜΕΡΙΚΕΣ ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΙΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΕΣ ΟΡΥΚΤΕΣ ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

Οι ήδη γνωστές υποθαλάσσιες ΟΠΥ παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα ποικιλίας όπως οι αντίστοιχες της ξηράς. Αν δούμε το θέμα από την ποσοτική του διάσταση θα μπορούσαμε να πούμε ότι η έλλειψη τρισδιάστατων δεδομένων(όπως συμβαίνει στα χερσαία κοιτάσματα) δίδει σε πολλά μεγέθη πού αφορούν τις υποθαλάσσιες Ο.Π.Υ ένα σημαντικό βαθμό αβεβαιότητας.Παρ'όλα αυτά η ταχύτατη ανάπτυξη τής γεωλογικής γνώσης σε ότι αφορά την θεωρία των πλακών, την δυναμική τού γήινου συστήματος, αλλά και τον πυθμένα των ωκεανών είναι σίγουρο ότι θα άρει πολλές από τις υπάρχουσες αβεβαιότητες.

Οι ΟΠΥ οι οποίες είναι δυνατόν να τύχουν οικονομικής αξιοποίησης είναι δυνατόν, και σύμφωνα με τα υπάρχοντα στοιχεία, να είναι πολύ σημαντικές, ίσως σημαντικότερες αυτών πού υπάρχουν στην ξηρά, και δυνατόν να δώσουν την τελική λύση τού μακροπρόθεσμα απρόσκοπτου εφοδιασμού τής αγοράς από ΟΠΥ.

Η ταξινόμηση των ΟΠΥ, γίνεται συνήθως πάνω στην βάση τής φυσικής τους κατάστασης (**Πίνακας Β1**) Με βάση την ταξινόμηση αυτή οι Υ.Ο.Π.Υ χωρίζονται σε:

ΑΣΥΝΔΕΤΕΣ(ΧΑΛΑΡΕΣ)
ΣΥΓΚΕΚΟΛΗΜΕΝΕΣ (ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ)
ΣΕ ΡΕΥΣΤΗ ΦΑΣΗ

Η ταξινόμηση αυτή έχει προκριθεί γιατί οι ιδιότητες που συνδέονται με την φυσική τους κατάσταση επηρεάζουν αποφασιστικά τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την εξόρυξη και τον εμπλουτισμό τους.

Ειδικότερα οι χαλαρές ΟΠΥ, έχουν την δυνατότητα να εξορυχθούν με την μέθοδο τής σάρωσης και περισυλλογής, ενώ οι συμπαγείς ΟΠΥ απαιτούν πρόσθετη ενέργεια προκειμένου να εξορυχθούν. Με το ίδιο σκεπτικό οι υποθαλάσσιες ΟΠΥ υποδιαιρούνται σε αυτές πού βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών και σε αυτές πού βρίσκονται υπό τον πυθμένα. Μία περαιτέρω ταξινόμηση βασίζεται σε τεχνικές και νομικές παραμέτρους ταυτόχρονα. Συγκεκριμένα με βάση τις παραμέτρους αυτές οι ΟΠΥ διαιρούνται σε αυτές πού βρίσκονται στην υφαλοκρηπίδα, και σε αυτές πού βρίσκονται στον πυθμένα των ωκεανών.(ΠΙΝ. Β1.).Μερικές ΟΠΥ, όπως π.χ οι φωσφορίτες βρίσκονται και στα δύο περιβάλλοντα.

ΠΕΡΙΟΧΗ	ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ	ΜΟΡΦΗ ΚΑΙ ΤΥΠΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ			
		ΑΣΥΝΔΕΤΕΣ (ΧΑΛΑΡΕΣ)	**ΣΥΓΚΕΚΟΛΗΜΕΝΕΣ (ΣΥΜΠΑΓΕΙΣ)**	**ΣΕ ΡΕΥΣΤΗ ΦΑΣΗ**	**ΥΠΟ ΜΟΡΦΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ**
ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΘΩΡΙΟ (ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑ ΗΠΕΙΡ.ΠΡΑΝΕΣ& ΧΕΙΛΟΣ)	**ΧΕΡΣΟΓΕΝΗ ΠΡΟΕΡΧΟΜΕΝΑ ΑΠΟΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ-ΑΠΟΣΑΘΡΩΣΗ ΤΩΝ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ**	**ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ**: Κοιτάσματα ακρογιαλιάς: πυριτικοί άμμοι και λατύπες (χαλαζίας) **ΠΡΩΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ: ΠΟΛΥΤΙΜΟΙ ΛΙΘΟΙ** (διαμάντια,τοπάζιοι. κ.λπ.) Ευγενή μέταλλα: Χρυσός, λευκόχρυσος Συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών: Ba (Βαρίτης), Cr (χρωμίτης) Fe (αιματίτης, μαγνησίτης, σιδερίτης) Στοιχεία σπάνιων γαιών π.χ. La,Y,Eu,Hf κ.λπ. (μοναζίτης,βασανίτης) Sn (κασσιτερίτης) Ti (ιλμενίτης, ρουτίλιο) Th (μοναζίτης) W (σεελύτης, βολφραμίτης) Zr (ζιρκονίτης)		**Στοιχεία διαλελυμένα στο θαλασσινό νερό**: Αλάτι (Αλίτης,NaCl) Mg και σύμπλοκα Mg) Br,F,Ca,K,Sr,S, Th	
	ΒΙΟΓΕΝΗ (ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ Η ΚΑΙ ΑΠΟ ΠΛΑΓΚΤΟΝ)	**Κοιτάσματα σε ακρογιαλιές: Ιλύς από ασβεστίτη, αραγωνίτη, άμμος από κελύφη οργανισμών, πολύτιμα κοραλία, πέρλες**	◈ **Κάρβουνο** ◈ **Ασβεστόλιθος** ◈ **Εγκλείσματα αερίων υδρυδίων του μεθανίου** ◈ **S (καθαρό η σε μορφή σουλφιτών(HSO_4^-)**	**Υδρογονάνθρακες (Πετρέλαιο και Φυσικό Αέριο)**	
	ΑΥΤΟΓΕΝΗ (ΚΑΘΙΖΑΝΟΥΝ ΚΥΡΙΩΣ ΑΠΟ ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ)	Ασβεστίτης, Αραγονίτης Άμμοι πλούσιοι σε Fe (γλαυκονίτης) Κοιτάσματα σε μορφή στρωμάτων: **Φωσφορίτες** (απατίτης, φθοριαπατίτης)	◈ **Επιφλοιώσεις οξειδίων Mn – Fe** που είναι πλούσιοι σε κοβάλτιο και μερικές φορές σε λευκόχρυσο ◈ **Φωσφορίτες** ◈ Σπανιότερα:NaCl, KCl		

	ΔΙΑΓΕΝΝΕΤΙΚΑ (ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΞΑΛΛΟΙΩΣΗ ΠΡΟΫΠΑΡΧΟΝΤΩΝ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ, ΟΡΥΚΤΩΝ Κ.ΑΠ.)	**Φωσφορίτες** (απατίτης, φθοριαπατίτης)	**Συμπαγή** στρώματα κοιτασμάτων φωσφωριτών		
	ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ - ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ (ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΜΕΣΩΩΚΕΑΝΕΙΩΝ ΡΑΧΕΩΝ Η ΣΕ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΤΟΞΑ)		**Κοιτάσματα σουλφιδίων** σε συμπαγή μορφή , ή σε μορφή φλεβών, ή σε μορφή stokwork (σουλφίδια πλούσια σε Fe, Cu, Zn, Pb, Au, Pt)		**Γεωθερμική Ενέργεια**
ΒΑΘΙΕΣ ΩΚΕΑΝΙΕΣ ΛΕΚΑΝΕΣ	**ΒΙΟΓΕΝΗ**		**Εγκλείσματα αερίων υδρυδίων του μεθανίου**	Υδρογονάνθρακες (πετρέλαιο και φυσικό αέριο)	
	ΑΥΤΟΓΕΝΗ	**Κόνδυλοι οξειδίων Mn - Fe** που είναι πλούσιοι σε Ni, Cu, Zn, Pb, και σπανιότερα σε Au, Ag)	**Επιφλοιώσεις οξειδίων Mn –Fe που είναι πλούσιοι σε Co και σπανιότερα σε Pt**		
	ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ - ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ (ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΟΥ ΜΑΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΜΕΣΩΩΚΕΑΝΕΙΩΝ ΡΑΧΕΩΝ Η ΣΕ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΤΟΞΑ)	**Μεταλλοφόρα ιζήματα που αποτελούνται από οξείδια Mn - Fe** και είναι πλούσια σε Cu, Zn, Pb	◈ **Επιφλοιώσεις Οξειδίων** Mn –Fe ◈ **Συμπαγή Σουλφίδια** Fe, Cu, Zn συχνά πλούσια σε Au και Ag ◈ Σπανιότερα σουλφίδια πλούσια σε Ni -Pt	**Υδροθερμικά Ρευστά** (μεταφέρουν θερμότητα και μέταλλα)	**Γεωθερμική Ενέργεια**

Ι. Ο.Π.Υ ΣΤΗΝ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑ

Η Υφαλοκρηπίδα δεν είναι τίποτε άλλο παρά ηπειρωτικός φλοιός πού είναι βυθισμένος κάτω από την επιφάνεια τής θάλασσας. Περιέχει την πλήρη σειρά των ΟΠΥ πού υπάρχουν στην ξηρά καθώς και ΟΠΥ πού δημιουργούνται από το υπερκείμενο θαλάσσιο περιβάλλον. ΟΠΥ πού έχουν υποστεί επεξεργασία στην υφαλοκρηπίδα περιλαμβάνουν άμμους και λατύπες παγετώδους ή αλλούβιακής προέλευσης, βιογενή υλικά, όπως άμμους πλουσίους σε κοράλλια και κελύφη οργανισμών, προσχωματικά κοιτάσματα φωσφορίτες, λιθοποιημένες ιζηματογενείς ενότητες, ακόμη και πρωτογενείς εμφανίσεις μεταλλοφορίας πού είναι συνέχεια μεταλλοφορίας γειτνιάζουσας χέρσου.

Τα προσχωματικά κοιτάσματα τα οποία απαντούν υπό μορφή άμμου κυρίως, περιλαμβάνουν αυτογενή μέταλλα, όπως Au, Pt, διαμάντια, ορυκτά τού κασσιτέρου(κασσιτερίτης),τού τιτανίου (π.χ ρουτίλιο, ιλμενίτης) και άλλα μεταλλοφόρα ορυκτά προερχόμενα από την αποσάθρωση πρωτογενών πετρωμάτων(κυρίως πυριγενών).Οι σχηματισμοί αυτοί μεταφέρονται στις αμμουδιές και στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας αποτελούν δε σε πολλές περιοχές του πλανήτη μας σημαντικότατη πηγή παραγωγής μεταλλικών ΟΠΥ σήμερα. Σε πολλές περιπτώσεις τα κοιτάσματα αυτά υφίστανται εκλεκτική συγκέντρωση σαν αποτέλεσμα λειτουργίας στην ακρογιαλιά ή στο ανώτερο τμήμα τής υφαλοκρηπίδας φαινομένων πού έχουν υψηλή ενέργεια(π.χ κύματα, υποθαλάσσια ρεύματα. Το αποτέλεσμα τής διαδικασίας αυτής είναι ότι τα κοιτάσματα αυτά υφίστανται επανεπεξεργασία, θάβονται από νεότερα ιζήματα ή αποκαλύπτονται αντίστοιχα, κατά την διάρκεια των μετακινήσεων τού επιπέδου τής θάλασσας(επικλήσεις ή αποσύρσεις) ιδίως στην περίοδο τού Τεταρτογενούς.

Οι υποθαλάσσιοι άμμοι και λατύπες (συσσωματώματα βαρέων ορυκτών) προέρχονται κυρίως από την διάβρωση, αποσάθρωση των ηπείρων. Τα προϊόντα τής διάβρωσης και αποσάθρωσης μεταφέρονται στην θάλασσα από τα ποτάμια, τους παγετώνες και στην συνέχεια συγκεντρώνονται και ταξινομούνται από την δράση των κυμάτων και υποθαλάσσιων ρευμάτων.Τέτοιου είδους σχηματισμοί είναι άφθονοι σε πολλά τμήματα τής υφαλοκρηπίδας, η των αμμουδιών, σε παγκόσμιο επίπεδο, και οι άμμοι και λατύπες είναι η βάσης τής βιομηχανίας των δομικών υλικών σε πολλές περιοχές τής Ιαπωνίας και τής Ευρώπης ιδίως σε περιοχές τής Β.Θάλασσας. Οι **υποθαλάσσιοι φωσφορίτες** παρουσιάζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, εξαρτώμενα από τον τρόπο γένεσης των, και απαντώνται σε άμμους ή υπό την μορφή επιφλοιώσεων και κονδύλων στο κατώτερο σημείο τής υφαλοκρηπίδας.

ΙΙ Ο.Π. Υ ΣΤΟΝ ΠΥΘΜΕΝΑ ΤΩΝ ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ

Η δομή των ωκεάνιων λεκανών μετά το τέλος τού ηπειρωτικού χείλους αποτελούνται κυρίως από στρώματα υποθαλάσσιων βασαλτών διαχεωμένων ανάμεσα σε μέσω-ωκεάνιες ράχες,νησιωτικά τόξα ή υποθαλάσσια όρη. Τα υπερκείμενα ιζήματα είναι συνήθως μικρού πάχους σε περιοχές υψηλού ανάγλυφου και αφθονότερα σε παλαιότερες γεωλογικά ή βαθύτερες ωκεάνιες λεκάνες. Τα ιζήματα αυτά προέρχονται από την διάβρωση και αποσάθρωση των γειτονικών χέρσων και νησιών. Σε μερικές περιπτώσεις έχουν και έντονο το στοιχείο τής βιογενούς προέλευσης όπου η υψηλή βιολογική δραστηριότητα συνεισφέρει στην ιζηματογένεση εξ αιτίας τής συσσώρευσης κελυφών οργανισμών ανθρακικής ή πυριτικής προελεύσεως στους πυθμένες των ωκεανών σε μεγάλες ποσότητες.

Μία σημαντική κατηγορία υποθαλάσσιων ΟΠΥ, με μορφή χαλαρών ιζημάτων κατά κύριο λόγο, είναι **τα μεταλλοφόρα ιζήματα.** Είναι το αποτέλεσμα τής υδροθερμικής δράσης κατά μήκος των ενεργών

μέσω-ωκεάνιων ράχεων και τής οξείδωσης των δημιουργηθέντων αρχικών ορυκτών. Εντοπίζονται κύρια στις κλιτείς των μέσω-ωκεάνιων ράχεων και έχουν την μορφή κονδύλων και επιφλοιώσεων Mn-Fe πλουσίων συχνά σε Co.

Η πρώτη ανακάλυψη των **κονδύλων μαγγανίου** έγινε στα πλαίσια τής ωκεανογραφικής αποστολής τού HMS Challenger στα 1873! Οι κόνδυλοι έχουν πολύ συχνά μορφή πατάτας, και είναι επιφλοιώσεις οξειδίων Mn-Fe τα οποία σχηματίζονται γύρω από ένα μικρό πυρήνα συνήθως σε βάθη από 5000-6000 μέτρα. Τα ορυκτά των κονδύλων είναι εμπλουτισμένα σε σημαντικής οικονομικής αξίας μέταλλα όπως Co, Ni, Cu, Pb τα οποία προέρχονται από ένα συνδυασμό λειτουργίας υδρογενών και βιογενών (σε ορισμένες περιπτώσεις) μηχανισμών. Οι κόνδυλοι αυτοί είναι διασπαρμένοι σε όλους τους ωκεανούς, σε μεγάλες εκτάσεις αλλά οι περιοχές όπου έχουμε την μεγαλύτερη αφθονία αλλά και τις καλύτερες περιεκτικότητες στα χρήσιμα στοιχεία είναι σύμφωνα με τις μέχρι τώρα έρευνες στον Ειρηνικό ωκεανό μεταξύ τον ζωνών διάρρηξης Clarion και Clipperton σε μία απόσταση 1930 χιλιομ. Ν.Δ τής νήσου Χαβάης. Παρόμοια σύσταση έχουν και οι **επιφλοιώσεις οξειδίων Mn-Fe** οι οποίες ευρίσκονται σε βυθισθέντα τμήματα μεγάλων νήσων(ημιπελαγικό περιβάλλον) ή υποθαλάσσιων ορέων σε βάθος 800-2400 μέτρα. Οι σχηματισμοί αυτοί είναι πολύ εμπλουτισμένες σε Κοβάλτιο και για τον λόγο αυτό συχνά αποκαλούνται επιφλοιώσεις Co. Οι περιεκτικότητες σε Co και Pt ανέρχονται μέχρι 1.4% και 0.93 ppm αντίστοιχα. Οι σχηματισμοί αυτοί παρουσιάζουν επίσης την μεγαλύτερη εξάπλωση τους στον Ειρηνικό ωκεανό, έχουν μεγάλο πάχος και είναι μία σημαντικότατη για το μέλλον πηγή, στρατηγικών μετάλλων.

Σχετικά πρόσφατα η ανακάλυψη των **υδροθερμικής προέλευσης σουλφιδίων** πού σχηματίζονται υπό αλλά και επί των ενεργών μέσω-ωκεάνιων ράχεων έδωσε νέες διαστάσεις όχι μόνο στην επί τόπου μελέτη τής μεταλλογέννεσης των υδροθερμικής προέλευσης σουλφιδίων αλλά και δυνατόν να αποτελεί μία σημαντική πηγή ΟΠΥ για το απώτερο μέλλον. Τα σουλφίδια αυτά κατά την αλληλοεπίδραση τού κατερχομένου και ήδη θερμού θαλασσινού νερού με τα υδροθερμικά ρευστά πού ανέρχονται από τον μανδύα κατά την διάρκεια τού φαινομένου τής απομάκρυνσης των δύο πλακών, τής ανόδου βασαλτικού μάγματος και τής δημιουργίας νέου ωκεάνιου φλοιού. Σε τέτοιες συνθήκες αναπτύσσονται ισχυρά μεταγωγικά ρεύματα θερμότητας δημιουργούνται υδροθερμικά ρευστά τα οποία δια των πολλαπλών ρηγματώσεων και διακλαδώσεων τού σχηματιζόμενου ωκεάνιου φλοιού ανέρχονται προς τα πάνω, αντιδρούν με το κατερχόμενο θαλασσινό νερό και σχηματίζουν σουλφίδια πλούσια σε Cu, Fe, Pb, Zn με ή χωρίς Au&Ag.Τέτοιου είδους σχηματισμοί, αλλά με διαφορετικό χημισμό και σε διαφορετική έκταση, σχηματίζονται και κατά μήκος συγκλινουσών πλακών π.χ σε νησιωτικά τόξα όπου έχουμε επίσης ηφαιστειότητα(όξινη) και λειτουργία υδροθερμικών φαινομένων.

Το θαλασσινό νερό αυτό καθ' αυτό, είναι μία σημαντική πηγή παραγωγής μετάλλων και άλλων χημικών στοιχείων για το παρόν αλλά και για το μέλλον. Ήδη σήμερα από το θαλασσινό νερό παράγονται σημαντικές ποσότητες μαγνησίου(Mg) συμπλοκών αλάτων τού μαγνησίου, αλάτι, Br, J και βαρύ ύδωρ.

ΚΚΕΦΦΑΛΑΙΟ ΓΓ.

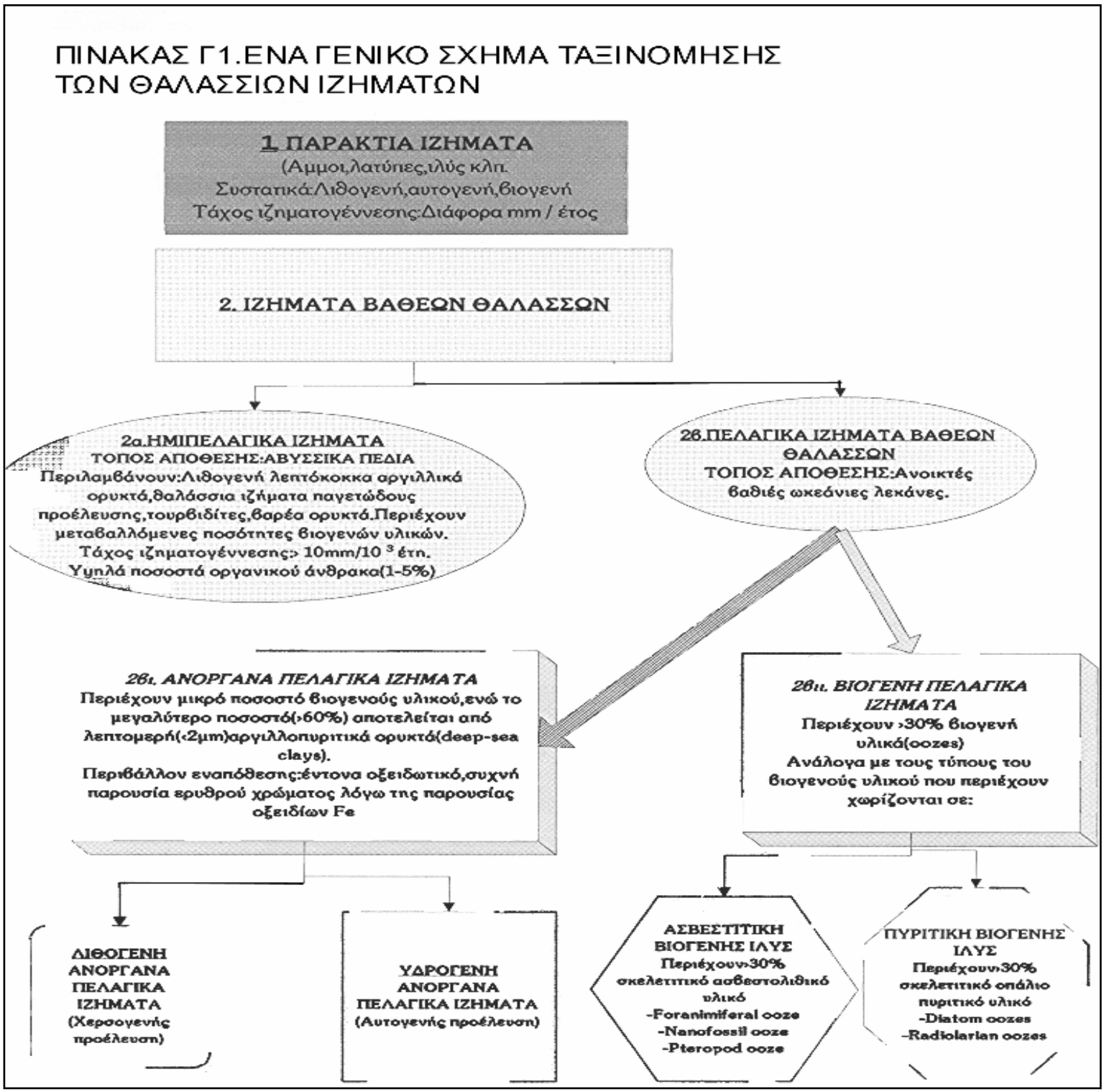
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ:ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ-ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΧΗΜΙΣΜΟΣ

i)ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα θαλάσσια ιζήματα είναι η δεύτερη και σημαντικότερη πηγή και παράγων της υποθαλάσσιας μεταλλοφορίας.Οι μεταλλοφόρες συγκεντρώσεις που συγκεντρώνονται ή δημιουργούνται στον ωκεάνιο πυθμένα αποτελούνται από υλικά προερχόμενα από διάφορες πηγές που περιλαμβάνουν το θαλασσινό νερό,τις ηπείρους, την υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα, βιολογική δραστηριότητα και μερικές φορές υλικά που προέρχονται από το διάστημα. Μερικά ορυκτά δυνατόν να προέρχονται από μια μόνο πηγή από τις προαναφερθείσες π.χ. τα προσχωματικά κοιτάσματα(placer minerals) προέρχονται αποκλειστικά από την αποσάθρωση των ηπείρων, ενώ μερικά μεταλλοφόρα ιζήματα (metalliforous sediments) σχηματίζονται σχεδόν εξ ολοκλήρου σαν αποτέλεσμα της υποθαλάσσιας ηφαιστειακής δραστηριότητας. Άλλα κοιτάσματα Ο.Π.Υ. λαμβάνουν τα συστατικά τους από περισσότερες της μίας πηγές. Έτσι οι θαλάσσιοι κόνδυλοι Μη έχουν σαν πηγή μετάλλων τις ηπείρους, το θαλασσινό νερό, μερικές φορές οργανισμούς και υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οι πηγές των χημικών στοιχείων που υπάρχουν στα διάφορα κοιτάσματα θα εξετασθούν λεπτομερειακά στα επιμέρους κεφάλαια που ασχολούνται με τα αντίστοιχα κοιτάσματα αλλά οι γενικότερες διαδρομές προσφοράς των στοιχείων στους Ωκεανούς θα μας απασχολήσουν παρακάτω σύντομα.

Τα θαλάσσια ιζήματα καθιζάνουν σε ένα ευρύ φάσμα περιβαλλόντων εναπόθεσης. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν δυο βασικοί τύποι ιζημάτων που αντιστοιχούν στα δυο κύρια περιβάλλοντα εναπόθεσης: **οι παράκτιοι σχηματισμοί και οι σχηματισμοί βαθέων θαλασσών**. **(ΠΙΝΑΚΑΣ Γ1)**

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ1. ΕΝΑ ΓΕΝΙΚΟ ΣΧΗΜΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ



ΤΑ ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ καθιζάνουν στην ευρύτερη περιοχή της υφαλοκρηπίδας της ηπειρωτικής κατωφέρειας και του ηπειρωτικού χείλους κάτω από ένα ευρύ φάσμα συνθηκών οι οποίες βασικά καθορίζονται και προέρχονται από τις γειτνιάζουσες ηπειρωτικές μάζες. Σαν αποτέλεσμα οι φυσικές, χημικές και βιολογικές συνθήκες εναπόθεσης είναι πολύ ευρύτερες σε σχέση με τις συνθήκες εναπόθεσης των ιζημάτων βαθέων θαλασσών. Τα περιβάλλοντα εναπόθεσης των παρακτίων ιζημάτων περιλαμβάνουν λιμνοθάλασσες, εκβολές και δέλτα ποταμών, κόλπους, φιόρντ, ηπειρωτικές αναβαθμίδες και περιφερειακές λεκάνες.

ΤΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΒΑΘΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ συνήθως καθιζάνουν σε βάθος νερού ›500μ.Τα περιβάλλοντα εναπόθεσης αυτών των ιζημάτων συνδυάζουν μια σειρά από ξεχωριστά χαρακτηριστικά όπως: η σχετικά μεγάλη απόσταση από την χερσαία πηγή προσφοράς ιζημάτων, μεγάλη ευκολία αντίδρασης μεταξύ σωματιδιακών και διαλελυμένων συστατικών μέσα στη στήλη του θαλασσινού νερού καθώς και η ύπαρξη μιας ξέχωρης βιομάζας του πλαγκτόν. Είναι φανερό ότι όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά προσδίδουν στα ιζήματα βαθέων θαλασσών ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που τα ξεχωρίζουν από τα ιζήματα που βρίσκονται σε ηπειρωτικά ή παράκτια περιβάλλοντα. Δύο από τα πλέον ξέχωρα χαρακτηριστικά των ιζημάτων βαθέων θαλασσών είναι (α)το μέγεθος κόκκων και (β)το τάχος εναπόθεσης των συστατικών τους που προέρχονται από τις γειτνιάζουσες χέρσους (χερσογενή συστατικά).

(α).Το χερσογενές τμήμα των ιζημάτων βαθέων θαλασσών αποτελείται κατά πλειοψηφία από λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά με μέγεθος κόκκων ‹2μm.Η φάση αυτή δυνατό να αποτελεί και το 60-70% του συνόλου των μη βιογενούς προέλευσης συστατικών. Αντιθέτως τα παράκτια θαλάσσια ιζήματα παρουσιάζουν ένα ευρύ φάσμα μεγέθους κόκκων των συστατικών τους ενώ τα λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά αποτελούν ένα πολύ μικρότερο ποσοστό των υλικών χερσογενούς προέλευσης.(Πίνακας Γ2.)

(β).Όπως φαίνεται και από τον Πίνακα Γ3. και κάτω από τις σημερινές συνθήκες ιζηματογένεσης το χερσογενές τμήμα των ιζημάτων βαθέων θαλασσών συσσωρεύεται με ένα ρυθμό της τάξης των λίγων mm-1m./1000 χρόνια. Αντιθέτως τα παράκτια θαλάσσια ιζήματα καθιζάνουν κατά μέσο όρο με ένα πολύ υψηλότερο τάχος της τάξης των λίγων mm/1 χρόνο. Γενικά η τάση είναι να υπάρχει μια μείωση του τάχους ιζηματογένεσης καθώς απομακρυνόμεθα από τις παράκτιες περιοχές και πηγαίνουμε στις ανοικτές αβυσσικές περιοχές. Στον ίδιο Πίνακα δίδονται για σύγκριση και μέσα μεγέθη που αφορούν τους ρυθμούς συσσώρευσης βιογενούς προέλευσης ιζημάτων βαθέων θαλασσών καθώς και κονδύλων Mn.

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ2.Η ΜΕΣΗ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ ΣΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΑΡΓΙΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΟΚΚΩΝ ‹ 2μm.ΣΤΟΥΣ ΔΥΟ ΚΥΡΙΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ(Από Griffin et.al.1968)

ΤΥΠΟΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ	ΠΕΡΙΟΧΗ	ΒΑΡΟΣ % ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΩΝ ΑΡΓΙΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΜΕΓΕΘΟΥΣ <2μm.
ΙΖΗΜΑΤΑ ΒΑΘΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ	ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΣ ΩΚΕΑΝΟΣ	58
	ΕΙΡΗΝΙΚΟΣ ΩΚΕΑΝΟΣ	61
	ΙΝΔΙΚΟΣ ΩΚΕΑΝΟΣ	64
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ(ΑΚΤΕΣ ΗΠΑ)	2
	ΚΟΛΠΟΣ ΜΕΞΙΚΟΥ	27
	ΚΟΛΠΟΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ	19

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ3. ΜΕΣΟΙ ΡΥΘΜΟΙ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟ ΠΑΡΑΚΤΙΕΣ ΚΑΙ ΑΒΥΣΣΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ(Από Thurman & Trujillo 1999).

ΤΥΠΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΣ/ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ	ΜΕΣΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΣΥΣΣΩΡΕΥΣΗΣ(ΑΝΑ 1000 ΕΤΗ)
ΠΑΡΑΚΤΙΑ ΧΕΡΣΟΓΕΝΗ ΙΖΗΜΑΤΑ	1 m
ΙΖΗΜΑΤΑ ΒΑΘΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ ΠΛΟΥΣΙΑ ΣΕ ΛΕΠΤΟΚΟΚΚΑ ΑΡΓΙΛΛΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ	1mm
ΒΙΟΓΕΝΗΣ ΙΛΥΣ ΒΑΘΕΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ	1cm
ΚΟΝΔΥΛΟΙ Mn ΑΝΟΙΚΤΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ	0.0001m

Προκειμένου να αποφευχθούν συγχύσεις με τους διαφόρους όρους και τύπους ιζημάτων είναι

χρήσιμο να δώσουμε ένα απλό σχήμα ταξινόμησης των θαλασσίων ιζημάτων το οποίο θα μας είναι χρήσιμο και στην κατανόηση πολλών θεμάτων της υποθαλάσσιας μεταλλογέννεσης. Στον **Πίνακα Γ1**. που ήδη παρουσιάσθηκε δίδεται η ταξινόμηση των θαλασσίων ιζημάτων όπως σήμερα διεθνώς έχει καθιερωθεί.

1)Παράκτια Ιζήματα

Τα παράκτια ιζήματα εναποτίθενται στα περιθώρια των ηπείρων και κάτω από ένα ευρύ φάσμα φυσικοχημικών περιβαλλόντων που αρχίζει από οξειδωτικό και καταλήγει σε πλήρως αναγωγικό. Τα ιζήματα αυτά περιλαμβάνουν λατύπες, άμμους, ιλύ, και αποτελούνται από ένα μίγμα χερσογενών(πλειοψηφία), αυτογενών και βιογενών συστατικών. Τα βιογενή συστατικά είναι κυρίως υλικά οστράκων,ενώ στα ιζήματα που εναποτίθενται κάτω από αναγωγικές συνθήκες συναντούμε υψηλές συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα. Τα παράκτια ιζήματα περιέχουν υλικά πού έχουν μια ποικιλία κοκκομετρικού μεγέθους από λεπτόκοκκα υλικά μεγέθους ‹2μ. που συναντώνται σε περιβάλλοντα χαμηλής ενέργειας έως άμμους που εναποτίθενται σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας.Σε εκτεταμένα τμήματα της υφαλοκρηπίδας τα ιζήματα είναι σχεδόν πλήρως χερσογενή(δηλαδή χερσαίας προέλευσης ιλύς που καθιζάνει με υψηλούς ρυθμούς της τάξης κάποιων mm/έτος) ενώ σε κάποιες άλλες περιοχές ανθρακικά βιογενή ιζήματα κυριαρχούν π.χ σε ευρεία και αβαθή τμήματα υφαλοκρηπίδας όπου η προσφορά χερσογενών υλικών είναι χαμηλή.

2. Ιζήματα βαθέων θαλασσών

Τα ιζήματα βαθέων θαλασσών με βάση τους μηχανισμούς μεταφοράς των ιζημάτων υποδιαιρούνται σε ημιπελαγικά και πελαγικά.

2α.Τα ημιπελαγικά ιζήματα εναποτίθενται στα περιθώρια των ηπείρων π.χ στο ηπειρωτικό χείλος και στις αρχές των αββυσικών πεδιάδων. Το χερσαίας προέλευσης υλικά των ημιπελαγικών ιζημάτων έχουν μεταφερθεί κυρίως μέσω φαινομένων που λειτουργούν στο βυθό της θάλασσας δηλαδή ρεύματα θολότητας(ιλύος), υποθαλάσσια ρεύματα κλπ.προερχόμενα κυρίως από περιοχές της υφαλοκρηπίδας. Το ανόργανο τμήμα των ημιπελαγικών ιζημάτων αναλόγως και της περιοχής προέλευσης των περιλαμβάνει τα λιθογενή λεπτόκοκκα αριλλοπυριτικά ορυκτά,θαλάσσια ιζήματα παγετώδους προέλευσης, τουρβιδίτες , βαρέα ορυκτά. Το παραπάνω ανόργανο τμήμα περιλαμβάνει συχνά βιογενή ύλη κύρια από θραύσματα οστράκων. Οι ρυθμοί εναπόθεσης των χερσογενούς προέλευσης συστατικών των ημιπελαγικών ιζημάτων δυνατόν να ξεπερνά τα ›10mm/1000 και περιέχουν συχνά υψηλά ποσοστά οργανικού άνθρακα από 1-5%. Η διατήρηση του οργανικού άνθρακα στα ιζήματα αυτά είναι συνάρτηση του βαθμού λειτουργίας του φαινομένου της διαγέννεσης.

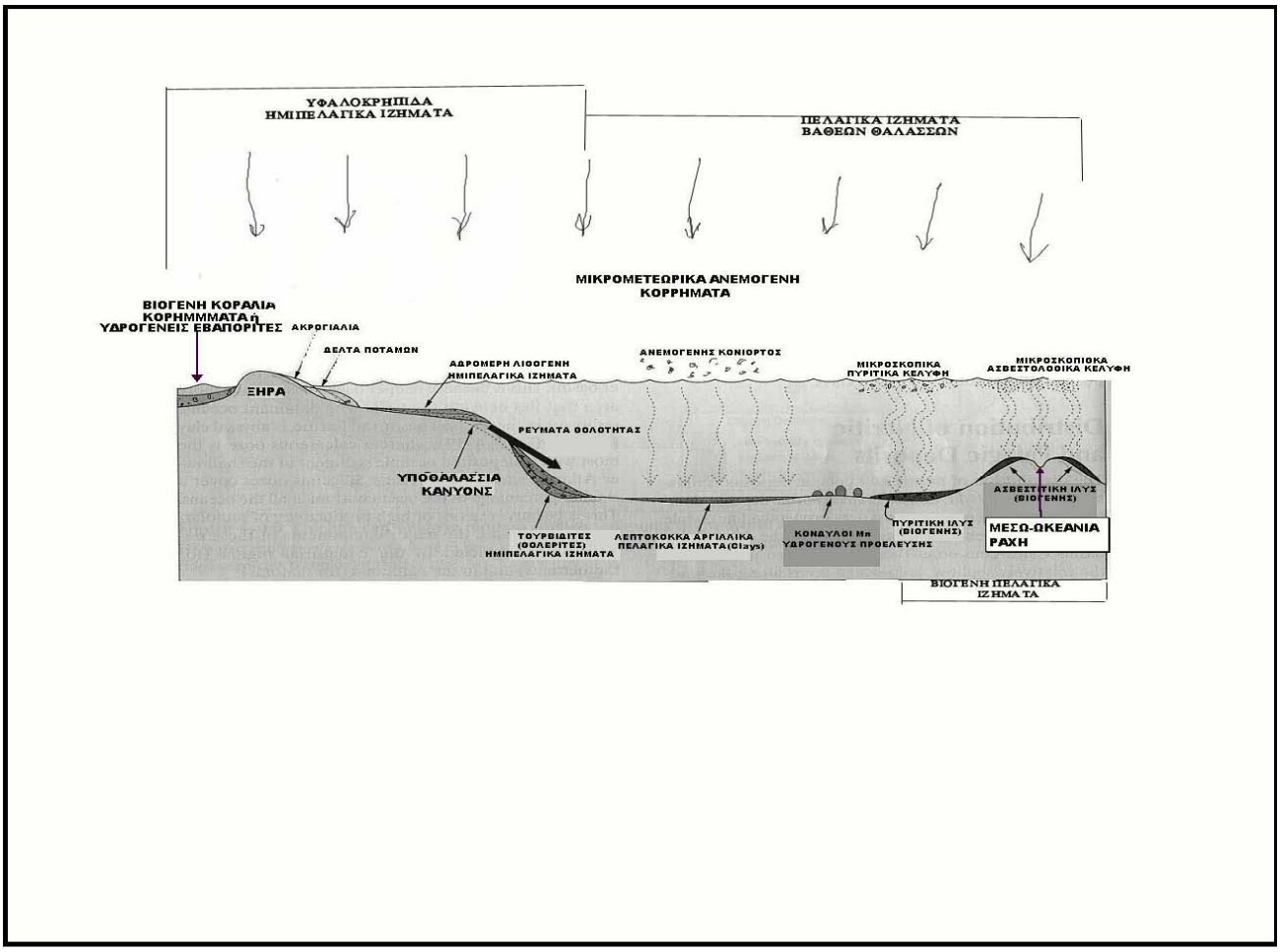
2β.Τά πελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών συσσωρεύονται στις ανοικτές ωκεάνιες περιοχές. Καθιζάνουν συνήθως χωρίς την ύπαρξη υποθαλασσίων ρευμάτων κάτω από ήρεμες συνθήκες ιζηματογέννεσης. Καθιζάνουν από την στήλη του υπερκειμένου θαλασσίου νερού και καλύπτουν τον υποθαλάσσιο βυθό με ένα στρώμα ιζημάτων.Έτσι μπορούμε να πούμε ότι τα πελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών σχηματίζονται μέσω της κάθετης ροής λεπτόκοκκων κυρίως υλικών από την στήλη του θαλασσινού νερού σε αντίθεση με τα ημιπελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών τα οποία σχηματίζονται κυρίως μέσω μηχανισμών μεταφοράς που λειτουργού στον θαλάσσιο βυθό. Τα πελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών υποδιαιρούνται περαιτέρω σε ανόργανα και βιογενή πελαγικά ιζήματα(Πίνακας Γ1.).

2Βι.Ανόργανα πελαγικά ιζήματα. Περιέχουν χαμηλά ποσοστά(‹30%) σκελετιτικού βιογενούς

υλικού ενώ κυρίαρχο στοιχείο είναι ή ύπαρξη λεπτόκοκκων αργιλλοπυριτικών ορυκτών(‹2μm.) (deep-sea clays).Το χερσαίας προέλευσης τμήμα των ιζημάτων αυτών έχει παραμείνει υπό μορφή αιωρήματος για μεγάλες περιόδους στην υπερκείμενη θαλάσσια στήλη και καθιζάνει με πολύ χαμηλούς ρυθμούς της τάξης των ολίγων mm/1000 έτη. Σαν αποτέλεσμα της διαδικασίας αυτής το πλείστον του οργανικού άνθρακα που φθάνει στην επιφάνεια των ιζημάτων καταστρέφεται(οξειδούται) στα πρώτα στάδια της διαγέννεσης και έτσι τα ιζήματα αυτά περιέχουν χαμηλά ποσοστά οργανικού άνθρακα(0.1-0.2%).Έτσι τα ανόργανα λεπτόκοκκα πελαγικά ιζήματα οξειδούνται σε σημαντικό βάθος και βαθμό και αποκτούν ένα κόκκινο χρώμα λόγω της ύπαρξης οξειδίων Fe^{+3} και έτσι συχνά στην διεθνή βιβλιογραφία καλούνται ερυθρά λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά(red clays).Τα **Ανόργανα πελαγικά ιζήματα** αναλόγως της προέλευσης των χημικών συστατικών τους υποδιαιρούνται όπως θα δούμε παρακάτω σε λιθογενή και υδρογενή ανόργανα πελαγικά ιζήματα.

2βιι.Βιογενή πελαγικά ιζήματα. Περιέχουν συνήθως περισσότερο από 30% βιογενούς σκελετιτικού υλικού. Συχνά αναφέρονται με τον όρο οργανική ιλύς και υποδιαιρούνται **σε ασβεστιτική βιογενής ιλύς και σε πυριτική βιογενής ιλύς**. Η πρώτη υποκατηγορία περιέχει πάνω από 30% ασβεστιτικό σκελετιτικό υλικό κυρίως ιλύς τρηματοφόρων και ταξινομείται αναλόγως με το είδος των μικροοργανισμών που υπερτερούν σε ιλύ μικροαπολιθωμάτων και ιλύ πτεροπόδων. Η δεύτερη υποκατηγορία περιέχει πάνω από 30% σκελετιτικής προέλευσης οπαλιομένου SiO_2 και ταξινομείται σε ιλύ διατόμων και ιλύ ραδιολαριτών αναλόγως του είδους των οργανισμών που εκκρίνουν το SiO_2.

Στη **ΦΩΤ.Γ1** φαίνεται η κατανομή των διαφόρων τύπων των θαλασσίων ιζημάτων καθώς πηγαίνουμε από τις παράκτιες περιοχές προς τις ανοικτές αβυσσικές περιοχές.



ΦΩΤ.Γ1 Κατανομή των κυριοτέρων τύπων θαλασσίων ιζημάτων κατά την μετάβαση από την υφαλοκρηπίδα στις αβυσσικές πριοχές(Από Thurman and Trujillo 999)

iii) Η χημική σύσταση των θαλασσίων ιζημάτων

Η χημική σύσταση των διαφόρων τύπων των θαλασσίων ιζημάτων όπως περιεγράφησαν παραπάνω είναι εξαιρετικά σημαντική όχι μόνο για τον όλο γεωχημικό κύκλο των χημικών στοιχείων αλλά και γιατί μάς αποκαλύπτει και τους μηχανισμούς μέσω των οποίων λαμβάνει χώρα η υποθαλάσσια ιζηματογέννεση.

Στους **Πίνακες Γ4. και Γ5**.δίδονται οι συγκεντρώσεις των κυρίων στοιχείων και των ιχνοστοιχείων των κυρίων τύπων των θαλασσίων ιζημάτων αντίστοιχα.

Πίνακας Γ4. .Η χημική σύσταση σε κύρια στοιχεία των κυριοτέρων τύπων των θαλασσίων ιζημάτων [α] (οξείδια σε βάρος %)

	Ανθρακικά (βιογενή) ιζήματα	Λιθογενή λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά	Πυριτικά (βιογενή) ιζήματα	Μέση χημική σύσταση ωκεάνιων ιζημάτων [β]
SiO_2	26.96	55·34	63.91	42·72
TiO_2	0.38	0.84	0.65	0.59
$A12O_3$	7.97	17·84	13·30	12·29
Fe_2O_3	3.00	7·04	5·66	4.89
Fe0	0.87	1.13	0.67	0.94
ΜηΟ	0.33	0.48	0.50	0.41
Ca0	0.30	0.93	0.75	0.60
MgO	1.29	3.42	1.95	2.18
Να2Ο	0.80	1.53	0.94	1.10
K_2O	1.48	3.26	1.90	2.10
P_2O_5	0.15	0·14	0.27	0.16
H_2O	3·91	6·54	7·13	5.35
$CaCO_3$	50.09	0.79	1·09	24.87
$MgCO_3$	2.16	0.83	1.04	1·51
Οργαν.C	0.31	0.24	0.22	O.27
Οργαν.N	-	0.016	0.016	0.015
Σύνολο	100.00	100.00	100.00	100.00
Ολικός $Fε_2O_3$	3.89	8·23	6.42	-

Α. Δεδομένα από Ε1 Wakeel & Riley (1961).
β.Μέσος όρος % υπολογισμένος πάνω στη βάση ότι η μέση σύσταση των ιζημάτων που καλύπτει το θαλάσσιο βυθό είναι: ανθρακικά βιογενή 48.7%, λιθογενή 37.8% πυριτικά βιογενή 13.5%.

Πίνακας Γ5. Οι συγκεντρώσεις των σημαντικότερων ιχνοστοιχείων στους κυριότερους τύπους θαλασσίων ιζημάτων και υποθαλάσσιων μεταλλοφοριών(α) σε ppm. Για σύγκριση δίδεται και η μέση σύσταση του ωκεάνιου φλοιού.

Ιχνοστοιχεία	Παράκτια ιζήματα (ιλύς)	Ανθρακικά πελαγικά ιζήματα (βαθέων θαλασσών)	Λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά Βαθέων θαλασσών από Ατλαντικό Ωκεανό	Λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά Βαθέων θαλασσών από Ειρηνικό Ωκεανό	Μεταλλοφόρα ιζήματα από Ενεργές μέσω-ωκεάνιες ράχες	Κόνδυλοι οξειδίων Mn-Fe	Ηπειρωτικός Φλοιός
Cr	100	11	86	77	55	10	71
V	130	20	140	130	450	590	97
Ga	19	13	21	19	-	17	16
Cu	48	30	130	57	730	3300	32
Ni	55	30	79	293	430	5700	49
Co	I3	7	38	116	105	3400	13
Pb	20	9	45	162	-	1500	16
Zn	95	35	130	-	380	3500	127
Mn	850	1000	4000	12500	60000	220000	720
Fc	69900	9000	82000	65000	180000	140000	35000

(α) Από Chester & Aeton (1976).

Από τους δύο παραπάνω Πίνακες εξάγουμε τα εξής πολύ σημαντικά συμπεράσματα:

ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ. Η σύσταση των κυρίων στοιχείων στα υποθαλάσσια ιζήματα είναι συνάρτηση των σχετικών αναλογιών των ορυκτών που σχηματίζουν τα ιζήματα αυτά. Τα κύρια ορυκτά είναι τα λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά(clays) το βιογενές $CaCO_3$ και το βιογενές SiO_2.Από τον Πίνακα Δ2δ. είναι φανερό ότι το Al παρουσιάζει τις υψηλότερες συγκεντρώσεις του στα λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά(clays) το Ca στα βιογενή ανθρακικά ιζήματα και το Si στα βιογενή πυριτικά ιζήματα.

ΤΑ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ. Από τον Πίνακα Γ5 μπορούμε να διαπιστώσουμε κάποιες βασικές τάσεις και διαφοροποιήσεις στους διαφόρους τύπους των θαλασσίων ιζημάτων. Συγκεκριμένα:

Τα ανθρακικά βιογενή ιζήματα βαθέων θαλασσών είναι πτωχά στα πλείστα των ιχνοστοιχείων. Μόνο το Sr είναι εμπλουτισμένο. Αυτό είναι αναμενόμενο αφού το πλέγμα του $CaCO_3$ δεν μπορεί να φιλοξενήσει τέτοιου είδους ιχνοστοιχεία σε αντίθεση με το Sr με το οποίο το Ca έχει παρόμοιες ακτίνες ιόντος και έτσι είναι δυνατή η υποκατάσταση Ca^{+2} από Sr^{+2}.

Ιχνοστοιχεία όπως Cr,V και Ga παρουσιάζουν παρόμοιες συγκεντρώσεις στα παράκτια ιζήματα και στα πελαγικά ιζήματα πλούσια σε λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά(clays).

Αντιθέτως στοιχεία όπως το Mn,Cu,Ni,Co και Pb είναι σαφώς εμπλουτισμένα στα πελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών πλούσια σε λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά(clays) σε σχέση με τα παράκτια ιζήματα.

Ο παραπάνω εμπλουτισμός είναι περισσότερο εμφανής στα πελαγικά ιζήματα του Ειρηνικού ωκεανού σε σχέση με αυτά του Ατλαντικού.

Οι κόνδυλοι οξειδίων Mn και Fe οι οποίοι συνήθως συνδέονται με τα πελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών πλούσια σε λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά είναι εμπλουτισμένοι στα στοιχεία στα οποία τα παραπάνω ιζήματα είναι ήδη εμπλουτισμένα σε ακόμη όμως υψηλότερες αναλογίες.

Τα υδροθερμικής προέλευσης μεταλλοφόρα ιζήματα από τις μέσω-ωκεάνιες ράχες είναι σαφώς εμπλουτισμένα σε στοιχεία όπως Fe,Mn,Cu,Zn,Ni και Co σε σχέση με τα πελαγικά ιζήματα βαθέων θαλασσών πλούσια σε λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά.

Οι συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων στα παράκτια ιζήματα είναι συγκρίσιμες με τις αντίστοιχες συγκεντρώσεις των ιχνοστοιχείων του ηπειρωτικού φλοιού γεγονός αναμενόμενο αφού σημαντικό ποσοστό των παρακτίων ιζημάτων είναι χερσογενές προερχόμενο από την αποσάθρωση και μεταφορά πετρωμάτων του ηπειρωτικού φλοιού.

Είναι φανερό από όλα τα παραπάνω ότι υπάρχει μια «κλασμάτωση» πολλών χημικών στοιχείων ανάμεσα στους διαφόρους τύπους των θαλασσίων ιζημάτων. Έτσι υπάρχει μια σημαντική «κλασμάτωση» ιχνοστοιχείων μεταξύ παρακτίων ιζημάτων και πελαγικών ιζημάτων βαθέων θαλασσών πλουσίων σε αργιλλοπυριτικά ορυκτά.Επίσης υπάρχει μια «κλασμάτωση» κυρίως ιχνοστοιχείων ανάμεσα και σε διαφόρους τύπους πρωτογενούς υποθαλάσσιας μεταλλογένεσης π.χ μεταξύ κονδύλων Mn-Fe υδρογενούς προέλευσης και μεταλλοφόρων υδροθερμικής προέλευσης ιζημάτων.

iiii)Προέλευση των υλικών που προσφέρονται στις θάλασσες και ωκεανούς

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι 4 είναι οι κυριότερες πηγές προσφοράς χημικών στοιχείων στους ωκεανούς , τα θαλάσσια ιζήματα και κατ' επέκταση στα υποθαλασσίως σχηματιζόμενα κοιτάσματα Ο.Π.Υ. Αυτές είναι:

α)ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΗΣ-ΧΕΡΣΑΙΑΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (CONTINENTAL SOURCES):Είναι σημαντικής σημασίας. Τα υλικά εισέρχονται στη θάλασσα υπό μορφή κλαστικών, κολλοειδών και διαλελυμένων φάσεων. Οι περισσότερες κλαστικές φάσεις που εισέρχονται στο θαλάσσιο περιβάλλον καθιζάνουν σε περιθωριακές ωκεάνιες περιοχές, κοντά στη ξηρά, αφήνοντας μόνο τα πολύ λεπτόκοκκα υλικά να παραμένουν για μακρύτερο χρονικό διάστημα σε αιώρηση και να καθιζάνουν αλλού, σε βαθύτερα τμήματα των ωκεανών. Φυσικά υπάρχουν και διαφοροποιήσεις σ' αυτό το γενικό κανόνα. Έτσι μερικές περιοχές, κοντά στη ξηρά, λαμβάνουν μόνο λεπτόκοκκα ιζήματα, ή δεν λαμβάνουν ιζήματα καθόλου, είτε σαν αποτέλεσμα

περιορισμένης αποσάθρωσης και μηχανισμών μεταφοράς στις γειτονικές ηπείρους είτε λόγω "παγίδευσης" των ιζημάτων στις ακτές ή πολύ κοντά στις ακτές. Παρομοίως σχετικά χονδρόκοκκα κλαστικά ιζήματα δυνατόν να μεταφερθούν σε βαθύτερα τμήματα των ωκεανίων λεκανών με τη βοήθεια ρευμάτων θολότητας (Turbidity currents) όπως π.χ. συμβαίνει στο Ν.Α.τμημα του Ατλαντικού.

Όπως αναφέρθηκε ήδη παραπάνω τα προσχωματικά κοιτάσματα και συσσωματώματα άλλων βαρέων ορυκτών, (άμμοι, λατύπες) είναι σχεδόν καθ' ολοκληρία κλαστικά (detrital) σε ότι αφορά την προέλευση. Τα χερσαίας προέλευσης υλικά που εισέρχονται στους ωκεανούς υπό μορφή κολλοειδών ή σε διάλυμμα, πολύ γρήγορα δεν ξεχωρίζονται από παρόμοιες φάσεις που εισέρχονται στους ωκεανούς από άλλες πηγές. Εδώ η πήγή (α) αλληλοκαλύπτεται με την πηγή (β).

β)**ΥΔΡΟΓΕΝΟΥΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (HYDROGENOUS COMPONENT):**Οι παραπάνω αναφερθείσες φάσεις συνεισφέρουν στη συνολική μάζα των υλικών που υπάρχουν στο θαλάσσιο νερό και κατά συνέπεια στις φάσεις που καθιζάνουν κατ' ευθείαν από το θαλάσσιο νερό. Τα ΥΔΡΟΓΕΝΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ είναι στερεά προϊόντα που σχηματίζονται από το θαλάσσιο νερό μέσω ανόργανων αντιδράσεων (Βιολογικές διεργασίες δεν παρεμβαίνουν στις αντιδράσεις σχηματισμού).Τα Υ.Σ. χωρίζονται σε δύο κατηγορίες α) **ΠΡΩΤΟΓΕΝΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ** που σχηματίζονται κατ' ευθείαν από το θαλασσινό νερό όπως π.χ. Κόνδυλοι -Φωσφορίτες, ορυκτά με θειούχα ρίζα (Sulphates) π.χ.(Βαρίτες) β) **ΔΕΥΤΕΡΟΓΕΝΗ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ** : προέρχονται από την υποθαλάσσια εξαλλοίωση άλλων προϋπαρχόντων ορυκτών π.χ.Ζεόλιθοι-Μοντμοριλλονίτες.

γ).ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ (VOLCANIC SOURCES): Είναι σημαντική πηγή εισαγωγής χημικών στοιχείων στους ωκεανούς. Η ηφαιστειότης μπορεί να προσφέρει χημικά στοιχεία στη θάλασσα με τρεις τουλάχιστον τρόπους **: ι) Με τη μορφή στερεών ηφαιστειακών κλαστικών υλικών όπως π.χ. ηφαιστειακή ύαλος (volcanic glass) και πυροκλαστίτες ιι) Με τη μορφή υδροθερμικών διαλυμμάτων ή ιιι) με τη μορφή υποθαλάσσιας εξαλλοίωσης ηφαιστειακών πετρωμάτων (HALMYROLYSIS).**Το σχετικό ενδιαφέρον αυτών των τριών μηχανισμών σε ότι αφορά τη συνεισφορά τους στο σχηματισμό υποθαλασσίων κοιτασμάτων διαφέρει σημαντικά. Χημικά στοιχεία, και κύρια μέταλλα προσφερόμενα μέσω ηφαιστειακών κλαστικών υλικών είναι ίσως ήσσονος σημασίας (δυνατόν μάλιστα να προκαλέσουν αραίωση (dilution) άλλων φάσεων περιεχόντων μέταλλα σε υψηλότερες συγκεντρώσεις όπως π.χ. συμβαίνει με την ύπαρξη ηφαιστειακής προέλευσης πυρήνων σε κονδύλους Μη).

Η προσφορά μετάλλων μέσω υποθαλάσσιας υδροθερμικής δράσης είναι σημαντική όσον αφορά τον σχηματισμό μεταλλοφόρων ιζημάτων και πολυμεταλλικών θειούχων ορυκτών σε περιοχές υποθαλάσσιας ηφαιστειακής δράσης, αλλά ο ρόλος της στο να συνεισφέρει μέταλλα στο θαλασσινό νερό είναι ακόμη όχι καλά ξεκαθαρισμένος και αποτελεί αντικείμενο εντατικών ερευνών. Σ' ένα μικτό υδάτινο ωκεάνιο σύστημα τα χημικά στοιχεία που προσφέρονται στο θαλασσινό νερό μέσω υδροθερμικής δράσης δεν ξεχωρίζουν από τα χημικά στοιχεία που προέρχονται από τις ηπείρους και έτσι η σχετική προσφορά της υδροθερμικής πηγής είναι δύσκολο να εκτιμηθεί. Η βραδεία εξαλλοίωση ηφαιστειακών πετρωμάτων στον θαλάσσιο πυθμένα είναι πιθανώς ποσοτική ή πλέον ουσιαστική ηφαιστειακή προσφορά χημικών στοιχείων στο θαλασσινό νερό και στα ιζήματα, και κατά συνέπεια στα υποθαλάσσια κοιτάσματα. Το φαινόμενο αυτό και ο ρόλος του στο σχηματισμό κονδύλων Μη δυνατόν να είναι ιδιαιτέρου ενδιαφέροντος όπως θα συζητηθεί στο οικείο κεφάλαιο.

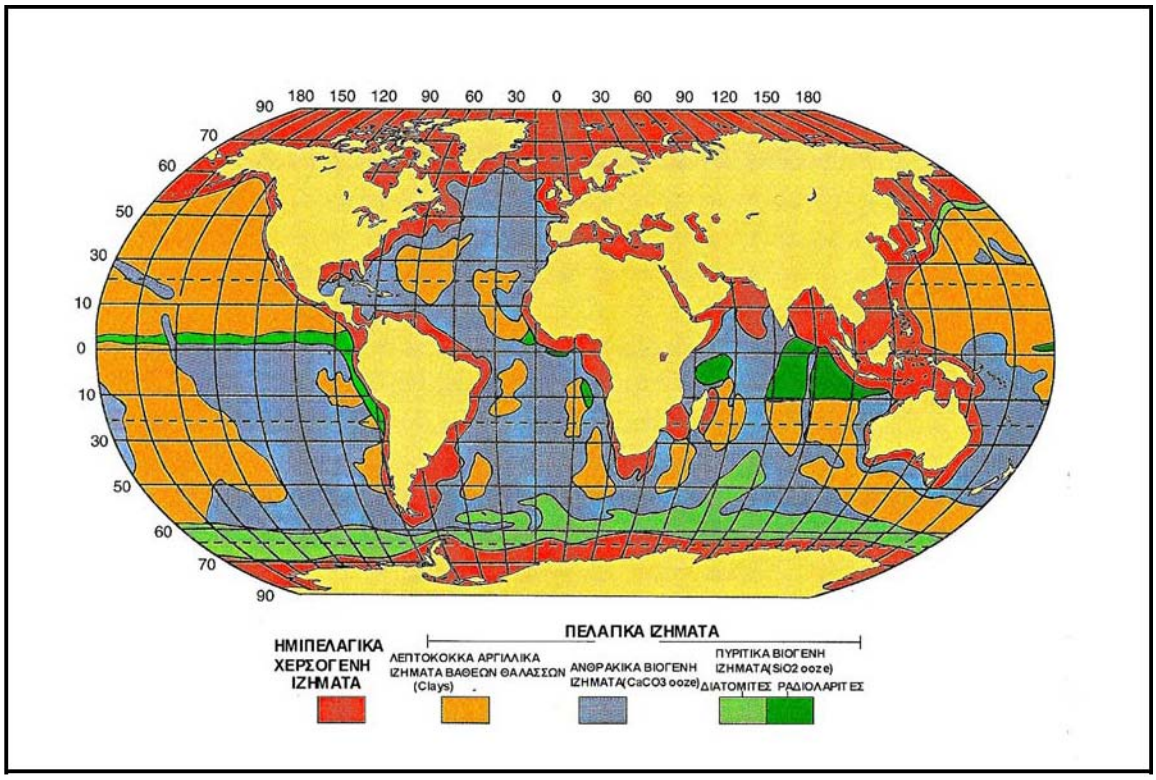
δ) ΒΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ: Η προσφορά τέτοιων συστατικών στον

θαλάσσιο πυθμένα είναι κύρια συνέπεια της καταβύθισης από τα επιφανειακά νερά σωμάτων νεκρών οργανισμών ή προϊόντα της διαδικασίας του ζώντος κύκλου τέτοιων οργανισμών όπως π.χ. περιττώματα. Όταν τέτοιοι οργανισμοί ζούν λαμβάνουν χημικά στοιχεία από το θαλασσινό νερό που τους είναι απαραίτητα για την ανάπτυξή τους και έτσι τα συστατικά τους, όπως άλλα στο θαλασσινό νερό είναι ίσως τελικά προερχόμενα από περισσότερες της μίας πηγές. Επομένως η βιολογική προσφορά χημικών στοιχείων δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν πρωτογενής πηγή στοιχείων στο θαλάσσιο πυθμένα,αλλά σαν ένας μηχανισμός μέσω του οποίου στοιχεία υπάρχοντα στο θαλασσινό νερό συγκεντρώνονται πριν την μετακίνησή τους από τους ωκεανούς.

Τέλος υπάρχουν και τα ε**) ΚΟΣΜΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ** μέσω των οποίων χημικά στοιχεία δυνατόν να προσφέρονται στους ωκεανούς. Ο μηχανισμός αυτός είναι πολύ μικρής σημασίας. Σφαιρίδια κοσμικής προέλευσης (cosmic spherules) βρίσκονται σε μικρές ποσότητες σε ιζήματα βαθέων θαλασσών που καθιζάνουν με βραδείς ρυθμούς και σε μερικούς κονδύλους Μη αλλά δεν συνεισφέρουν ουσιαστικά σε οποιοδήποτε τύπου υποθαλάσσιο κοίτασμα.

ν) Κατανομή των ιζημάτων στο θαλάσσιο βυθό

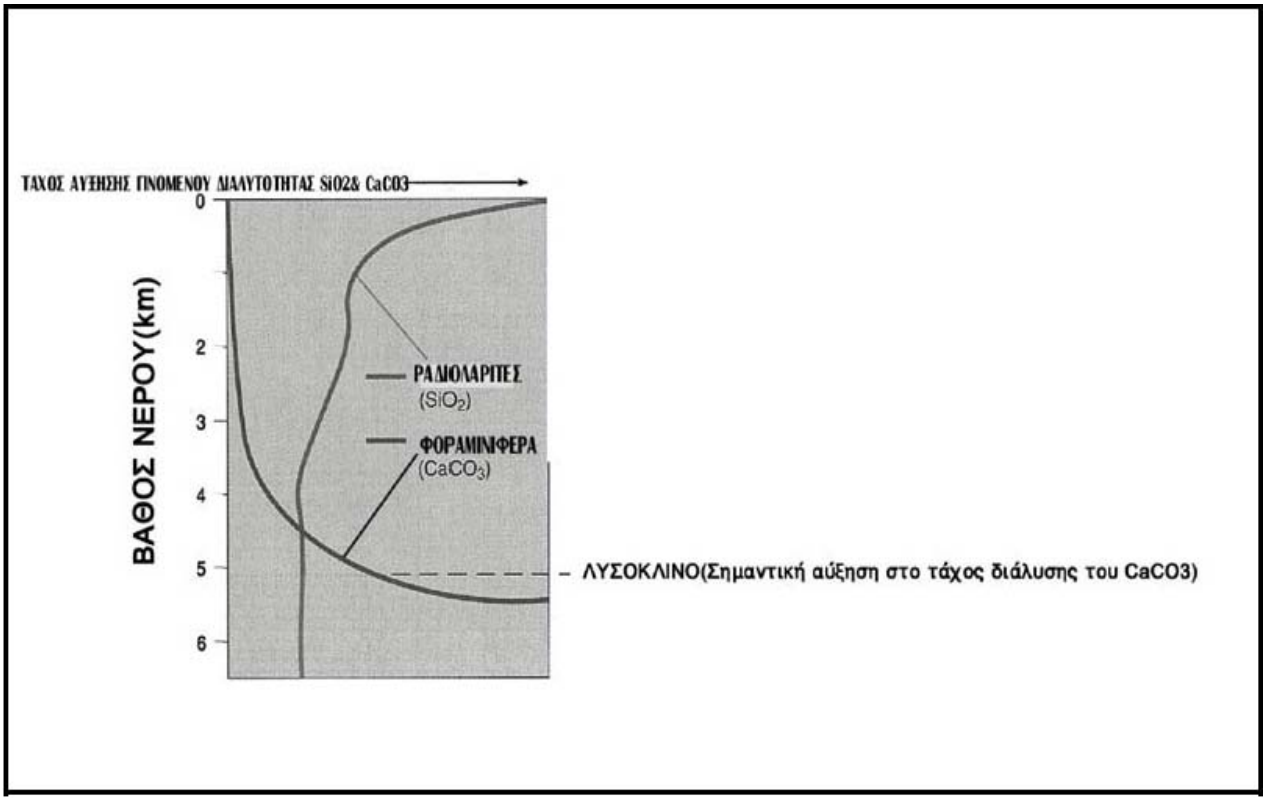
Η φύση των επιφανειακών ιζημάτων του βυθού φαίνεται στην **Φωτ.Γ2.** και αντανακλά αφ' ενός μεν τις διαφορετικές πηγές τους όπως περιγράφονται στο προηγούμενο κεφάλαιο, αφ' ετέρου δε τα διαφορετικά φαινόμενα που επηρεάζουν την μετακίνησή τους και ανακατανομή τους.



ΦΩΤ.Γ2. Κατανομή των κυριοτέρων τύπων θαλασσίων ιζημάτων στην επιφάνεια του θαλάσσιου βυθού.

Η κατανομή των κλαστικών ιζημάτων στο θαλάσσιο βυθό είναι κύρια συνάρτηση της προσφοράς. Τα ηπειρωτικά περιθώρια καλύπτονται από κλαστικά ιζήματα προερχόμενα από τις γειτονικές χέρσους αν και υπολείμματα ιζημάτων βιογενούς προέλευσης κορρήματα και αυτογενή ορυκτά είναι συνήθη σε μερικές περιοχές της υφαλοκρηπίδας (Continental Shelf) όπου η συνεισφορά κλαστικών υλικών είναι περιορισμένη για διαφόρους λόγους. Τα κλαστικά ιζήματα καλύπτουν επίσης το μεγαλύτερο τμήμα του ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΟΥ ΠΡΑΝΟΥΣ (CONTINENTAL SLOPE) και όπως ήδη προαναφέρθηκε σε ορισμένες περιπτώσεις επεκτείνεται σε βαθύτερα τμήματα τής θαλάσσιας λεκάνης σε περιοχές δράσης ρευμάτων ιλύος (θολότητας) όπου έχουμε και εναπόθεση αυτής της ιλύος (turbidite deposition).Ο βυθός τών βαθέων περιοχών των θαλασσίων λεκανών καλύπτεται με λεπτόκοκκα προϊόντα της διάβρωσης των πετρωμάτων των ηπείρων όπως π.χ. τα ένυδρα πυριτικά ορυκτά του Αργιλλίου, γνωστά στην διεθνή βιβλιογραφία σαν Clay Minerals.Επί πλέον όμως όπως θα περιγραφεί παρακάτω σημαντική είναι η παρουσία βιογενών κορρημάτων (biogenic debris) αυτογεννών ορυκτών και προϊόντων εξαλλοίωσης των ηφαιστειακών πετρωμάτων του ωκεάνιου φλοιού. Το συνηθέστερο είναι ότι μίγματα των παραπάνω συστατικών απαντούν στα ιζήματα βαθέων θαλασσών.

Η κατανομή των βιογενών συστατικών είναι κύρια συνάρτηση της βιολογικής δραστηριότητας των επιφανειακών νερών των θαλασσών και του βάθους του θαλασσίου βυθού. Υψηλή βιολογική δραστηριότης και παραγωγικότητα απαντάται σε περιοχές του ισημερινού και των πόλων και σε ορισμένες περιθωρειακές περιοχές των ωκεανών. Αυτή η βιολογική δραστηριότητα και παραγωγικότητα έχει σαν αποτέλεσμα μια συνεχή ροή οργανισμών και προϊόντων του ζώντος κύκλου τους, που καθιζάνουν στον θαλάσσιο βυθό τα οποία τελικά συσσωρεύονται σαν βιογενή υπολείμματα (biogenic remnants).Εδώ πρέπει να αναφερθούμε και σε ένα άλλο φαινόμενο. Συγκεκριμένα η διαλυτότης (solubility) μερικών βιογενών συστατικών μεταβάλλεται με το βάθος. Έτσι μερικά βιογενή συστατικά καθώς καθιζάνουν δυνατόν να διαλυτοποιούνται προτού φθάσουν τον θαλάσσιο βυθό ενώ άλλα διαλυτοποιούνται στον θαλασσινό βυθό. Αυτό το φαινόμενο είναι μεγάλης σημασίας όσον αφορά τον έλεγχο της κατανομής των ιζημάτων πλούσιων σε CaCO3 στον θαλάσσιο βυθό και αυτό γιατί το γενόμενο διαλυτότητος (η διαλυτότητα) του CaCO3 αυξάνει συναρτήσει του βάθους και το συστατικό αυτό διαλύεται είτε μόλις φθάσει είτε προτού φθάσει τον θαλάσσιο βυθό στα βαθύτερα τμήματα των ωκεανίων λεκανών.**(ΦΩΤ.Γ3.) Το βάθος στο οποίο έχουμε μιά σημαντική αύξηση στο τάχος διάλυσης του CaCO3 καλείται ΛΥΣΟΚΛΙΝΟ (LYSOCLINE) ενώ το βάθος μετά το οποίο το CaCO3 έχει ήδη διαλυθεί καλείται βάθος αντισταθμίσματος CaCO3 (CALCIUM CARBONATE COMPENSATION DEPTH (C.C.D.).**



ΦΩΤ.Γ3. Μεταβολές του γινομένου διαλυτότητας του SiO_2 από βιογενείς οργανισμούς πλουσίους σε SiO_2 (ραδιολαρίτες) και του $CaCO_3$ από βιογενείς οργανισμούς πλουσίους σε $CaCO_3$ (φοραμινίφερα) σε συνάρτηση με το βάθος της θάλασσας. Οι πλούσιοι σε SiO_2 μικροοργανισμοί είναι πολύ λιγότερο διαλυτοί σε μεγάλα βάθη σε αντίθεση με τους μικροοργανισμούς πλουσίους σε $CaCO_3$ οι οποίοι μετά τα 4500 μέτρα περίπου, διαλυτοποιούνται λόγω της σημαντικότατης αύξησης του γινομένου διαλυτότητας του $CaCO_3$ (Από SEGAR D.1998)

Το βάθος του ΛΥΣΟΚΛΙΝΟΥ και C.C.D. διαφέρουν και εντός διαφορετικών περιοχών του ιδίου ωκεανού και ιδίως από ωκεανό σε ωκεανό λόγω μιας σειράς παραγόντων (BERGER 1976).Γενικά όμως το LYSOCLINE βρίσκεται μεταξύ 3500-4000m ενώ το CCD λίγο βαθύτερα. Έτσι το $CaCO_3$ είναι ένας σημαντικός τύπος ιζήματος στον θαλάσσιο βυθό βάθους έως περίπου τα, 4000m αλλά απουσιάζει από πολλές περιοχές βάθους 4500-5000m. Το βιογενούς προέλευσης SiO_2 από ραδιολαρίτες και διάτομα δεν υφίσταται την ίδια επίδραση στη διαλυτότητα του, συναρτήσει του βάθους (ΦΩΤ.Γ3) όπως το $CaCO_3$ και έτσι η πυριτική ιλύς (siliceous ooze) είναι ο κύριος τύπος ιζήματος σε θαλάσσιο βυθό περιοχών υψηλής οργανικής δραστηριότητας και παραγωγικότητας ο οποίος όμως βρίσκεται πολύ βαθιά για να επιτρέψει τη δημιουργία και συσσώρευση $CaCO_3$.

Η κατανομή των υπολοίπων θαλασσίων ιζημάτων είναι συνάρτηση ευρέως φάσματος παραγόντων. Η απόλυτη αφθονία στους ωκεανούς των μη κλαστικών και μη βιογενών ιζημάτων, όπως αυτά που συνίστανται κύρια από αυτογενή ορυκτά (Ζεόλιθοι-μικροκόνδυλοι Μη κ.λ.π.), είναι

κύρια συνάρτηση του βάθους της ωκεάνιου λεκάνης και της απόστασης από τις γειτονικές ηπείρους. Τα αυτογενή ορυκτά καθιζάνουν πολύ σιγά από διαλύμματα του θαλασσινού νερού και έτσι κάθε άλλο διαφορετικό υλικό που καθιζάνει στο θαλάσσιο βυθό ουσιαστικά τα αραιώνει. Ιζήματα του παραπάνω τύπου είναι έτσι περισσότερο άφθονα σε περιοχές των ωκεανών που βρίσκονται κάτω από το C.C.D. μακριά από περιοχές υψηλής βιολογικής δραστηριότητας και όπου η ιζηματογέννεση των ηπειρωτικής προέλευσης υλικών είναι χαμηλή. Η μεγαλύτερη περιοχή του Ν.Ειρηνικού ικανοποιεί τις παραπάνω συνθήκες. Η κατανομή των ιζημάτων που σχηματίζονται με το φαινόμενο της ΑΛΜΥΡΟΛΥΣΗΣ (HALMYROLYSIS) περιορίζεται σε εκείνες τις περιοχές όπου έχουμε εκτεταμένες εμφανίσεις υποθαλασσίων ηφαιστειακών πετρωμάτων και όπου το τάχος ιζηματογέννεσης άλλων υλικών είναι χαμηλό. Και πάλι περιοχές τού Ν.Ειρηνικού ικανοποιούν τις παραπάνω συνθήκες. Παρόμοια ιζήματα απαντούν επίσης και σε άλλες ωκεάνιες περιοχές οι οποίες εμφανίζουν έντονη ηφαιστειακή δραστηριότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Δ

ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΤΗΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗΣ

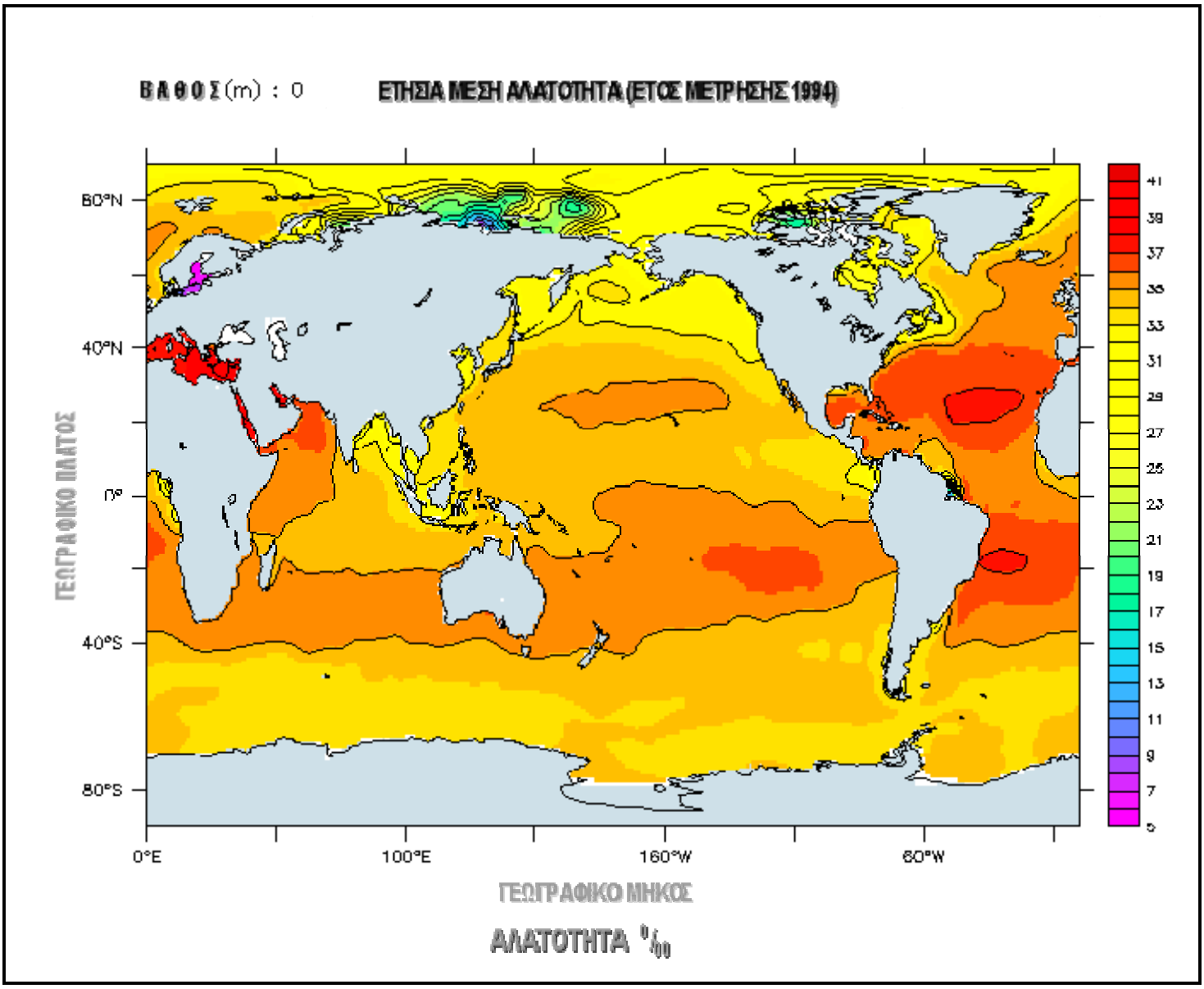
1. ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ-ΟΡΙΣΜΕΝΑ ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΟΝ ΧΗΜΙΣΜΟ ΤΟΥ

1i) ΤΑ ΑΛΑΤΑ –ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΚΑΙ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η αλατότητα του θαλασσινού νερού

Στις μεγάλες ωκεάνιες λεκάνες περίπου το 3.5% σε βάρος του θαλασσινού νερού είναι διαλελυμένα άλατα και το 96.5% είναι νερό. Αυτό σημαίνει ότι σε 1 κιλό θαλασσινού νερού έχουμε 965 gr νερού και 35 gr αλάτων. Η μονάδα μέτρησης των περιεχομένων αλάτων στο θαλασσινό νερό είναι **γραμμάρια άλατος ανά κιλό θαλασσινού νερού (g/kg) ή μέρος ανά χιλιάδα(parts per thousand) (δ).** Η συνολική ποσότητα των διαλελυμένων αλάτων στο θαλασσινό νερό είναι γνωστή σαν **αλατότητα (salinity)** και η μέση αλατότητα του ωκεάνιου θαλασσινού νερού είναι περίπου 35 ^{o}/οο.

Η αλατότητα του επιφανειακού θαλασσινού νερού συνδέεται άμεσα με το γεωγραφικό πλάτος. Αυτό είναι φυσικό αν λάβουμε υπ'όψη μας ότι σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη έχουμε σημαντικές διαφοροποιήσεις στους ρυθμούς εξάτμισης και καταβύθισης στις απορροές φρέσκου νερού από την ξηρά καθώς και στα σημεία πήξης του θαλασσινού νερού ή τήξης των παγωμένων όγκων θαλασσινού νερού. Όλα αυτά επηρεάζουν το ποσοστό διαλελυμένων αλάτων στο θαλασσινό νερό. Έτσι π.χ σε επιφανειακά ωκεάνια νερά ευρισκόμενα σε γεωγραφικό πλάτος 40-50 ^{o} N ή σε νότια γεωγραφικά πλάτη περιοχές με χαμηλές θερμοκρασίες και αρκετές βροχές έχουμε χαμηλά ποσοστά αλατότητας ενώ σε περιοχές των ωκεανών που βρίσκονται σε γεωγραφικό πλάτος 25 ^{o} N και S κοντά στις ζώνες των ερήμων όπου οι βαθμοί εξάτμισης είναι υψηλοί έχουμε υψηλά ποσοστά αλατότητας. Σε παράκτιες περιοχές που έχουμε υψηλή εξάτμιση και σημαντικές απορροές φρέσκου νερού από τους ποταμούς οι αλατότητες των επιφανειακών θαλασσίων νερών πέφτουν κάτω από τον μέσο όρο. Αντίθετα σε υποτροπικές περιοχές που συνήθως έχουμε υψηλά ποσοστά εξάτμισης και χαμηλές απορροές φρέσκου νερού από την ξηρά και ιδιαίτερα σε σχετικά κλειστές θαλάσσιες λεκάνες όπως είναι η ερυθρά θάλασσα ή ο Περσικός κόλπος και η Μεσόγειος θάλασσα τα ποσοστά αλατότητας είναι υψηλά πάνω από τον μέσο όρο και κυμαίνονται από 40-42 ο/οο στην Ερυθρά θάλασσα και Περσικό κόλπο και 39 ο/οο στην Μεσόγειο θάλασσα. (ΦΩΤ.Δ1)

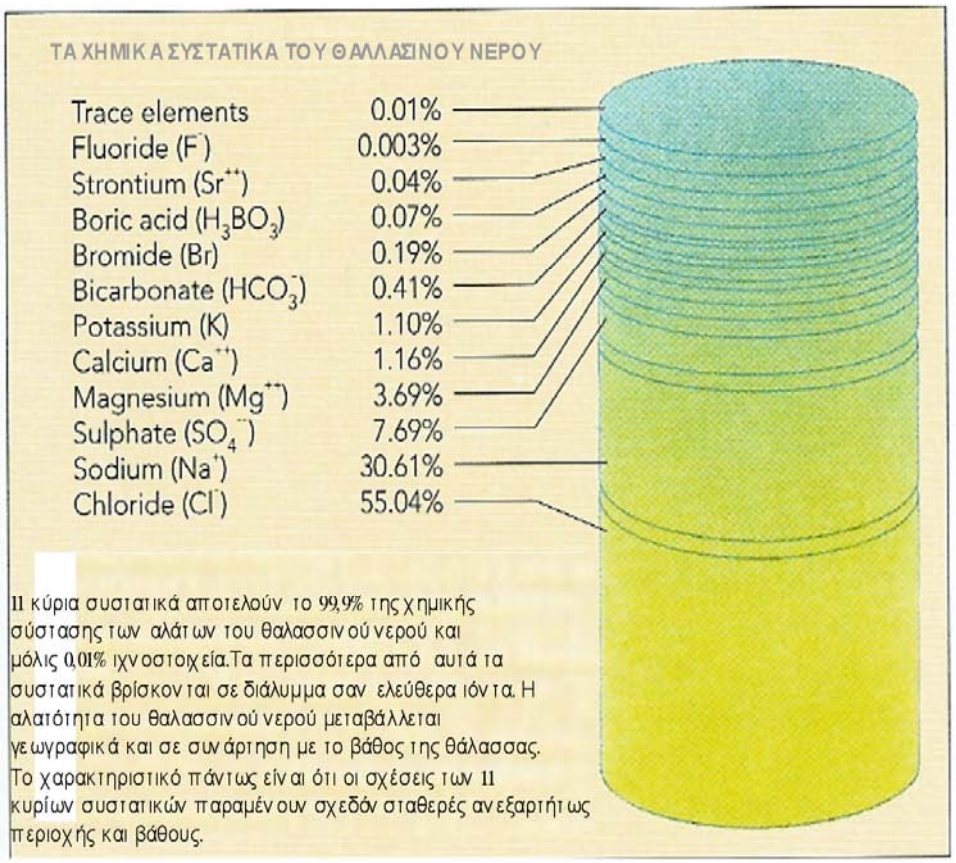


ΦΩΤ.Δ1. Αλατότητα των επιφανειακών νερών στο παγκόσμιο ωκεάνειο σύστημα

Διαλελυμένα άλατα και χημικά στοιχεία στο θαλασσινό νερό

Γνωρίζουμε από την χημεία ότι όταν άλατα προστίθενται στο νερό τα άλατα αυτά διαλύονται. Οι κρύσταλλοι των αλάτων διασπούνται σε ιόντα φορτισμένα θετικά (κατιόντα) ή αρνητικά(ανιόντα). Τα άλατα στο θαλασσινό νερό βρίσκονται κύρια σε μορφή ιόντων. Έτσι π.χ το γνωστό μας επιτραπέζιο αλάτι (NaCl) όταν προστεθεί στο θαλασσινό νερό ακολουθεί η εξής διαδικασία: οι χημικοί δεσμοί μεταξύ των ατόμων σπάζουν και σχηματίζονται κατιόντα Na και ανιόντα Cl ή $NaCl \quad Na^{+} + Cl^{-}$

Έξη ιόντα αποτελούν το 99% των διαλελυμένων αλάτων στο θαλασσινό νερό ενώ τα ιχνοστοιχεία αποτελούν μόλις το 0,1%.(ΦΩΤ.Δ2).



ΦΩΤ.Δ2. Τα χημικά συστατικά του θαλασσινού νερού

Τέσσερα από αυτά είναι κατιόντα: Na^+, Mg^{+2}, Ca^{+2}, K^+ και δύο είναι ανιόντα: Cl^-, SO_4^{-2}. Στον Πίνακα Δ1α. και στην ΦΩΤ.Δ2 παρουσιάζονται τα παραπάνω έξη ιόντα και άλλα έξη. Η σειρά τους αντιστοιχεί στην τάξη μεγέθους περιεκτικότητας με την οποία είναι παρόντα στο θαλασσινό νερό. Αυτά τα 12 ιόντα που δίδονται στον παραπάνω πίνακα καλούνται ***κύρια συστατικά*** του θαλασσινού νερού. Σημειώνουμε επίσης ότι τα ιόντα νατρίου και χλωρίου αποτελούν το 86% των διαλελυμένων αλάτων στο θαλασσινό νερό. Όλα τα άλλα χημικά στοιχεία που είναι διαλελυμένα στο θαλασσινό νερό βρίσκονται σε συγκεντρώσεις ‹ 1ppm(ppb) και καλούνται ιχνοστοιχεία δίδονται δε στον Πίνακα Δ1β.

ΠΙΝΑΚΑΣ Δ1α. ΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ(1)

Στοιχείο	Σύμβολο	Περιεκτικότητα στο θαλασσινό νερό(g/kg)	Βάρος %	
chloride	Cl^-	19.35	55.07	
sodium	Na^+	10.76	30.62	
sulfate	SO_4^{2-}	2.71	7.72	99.36
magnesium	Mg^{2+}	1.29	3.68	
calcium	Ca^{2+}	0.41	1.17	
potassium	K^+	0.39	1.10	
bicarbonate	HCO_3^-	0.14	0.40	
bromide	Br^-	0.067	0.19	
strontium	Sr^{2+}	0.008	0.02	
boron	B^{3+}	0.004	0.01	
fluoride	F^-	0.001	0.01	
Σύνολο			99.99	

Από Riley & Skirrow, Chemical Oceanography Vol.1 (1975)

ΠΙΝΑΚΑΣ Δ1β. ΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ(1)

Στοιχείο	Σύμβολο	Περιεκτικότητα(ppb ή μg/kg)	Στοιχείο	Σύμβολο	Περιεκτικότητα(ppb ή μg/kg)
aluminum	Al	5.4×10^{-1}	manganese	Mn	3×10^{-2}
antimony	Sb	1.5×10^{-1}	mercury	Hg	1×10^{-3}
arsenic	As	1.7	molybdenum	Mo	1.1×10^{1}
barium	Ba	1.37×10^{1}	nickel	Ni	5×10^{-1}
bismuth	Bi	$\leq 4.2 \times 10^{-5}$	niobium	Nb	$\leq (4.6 \times 10^{-3}$
cadmium	Cd	8×10^{-2}	protactinium	Pa	5×10^{-6}
cerium	Ce	2.8×10^{-3}	radium	Ra	7×10^{-8}
cesium	Cs	2.9×10^{-1}	rubidium	Rb	1.2×10^{2}
chromium	Cr	2×10^{-1}	scandium	Sc	6.7×10^{-4}
cobalt	Co	1×10^{-3}	selenium	Se	1.3×10^{-1}
copper	Cu	2.5×10^{-1}	silver	Ag	2.7×10^{-3}
gallium	Ga	2×10^{-2}	thallium	Tl	1.2×10^{-2}
germanium	Ge	5.1×10^{-3}	thorium	Th	$(1 \times 10^{-2}$
gold	Au	4.9×10^{-3}	tin	Sn	5×10^{-4}
indium	In	1×10^{-4}	titanium	Ti	$< (9.6 \times 10^{-1}$
iodine	I	5×10^{1}	tungsten	W	9×10^{-2}
iron	Fe	6×10^{-2}	uranium	U	3.2
lanthium	La	4.2×10^{-3}	vanadium	V	1.58
lead	Pb	2.1×10^{-3}	yttrium	Y	1.3×10^{-2}
lithium	Li	1.7×10^{2}	zinc	Zn	4×10^{-1}
			rare earths		$(0.5–3.0) \times 10^{-3}$

(1) Δεν περιλαμβάνονται θρεπτικά συστατικά και αέρια
Από Riley & Chester, Chemical Oceanography Vol.8 (1983)

Μερικά από τα παραπάνω ιχνοστοιχεία είναι πολύ σημαντικά για τον βιολογικό κύκλο θαλασσίων οργανισμών οι οποίοι έχουν την δυνατότητα να προσλαμβάνουν τα ιχνοστοιχεία αυτά υπό μορφή ιόντων. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των κυρίων συστατικών του θαλασσινού νερού είναι ότι οι μεταξύ τους αναλογίες είναι σταθερές και ανεξάρτητες από την μεταβολή της αλατότητας ενώ κατά κανόνα δεν απομακρύνονται ή προστίθενται στο θαλασσινό νερό από ζώντες οργανισμούς. Για τον λόγο αυτό τα παραπάνω συστατικά ονομάζονται και ***συντηρητικά συστατικά*** σε αντίθεση με πολλά ιχνοστοιχεία ή οργανικά μόρια ή διαλελυμένα αέρια των οποίων οι συγκεντρώσεις μεταβάλλονται συχνά σε συνάρτηση με τις χημικές και βιολογικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα στους ωκεανούς. Αυτού του είδους τα συστατικά ονομάζονται ***μη–συντηρητικά***.

Η προέλευση των αλάτων στο θαλασσινό νερό

Η αρχική προέλευση των θαλασσίων αλάτων ανάγεται στον φλοιό και το εσωτερικό της Γης. Η χημική σύσταση των πετρωμάτων του φλοιού είναι υπεύθυνη για τα πλείστα των κατιόντων που υπάρχουν στο θαλασσινό νερό. Μεγάλες ποσότητες τέτοιων κατιόντων υπάρχουν στα πυριγενή πετρώματα. Η χημική και φυσική αποσάθρωση των πετρωμάτων αυτών για μεγάλες γεωλογικές περιόδους διασπά τα πετρώματα αυτά ενώ η βροχή διαλύει αυτά τα κατιόντα τα οποία έτσι μεταφέρονται στις θάλασσες κυρίως μέσω των ποταμών. Τα ανιόντα είναι συνηθέστατα παρόντα στο εσωτερικό της Γης κύρια στον μανδύα ενώ υπάρχουν πολλές ενδείξεις ότι ήταν παρόντα σε σημαντικές ποσότητες στην αρχική ατμόσφαιρα της Γης. Κάποια ανιόντα επίσης "ξεπλένονται" από την ατμόσφαιρα της Γης στην διάρκεια μακρών περιόδων βροχών. Πάντως η σημαντικότερη και πιθανότερη πηγή των ανιόντων υπήρξε ο μανδύας. Στην διάρκεια σχηματισμού της Γης αέρια από τον μανδύα πιστεύεται ότι έδωσαν σημαντικές ποσότητες ανιόντων στους νέο-σχηματιζόμενους ωκεανούς.

Από την άλλη πλευρά αέρια που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα της Γης από τις εκρήξεις ηφαιστείων (π.χ υδρογόνο, υδρόθειο διοξείδιο του θείου και χλωριούχες ενώσεις) διαλύονται στο νερό της βροχής ή στα νερά των ποταμών και μεταφέρονται στους ωκεανούς σαν ανιόντα χλωρίου ή θεϊκών ενώσεων π.χ Cl^- , SO_4^{-2}. Νερά με περιεκτικότητες τέτοιων ανιόντων γίνονται όξινα και στο πέρασμά τους διαβιβρώσκουν και τελικά διαλύουν τα πετρώματα των περιοχών από τις οποίες περνούν βοηθώντας έτσι στην απελευθέρωση σημαντικών ποσοτήτων κατιόντων που τελικά καταλήγουν στη θάλασσα.

Είναι πολύ χαρακτηριστικό το γεγονός ότι μελετώντας την χημική σύσταση των νερών των σημερινών ποταμών(Πίνακας Δ1γ.) παρατηρούμε ότι τα ιόντα που έχουν τις υψηλότερες περιεκτικότητες στα νερά των θαλασσών (Πίνακας Δ1α.) έχουν τις χαμηλότερες. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι ρέοντες ποταμοί αρχικά σε προηγούμενες γεωλογικές περιόδους παρέσυραν και μετέφεραν τα πλέον ευδιάλυτα άλατα των χερσαίων περιοχών ενώ σήμερα μεταφέρουν εν διαλύσει τα πλέον δυσδιάλυτα άλατα. Φυσικά αυτά ισχύουν εκεί που δεν υπάρχουν ανθρωπογενείς επιδράσεις π.χ στις περιπτώσεις εκτεταμένων αρδεύσεων.

ΠΙΝΑΚΑΣ Δ1γ. ΜΕΣΕΣ ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΕΣ ΑΛΑΤΩΝ ΣΤΑ ΝΕΡΑ ΤΩΝ ΠΟΤΑΜΩΝ

ΙΟΝΤΑ	ΣΥΜΒΟΛΑ	% ΑΝΑ ΒΑΡΟΣ
bicarbonate	HCO_3^-	48.7
calcium	Ca^{2+}	12.5
silicon dioxide (nonionic)	SiO_2	10.9
sulfate	SO_4^{2-}	9.3
chloride	Cl^-	6.5
sodium	Na^+	5.2
magnesium	Mg^{2+}	3.4
potassium	K^+	1.9
oxides (nonionic)	$(Fe, Al)_2O_3$	0.8
nitrate	NO_3^-	0.8
ΣΥΝΟΛΟ		**100**

ΠΗΓΗ: ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΗΠΑ

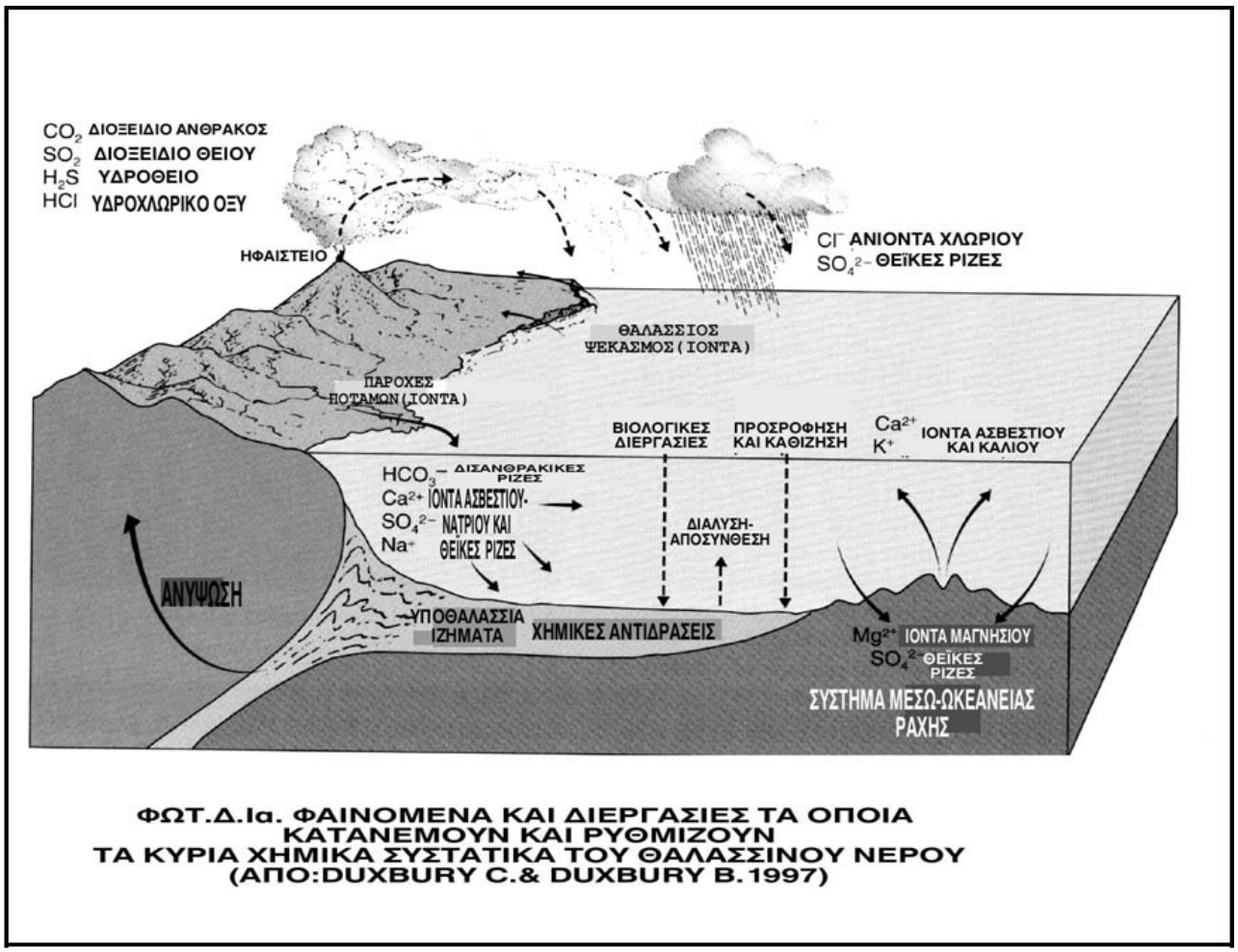
Πέραν όλων των παραπάνω πηγών είναι ήδη γνωστό ότι στην διάρκεια της αλληλοεπίδρασης υποθαλασσίων υδροθερμικών διαλυμάτων με το θαλασσινό νερό λειτουργούν χημικές αντιδράσεις οι οποίες έχουν σαν αποτέλεσμα αφ' ενός μεν να αφαιρούνται κάποια χημικά στοιχεία από το θαλασσινό νερό αφ' εταίρου δε να του προστίθενται κάποια άλλα. Η υδροθερμική δραστηριότητα η οποία είναι αρκετά εκτεταμένη κατά μήκος των ενεργών μέσω-ωκεάνιων ράχεων φαίνεται ότι παίζει σημαντικό ρόλο σε ότι αφορά την σταθεροποίηση της χημικής σύστασης των αλάτων του θαλασσίου νερού. Το φαινόμενο της διείσδυσης ζεστού μάγματος στον χαμηλών θερμοκρασιών ωκεάνιο φλοιό κατά μήκος των ενεργών μέσο-ωκεάνιων ράχεων έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία ρηγματώσεων και διακλάσεων με αποτέλεσμα σημαντικό τμήμα του να γίνεται διαπερατό. Παράλληλα η πίεση της στήλης του θαλασσινού νερού πάνω από τον θαλάσσιο πυθμένα(υπάρχει αύξηση 1 ατμόσφαιρας για κάθε 10 μ. αύξησης του βάθους της θάλασσας) ωθεί το θαλασσινό νερό να εισέλθει στις σχισμές και έγκοιλα του θραυσμένου ήδη φλοιού(ιδιαίτερα το ανώτερο τμήμα του) όπου θερμαίνεται κάτω από υψηλή πίεση σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Ενώ η αλατότητα του θαλασσινού νερού που διεισδύει στον φλοιό είναι σχετικά σταθερή σε παγκόσμιο επίπεδο το εξαλλοιωμένο πλέον νερό που εξέρχεται από τα υδροθερμικά στόμια(ανοίγματα) μετά την αλληλοεπίδραση του θαλασσινού νερού με τα μαγματικά ρευστά και τα ηφαιστειακά πετρώματα έχει αλατότητα που δυνατόν να είναι διπλάσια της αρχικής.

Η ρύθμιση του ισοζυγίου των αλάτων στο θαλασσινό νερό

Γνωρίζουμε ήδη από την ηλικία των παλαιοτέρων θαλασσίων ιζημάτων ότι οι ωκεανοί υπήρχαν στον πλανήτη μας εδώ και 3.5 δισεκατομ. χρόνια. Παράλληλα χημικά και γεωλογικά δεδομένα από πετρώματα και κοιτάσματα ορυκτών αλάτων αποδεικνύουν σήμερα ότι η χημική σύνθεση των ωκεανών σε άλατα και επομένως η αλατότητα τους είναι αμετάβλητη για τελευταία τουλάχιστον 1.5 δισεκατομ. χρόνια.

Το συνολικό ποσό των διαλελυμένων υλικών στους ωκεανούς του πλανήτη υπολογίζεται περίπου στα $5x10^{22}$ gr. για θαλασσινό νερό αλατότητας 36‰.Κάθε χρόνο προστίθενται στους ωκεανούς από τις χέρσους κύρια μέσω των ποταμών περίπου $2.5x10^{15}$ gr. ή περίπου 0.000005% των συνολικών διαλελυμένων αλάτων των ωκεανών. Εάν υποθέσουμε ότι οι ποταμοί εκβάλουν στις θάλασσες με σταθερούς ρυθμούς για τα τελευταία 3.5 δισεκατομ. χρόνια φθάνουμε στο συμπέρασμα ότι η συνολική μάζα των διαλελυμένων υλικών που εισήλθαν στους ωκεανούς με αυτή την διαδικασία είναι μεγαλύτερη από αυτή που σήμερα έχει μετρηθεί. Είναι φανερό επομένως ότι για να έχουν οι ωκεανοί την ίδια αλατότητα για τόσο σημαντικό χρονικό διάστημα το τάχος πρόσθεσης αλάτων από τους ποταμούς πρέπει να εξισορροπείται από την απομάκρυνση αλάτων, με λίγα λόγια η εισαγόμενη ποσότητα πρέπει να ισοφαρίζει την απομακρυνόμενη.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι απομάκρυνσης αλάτων από το θαλασσινό νερό που περιγράφονται στην **ΦΩΤ. Δ3**. όπου συνοπτικά εμφανίζονται όλοι τρόποι εισόδου και απομάκρυνσης διαλελυμένων αλάτων στους ωκεανούς.



ΦΩΤ.Δ.Ια. ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΚΑΤΑΝΕΜΟΥΝ ΚΑΙ ΡΥΘΜΙΖΟΥΝ ΤΑ ΚΥΡΙΑ ΧΗΜΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟΥ ΝΕΡΟΥ (ΑΠΟ:DUXBURY C.& DUXBURY B. 1997)

ΦΩΤ.Δ3. Φαινόμενα και διεργασίες τα οποία κατανέμουν και ρυθμίζουν τα βασικά χημικά χαρακτηριστικά του θαλασσινού νερού

Οι κυριότεροι μηχανισμοί της απομάκρυνσης αλάτων από το θαλασσινό νερό είναι:

1.Ο ψεκασμός της ξηράς που η θάλασσα προκαλεί εξ' αιτίας των κυμάτων πολύ συχνά δημιουργεί στρώματα αλάτων στην ξηρά. Τα άλατα αυτά ξαναγυρίζουν στην θάλασσα λόγω της απορροής των ποταμών προς την θάλασσα.

2.Στην διάρκεια των γεωλογικών αλάτων τμήματα θαλασσών για διαφόρους λόγους απομονώθηκαν από τους άλλους ωκεανούς το νερό τους εξατμίσθηκε και έμειναν τα άλατα στην ξηρά που σήμερα είναι γνωστά σαν κοιτάσματα εβαποριτών.

3. Τα ιόντα των αλάτων δυνατόν να αντιδράσουν μεταξύ τους και να σχηματίσουν αδιάλυτα προϊόντα τα οποία καθιζάνουν στους βυθούς των ωκεανών.

4. Βιολογικές διεργασίες συγκεντρώνουν άλατα τα οποία απομακρύνονται από το θαλασσινό νερό και συλλέγονται από τους θαλασσίους οργανισμούς για τις ανάγκες ανάπτυξής των. Μετά τον θάνατο των οργανισμών αυτών τα συστατικά τους ενσωματώνονται στα επιφανειακά υποθαλάσσια ιζήματα. Άλλες βιολογικές διεργασίες απομακρύνουν ιόντα ασβεστίου (Ca^{+2}) από το θαλασσινό νερό λόγω της

ενσωμάτωσης των στα κελύφη οργανισμών. Τα κελύφη αυτά μετά τον θάνατο των οργανισμών αυτών διαλύονται και ενσωματώνονται στα υποθαλάσσια ιζήματα.

5. Ένα χημικό φαινόμενο **η προσρόφηση** , η προσκόλληση δηλαδή ιόντων και μορίων στις ενεργές επιφάνειες σωματιδίων απομακρύνει σημαντικές ποσότητες ιόντων και μεγάλο-μορίων από το θαλασσινό νερό. Μέσω της διαδικασίας αυτής μικροσκοπικά σωματίδια αργιλλοπυριτικών ορυκτών(clay minerals) τα οποία είναι προϊόντα διάβρωσης πετρωμάτων μεταφέρονται στους ωκεανούς μέσω των ανέμων και των ποταμών και "δένουν" ιόντα (π.χ K^{+}) ή μέταλλα στις ενεργές τους επιφάνειες. Τα ιόντα αυτά μαζί με τα μικροσκοπικά σωματίδια αργιλλοπυριτικών ορυκτών καταβυθίζονται στον θαλάσσιο πυθμένα και ενσωματώνονται στα υποθαλάσσια ιζήματα. Ιόντα που έχουν ικανότητα ισχυρής προσρόφησης αντικαθιστούν ιόντα με μειωμένη ικανότητα προσρόφησης στις ενεργές επιφάνειες σωματιδίων. Το φαινόμενο αυτό καλείται **ανταλλαγή ιόντων**. Επομένως μικροσκοπικά σωματίδια αργιλλοπυριτικών ορυκτών ή ιζήματα προσροφούν και ανταλλάσσουν κάποια ιόντα ευκολότερα σε σχέση με κάποια άλλα με αποτέλεσμα να υπάρχουν χαμηλότερες συγκεντρώσεις ιόντων στο θαλασσινό νερό που προσροφόνται ευκολότερα σε σχέση με ιόντα που προσροφόνται δυσκολότερα. Έτσι π.χ τα ιόντα Καλίου είναι πολύ ευκολότερα προσροφόμενα από τα ιόντα νατρίου και έτσι το K^{+} εμφανίζει χαμηλότερες συγκεντρώσεις στο θαλασσινό νερό σε σχέση με το Na^{+}. Παράλληλα μέταλλα όπως Ni,Co,Zn και Cu προσροφόνται σε κονδύλους που σχηματίζονται στους πυθμένες των ωκεανών. Συχνά επίσης κοπρολιθικά σφαιρίδια ή τμήματα σκελετού θαλασσίων οργανισμών δρουν Σα επιφάνειες προσρόφησης ιόντων. Και στις περιπτώσεις αυτές ιόντα απομακρύνονται από το θαλασσινό νερό και μεταφέρονται στα ιζήματα.

Η διαδικασία της υποθαλάσσιας ηφαιστειότητας, της υδροθερμικής δραστηριότητας και της δημιουργίας νέου ωκεάνιου φλοιού κατά μήκος των ενεργών μέσω-ωκεάνιων ράχεων συνεισφέρει σημαντικά στον εμπλουτισμό ή αφαίρεση ιόντων στο θαλασσινό νερό. Ο νεοσχηματιζόμενος ωκεάνιος φλοιός έχει συνηθέστατα εκτεταμένα συστήματα διακλάσεων και ρηγματώσεων και μάλιστα σε βάθος κάποιων χιλιομέτρων. Έτσι το ψυχρό θαλάσσιο νερό εισχωρεί σε μεγάλα βάθη(κάποιων χιλιομέτρων) εντός του ωκεάνιου φλοιού αυτών των συστημάτων διακλάσεων – ρηγματώσεων και θερμαίνεται έντονα από την υποκείμενη μαγματική πηγή. Η μεταφορά θερμότητας στο θαλασσινό νερό δημιουργεί έντονα ανοδικά ρεύματα. Έτσι το θερμό πλέον θαλάσσιο νερό εμπλουτισμένο και με άλλα μαγματικά ρευστά πολλές φορές, ανέρχεται προς τα ανώτερα τμήματα του φλοιού αντιδρώντας χημικά καθ' όλο το μήκος της διαδρομής του με τα πυριγενή πετρώματα του ωκεάνιου φλοιού δημιουργώντας έτσι νέες ορυκτές φάσεις. Στην διάρκεια αυτής της χημικής αλληλοεπίδρασης ιόντα μαγνησίου Mg^{+2} αφαιρούνται από το θαλασσινό νερό και μεταφέρονται στις νεοσχηματιζόμενες ορυκτές φάσεις ενώ παράλληλα απελευθερώνονται ιόντα υδρογόνου H^{+} στο θαλασσινό νερό το οποίο γίνεται πιο όξινο. Αυτές οι χημικές αλληλοεπιδράσεις έχουν όμως και ένα άλλο αποτέλεσμα.Τα ιόντα θεϊκών ριζών(SO_4^{-2}) που βρίσκονται σε υψηλές περιεκτικότητες στο θαλασσινό νερό μετατρέπονται σε θείο(S) και κατόπιν σε υδρόθειο (H_2S). Έτσι το θαλασσινό νερό γίνεται πολύ όξινο. Αυτό το όξινο πλέον νερό διαλύει και απελευθερώνει από τον ωκεάνιο φλοιό στο διάλυμα σειρά μετάλλων κύρια Cu, Fe, Mn, Zn, K και Ca. Έχει υπολογισθεί ότι όγκος θαλασσίου νερού ισοδύναμος με την όλη μάζα του θαλασσινού νερού των ωκεανών κυκλοφορεί μέσω του ωκεάνιου φλοιού κατά μήκος των ενεργών μέσω-ωκεάνιων ράχεων κάθε 10 εκατομ.χρόνια.

Το φαινόμενο της **προσρόφησης** που περιγράψαμε παραπάνω είναι σημαντικό για την

προσθαφαίρεση ιόντων στο θαλασσινό νερό. Παρ' όλα αυτά το φαινόμενο της προσρόφησης που προαναφέραμε είναι το πλέον σημαντικό σε ότι αφορά την αφαίρεση ιόντων και στοιχείων από το θαλασσινό νερό. Μέσω του φαινομένου αυτού ιόντα του θαλασσινού νερού προσροφόνται στις ενεργές επιφάνειες λεπτόκοκκων σωματιδίων(κυρίως αργιλλοπυριτικών ορυκτών μεγέθους ‹2μ.) και ενσωματώνονται στα υποθαλάσσια ιζήματα. Δεν έχουν την δυνατότητα επιστροφής ή αναδιάλυσης στο θαλασσινό νερό. Αυτό μπορεί να γίνει μόνο στην περίπτωση φαινομένων γεωλογικής ανύψωσης τέτοιων ιζηματολογικών σχηματισμών πάνω από ην επιφάνεια της θάλασσας. Στην περίπτωση αυτή μέσω του φαινομένου της διάβρωσης και αποσάθρωσης και μέσω των ρεόντων υδάτων πολλά από αυτά τα στοιχεία και ιόντα εισέρχονται ξανά στο θαλασσινό νερό.

Χρόνος Παραμονής

Η σχετική περιεκτικότητα των αλάτων και ιόντων στο θαλασσινό νερό είναι συνάρτηση αφ' ενός μεν της ευκολίας με την οποία εισάγονται στη θάλασσα από τον φλοιό της Γης αφ' ετέρου δε από το τάχος με το οποίο με τους μηχανισμούς που ήδη περιγράψαμε απομακρύνονται από το θαλασσινό νερό. Έτσι π.χ το Na ενώ έχει μια μέτρια περιεκτικότητα στο φρέσκο νερό , στη θάλασσα αντιδρά σε χαμηλούς ρυθμούς με άλλα συστατικά και έτσι παραμένει εν διαλύσει στο θαλασσινό νερό σε υψηλές περιεκτικότητες. Παράλληλα το Ca απομακρύνεται γρήγορα από το θαλασσινό νερό λόγω του σχηματισμού ασβεστολίθων ή της ενσωμάτωσης του στα κελύφη μικροοργανισμών.

ΠΙΝΑΚΑΣ Δ1δ. ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ(κατά προσέγγιση) ΩΡΙΣΜΕΝΩΝ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΝ ΙΟΝΤΩΝ ΣΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ

ΙΟΝΤΑ	ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ (ΣΕ ΕΤΗ)
sodium	260 million
chloride	79 million
magnesium	45 million
potassium	11 million
sulfate	8 million
calcium	8 million
manganese	1.4 thousand
iron	1.4 hundred
aluminum	1 hundred

Πηγή: Goldberg E.P. Chemical Oceanography, Vol.1, Riley and Skirrow editors.Academic Press London 1965.

Ο μέσος χρόνος στην διάρκεια του οποίου ένα συστατικό(στοιχείο ή ιόν) παραμένει εν διαλύσει στο θαλασσινό νερό καλείται **Χρόνος Παραμονής**. Ο μέσος χρόνος παραμονής στο θαλασσινό νερό μερικών σημαντικών ιόντων δίδεται στον Πίνακα Δ1δ. Από τον Πίνακα αυτόν μπορούμε να εξάγουμε κάποια σημαντικά συμπεράσματα:

1. Ιόντα όπως τα Al,Fe,Cr έχουν μικρούς χρόνους παραμονής χιλιάδων ή εκατοντάδων χρόνων ,στο θαλασσινό νερό. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ιόντα αυτά αντιδρούν γρήγορα με άλλα συστατικά στο θαλασσινό νερό και σχηματίζουν αδιάλυτες ορυκτές φάσεις οι οποίες ενσωματώνονται στα ιζήματα.

2. Αντίθετα ιόντα όπως τα Na,K,Mg είναι πολύ ευδιάλυτα στο θαλασσινό νερό και έτσι έχουν αρκετά μεγάλους χρόνους παραμονής στο θαλασσινό νερό κάποιων εκατομμυρίων ετών.

Ο τρόπος υπολογισμού του χρόνου παραμονής ενός ιόντος στο θαλασσινό νερό προσδιορίζεται ως εξής:

Α) Υπολογίζουμε την συνολική μάζα(βάρος) του ιόντος στους ωκεανούς πολλαπλασιάζοντας την συγκέντρωση του ιόντος/ κιλό θαλασσινού νερού με την συνολική μάζα των ωκεανών, δηλαδή:

$$\textbf{Συνολική μάζα ιόντος(σε Kgr.)} = \frac{\textbf{Συγκέντρωση ιόντος}}{\textbf{Kgr. θαλασσινού νερού x Συνολική μάζα ωκεανών(σε Kgr)}}$$

Β) Υπολογίζουμε το τάχος της εισαγόμενης ποσότητας του ιόντος στους ωκεανούς πολλαπλασιάζοντας την συγκέντρωση του ιόντος στα νερά των ποταμών με τον όγκο των νερών των ποταμών που εισέρχονται στο παγκόσμιο ωκεάνιο σύστημα και κατά προσέγγιση είναι 37,000 km^3 /έτος, δηλαδή:

$$\textbf{Τάχος εισαγόμενης ποσότητας(Kgr./έτος)} = \frac{\textbf{Συγκέντρωση 1 Kgr Ιόντος}}{\textbf{1 km3 νερού ποταμού x 37,000 km3/έτος}}$$

Γ) Δεδομένου ότι η συγκέντρωση των ιόντων στο θαλασσινό νερό είναι σχεδόν σταθερή συναρτήσει του χρόνου κάνουμε την παραδοχή ότι η εισαγόμενη ποσότητα ιόντων από τους ποταμούς στους ωκεανούς ισούται με την ποσότητα απώλειας ιόντων από το θαλασσινό νερό προς τα ιζήματα, δηλαδή:

Εισαγόμενη ποσότητα(kgr/έτος)= Αποδιδόμενη στα ιζήματα ποσότητα(kgr/έτος)

Δ) Ο ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ υπολογίζεται από την διαίρεση της συνολικής μάζας(βάρος) του ιόντος στους ωκεανούς(Α) με το τάχος της εισαγόμενης ποσότητας του ιόντος στους ωκεανούς (Β) (που ισούται με το τάχος απώλειας ιόντων από το θαλασσινό νερό) δηλαδή:

$$\textbf{ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΡΑΜΟΝΗΣ(σε έτη)} = \frac{\textbf{Συνολική μάζα ιόντος σε(Kgr)}}{\textbf{Τάχος εισαγόμενης πρός ή απώλειας ιόντος από τα ωκεάνια νερά(Kgr./έτος)}}$$

Η αρχή της σταθερής χημικής σύνθεσης του θαλασσινού νερού

Το θαλασσινό νερό είναι ένα πολύ καλό μικτό διάλυμα. Ρεύματα και στροβιλισμοί στα επιφανειακά αλλά και βαθύτερα ωκεάνια νερά,κάθετοι μηχανισμοί ανάμιξης νερών η δράση κυμάτων και παλιρροιών είναι «υπεύθυνα» για την πολύ καλή ανάμιξη των ωκεάνιων νερών δια μέσου των γεωλογικών αιώνων. Εξ ‘ αιτίας αυτής της πολύ καλής ανάμιξης η συγκέντρωση ιόντων στα νερά των ανοικτών ωκεανών είναι η ίδια από μέρος σε μέρος και σε διαφορετικά βάθη. Έτσι η σχέση ενός από τα κύρια ιόντα του θαλασσινού νερού προς ένα άλλο παραμένει σταθερή. Ανεξάρτητα από το γεγονός αν η αλατότητα του ανοικτού ωκεάνιου νερού είναι 40‰ ή 28‰ τα κύρια ιόντα συνυπάρχουν στο θαλασσινό νερό στις ίδιες αναλογίες. Αυτή είναι η λεγόμενη αρχή της **σταθερής αναλογίας ή**

σταθερής σύστασης του θαλασσινού νερού η οποία πολύ απλά λέγει ότι ανεξάρτητα από τις μεταβολές της αλατότητας οι σχέσεις μεταξύ των κυρίων ιόντων των ανοικτών θαλασσίων νερών παραμένουν σταθερές.

Εδώ πρέπει να επισημανθεί ότι αναφερόμαστε στα νερά των ανοικτών θαλασσών, δεν αναφερόμαστε σε παράκτιες περιοχές όπου οι ποταμοί δυνατόν να μεταφέρουν στις περιοχές αυτές τεράστιες ποσότητες διαλελυμένων υλικών ελαττώνοντας έτσι την αλατότητα σε πολύ χαμηλά μεγέθη.

Από την άλλη πλευρά οι σχέσεις *των* ***ιχνοστοιχείων του θαλασσινού νερού*** **είναι μεταβαλλόμενες** και όχι σταθερές. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στο ότι τα ιόντα αυτά συνδέονται στενά με τους κύκλους ζωής των θαλασσίων οργανισμών. Έτσι θαλάσσιοι ζώντες οργανισμοί αφαιρούν ιόντα από το θαλασσινό νερό κατά την περίοδο ανάπτυξης και αναπαραγωγής, μειώνοντας έτσι προσωρινά τις ποσότητες τέτοιων ιόντων στο θαλασσινό νερό. Αργότερα όταν κλείνει ο κύκλος ζωής αυτών των οργανισμών αυτοί καταβυθίζονται στους πυθμένες των θαλασσών αποσυντίθενται και απελευθερώνουν τέτοιου είδους ιόντα στο θαλασσινό νερό ή τα υποκείμενα ιζήματα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ε

ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΠΟΥ ΟΔΗΓΟΥΝ ΣΤΗΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΜΕΤΑΛΛΟΓΕΝΕΣΗ

Χημικά στοιχεία που εισέρχονται στους ωκεανούς και λίμνες, συνήθως είναι παρόντα σε χαμηλές συγκεντρώσεις. Σπάνια μόνο, π.χ. σε μερικά υδροθερμικά διαλύματα υπάρχουν στοιχεία που εισάγονται σε υδατικό περιβάλλον σε συγκεντρώσεις τόσο ψηλές που να είναι αρκετές να σχηματίσουν ένα μεταλλοφόρο κοίτασμα υψηλών περιεκτικοτήτων σε μέταλλα σαν αποτέλεσμα αμέσου καθίζησης. Επομένως μερικά εκλεκτικά φαινόμενα συγκέντρωσης μετάλλων είναι απαραίτητα για να σχηματίσουν τα λοιπά υποθαλάσσια, και πολύ σπανιότερα υπολιμναία κοιτάσματα.
Τα κυριότερα από αυτά τα φαινόμενα είναι:

Ο εκλεκτικός κοκομμετρικός διαχωρισμός(selective sorting) των λεπτομερών κλαστικών υλικών
Η εκλεκτική απόπλυση (selective leaching)
Ο αποχωρισμός και συγκέντρωση στοιχείων από διαλύματα
Τα φαινόμενα τής διαγέννεσης ή μεταδιαγεννετικών διαδικασιών

I. *ΕΚΛΕΚΤΙΚΟΣ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΟΣ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ (SELECTIVE SORTING)*

Ο εκλεκτικός κοκκομετρικός διαχωρισμός με βοήθεια μηχανικής δράσης είναι ο κύριος τρόπος εμπλουτισμού ορυκτών σε κλαστικά κοιτάσματα Ο.Π.Υ. όπως είναι τα προσχωματικά κοιτάσματα (placers) και συσσωματώματα άλλων βαρέων ορυκτών (aggregates) που εισέρχονται στο υδάτινο διάλυμα υπό στερεά μορφή. Είναι όμως δυνατό να έχουμε συγκέντρωση ορυκτών, με τον παραπάνω τρόπο, από καθίζηση από διαλύματα όπως θα δούμε πιο κάτω τους φωσφορίτες. Τα ορυκτά συγκεντρώνονται εκλεκτικά τότε βάσει ενός φυσικού μηχανισμού ″κοσκινίσματος″ και ″λιχνίσματος″ των πιο λεπτόκοκκων συστατικών που τα συνοδεύουν είτε με φυσική καθίζηση λόγω της βαρύτητας σε περιπτώσεις κύρια μεγάλων κόκκων ορυκτών υψηλού ειδικού βάρους. Μ' αυτό τον τρόπο ορυκτά τα οποία αρχικά ήταν ευρέως διασκορπισμένα σε ένα ίζημα μπορούν να συγκεντρωθούν και να αποτελέσουν μεταλλοφόρο κοίτασμα (ore grade deposit).
Ο μηχανικός κοκκομετρικός διαχωρισμός είναι περισσότερο αποτελεσματικός στις ακρογιαλιές σαν αποτέλεσμα του σπασίματος των κυμάτων στους βράχους και την ξηρά γενικότερα και σε ζώνες κοντά στις ακτές όπου η δράση των κυμάτων είναι σημαντική. Καθώς το βάθος του νερού αυξάνει, το επίπεδο ενέργειας του περιβάλλοντος εναπόθεσης γενικά μειώνεται σαν συνέπεια της μειωμένης δράσης των κυμάτων και οι ευκαιρίες για εκλεκτική συγκέντρωση ορυκτών ελαττώνονται σημαντικά. Φυσικά διαφοροποιήσεις στη διαμόρφωση της υφαλοκρηπίδας και στις πηγές ενέργειας όπως π. χ. τα παλιρροιακά κύματα μπορούν να διαφοροποιήσουν αυτή γενική τάση.
Επιπλέον εξ αιτίας των μεταβολών του επιπέδου της θάλασσας κατά το πρόσφατο γεωλογικό παρελθόν σαν αποτέλεσμα των διαδοχικών περιόδων παγετώνων, το μεγαλύτερο μέρος της σημερινής υφαλοκρηπίδας πέρασε από θαλάσσιες επικλήσεις και υποχωρήσεις οι γραμμές ακτών μεταβλήθηκαν

και έτσι οι συνθήκες που προκαλούν την εναπόθεση προσχωματικών κοιτασμάτων (placer deposition) θα μπορούσαν να υπάρξουν σχεδόν οπουδήποτε στις διάφορες υφαλοκρηπίδες στο παρελθόν. Επομένως υπολείμματα προσχωματικών κοιτασμάτων και συσσωματωμάτων άλλων βαρέων ορυκτών συχνά δυνατόν να βρίσκονται κάτω από συνθήκες που με τα σημερινά δεδομένα δεν θα οδηγούσαν στο σχηματισμό τους.

ΙΙ.ΕΚΛΕΚΤΙΚΗ ΑΠΟΠΛΥΣΗ

Η απόπλυση ορισμένων χημικών στοιχείων, κάτω από συγκεκριμένες φυσικοχημικές συνθήκες, από πετρώματα ή ιζήματα για να σχηματίσουν ένα υπόλειμμα εμπλουτισμένο σε ορισμένα άλλα χημικά στοιχεία είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο στη ξηρά. Οι Λατερίτες αντιπροσωπεύουν ένα καλό παράδειγμα ενός μεταλλοφόρου κοιτάσματος που σχηματίσθηκε μ' αυτό τον τρόπο. Η σημασία του όμως σε υδάτινα περιβάλλοντα είναι πολύ περιορισμένη. Μπορεί να έχει σημασία στην εκλεκτική μετακίνηση πτητικών στοιχείων που συνδέονται με τον σχηματισμό φωσφοριτών οδηγώντας έτσι στον εμπλουτισμό του υπολειμματικού πετρώματος ή ιζήματος σε P_2O_5. Δυνατόν επίσης να έχει σημασία στη βραδεία διάλυση των ηφαιστειακής προέλευσης πυρήνων κονδύλων Mn επιτρέποντας έτσι την αντικατάσταση των πυρήνων αυτών από οξείδια Mn αυξάνοντας έτσι τις περιεκτικότητες μετάλλων στο κοίτασμα.

ΙΙΙ. ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟ ΥΔΑΤΙΝΑ ΔΙΑΛΥΜΜΑΤΑ

Τα χημικά στοιχεία των υποθαλάσσιων (και υπολιμναίων) κοιτασμάτων (εκτός από αυτά των προσχωματικών κοιτασμάτων και συσσωματωμάτων βαρέων ορυκτών) σε κάποιο στάδιο του γεωχημικού τους κύκλου, πέρασαν από κάποια υδατική φάση. Εκτός από τις περιπτώσεις υδροθερμικών διαλυμάτων, η περιεκτικότητα τους σε τέτοια διαλύματα είναι πολύ χαμηλή και επομένως χρειάζεται μια σημαντική συγκέντρωση τους για να σχηματίσουν υποθαλάσσια ή υπολιμναία κοιτάσματα. Η προσρόφηση (Aabsorption) είναι από τους κύριους μηχανισμούς με τον οποίο έχουμε εκλεκτική εκχύλιση χημικών στοιχείων από διαλύματα σε κοιτάσματα αυτογενών ορυκτών και σε λίμνες και σε ωκεανούς. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα της σημασίας του φαινομένου της προσρόφησης στο σχηματικό υποθαλάσσιων κοιτασμάτων οικονομικού ενδιαφέροντος είναι η προσρόφηση Ni, Cu, και Co σε κονδύλους Mn αν και το φαινόμενο αυτό δεν είναι το μοναδικό υπεύθυνο για τις υψηλές συγκεντρώσεις των παραπάνω στοιχείων σε μερικούς κονδύλους. Η προσρόφηση μετάλλων του θαλασσινού νερού από μερικά μεταλλοφόρα ιζήματα δυνατόν να είναι μεγάλης σημασίας στην αύξηση περιεκτικοτήτων τέτοιων μετάλλων σε κοιτάσματα μεταλλοφόρων ιζημάτων όπως θα συζητηθεί αργότερα. Τα οξείδια Mn και Fe είναι οι καλύτεροι απορροφητές μετάλλων και από το φρέσκο και από το θαλασσινό νερό, ενώ οι φωσφορίτες και ορισμένα πυριτικά ορυκτά δυνατόν κατά περίπτωση να παίζουν κάποιο σημαντικό ρόλο στο φαινόμενο της προσρόφησης.

Όπως ήδη προαναφέρθηκε η βιολογική συγκέντρωση είναι ένα άλλο σημαντικό φαινόμενο μέσω του οποίου χημικά στοιχεία εκχειλίζονται εκλεκτικά από διάλυμα πριν ενσωματωθούν σε υποθαλάσσια σχηματιζόμενα κοιτάσματα. Οι υδρόβιοι οργανισμοί έχουν την ικανότητα της εκλεκτικής συγκέντρωσης πολλών χημικών στοιχείων στους ιστούς του σώματος των. Μερικά στοιχεία μάλιστα συγκεντρώνονται σ' αυτούς τους οργανισμούς σε μερικές τάξεις μεγέθους περισσότερο σε σύγκριση με τις κανονικές τους συγκεντρώσεις σε διάλυμα. Τέτοιες συγκεντρώσεις στοιχείων συνήθως παρατηρούνται στα ανώτερα τμήματα των λιμναίων νερών και στους ωκεανούς και οφείλονται στο

πλανκτόν. Οι πλανκτονικοί οργανισμοί μετά το θάνατο τους βυθίζονται και υφίστανται μερική ή τελική διάλυση με αποτέλεσμα τα περιεχόμενα σ' αυτούς χημικά στοιχεία να αποδίδονται στο θαλασσινό νερό ή στο εσωτερικό νερό των πόρων (interstitial water) των ιζημάτων που βρίσκονται πιο κάτω. Όταν έχουμε ιδίως αυτό το τελευταίο φαινόμενο στα εσωτερικά διαλύματα των ιζημάτων δημιουργούνται υψηλές συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων που δυνατόν να οδηγήσουν στη δημιουργία καθίζησης νέων ορυκτών φάσεων καθώς και στην αυξανόμενη "κατακράτηση" ορισμένων μετάλλων στις ορυκτές φάσεις που υπάρχουν ήδη στα ιζήματα. Η βιογενής λοιπόν προέλευση πολλών μετάλλων κύρια μέσω του πλανκτόν και τα περιγραφέντα παραπάνω φαινόμενα είναι σημαντικής σημασίας όχι μόνο στο σχηματισμό των φωσφορικών και των κονδύλων Mn αλλά και στον εμπλουτισμό με ορισμένα μέταλλα των υδροθερμικής προέλευσης μεταλλοφόρων ιζημάτων όπως θα δούμε παρακάτω.

IV. Η ΔΙΑΓΕΝΝΕΣΗ

Η ΔΙΑΓΕΝΝΕΣΗ είναι μια σειρά διαδικασιών μέσω των οποίων τα ιζήματα και τα κοιτάσματα Ο.Π.Υ. υφίστανται χημικές και φυσικές μεταβολές μετά την εναπόθεση τους. Η διαγέννεση δυνατόν να οδηγήσει σε σημαντικά αυξημένες συγκεντρώσεις ορισμένων στοιχείων σε ορυκτά και κατά συνέπεια είναι φαινόμενο μεγάλης σημασίας για τον σχηματισμό μερικών υποθαλάσσιων και υπολιμναίων κοιτασμάτων . Έτσι π.χ. η διαγεννετική αύξηση του περιεχομένου P_2O_5 σε φωσφορίτες είναι ένα παράδειγμα διαγεννετικού εμπλουτισμού, όπως θα δούμε πιο κάτω. Είναι επίσης δυνατό οι αντιδράσεις που συνδέονται με το φαινόμενο της διαγέννεσης να προκαλέσουν την απώλεια μετάλλων από ορισμένα κοιτάσματα. Έτσι π.χ. σε παράκτιες περιοχές όταν οξείδια Fe και κόνδυλοι Mn γενικότερα καλυφθούν από ταχέως συσσωρευμένα ιζήματα τότε δημιουργούνται αναγωγικές συνθήκες γεγονός που οδηγεί στη διάλυση οξειδίων Mn. Έτσι το Mn μεταναστεύει πίσω ξανά στην επιφάνεια όπου παρατηρούνται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις του από πριν, πλην όμως μέταλλα όπως Ni, Cu και Fe παραμένουν πίσω στα ιζήματα σε φάσεις σουλφιδίων ή οργανικών συμπλοκών και έτσι τελικά χάνονται από τους κονδύλους. Αν και στις περισσότερες περιπτώσεις ο διαγεννετικός εμπλουτισμός μετάλλων σε υποθαλάσσια (ή και υπολιμναία κοιτάσματα Ο.Π.Υ.) λαμβάνει χώρα κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά την εναπόθεση τους, διαγεννετική διαφοροποίηση των κοιτασμάτων είναι δυνατή. Έτσι π.χ. η μεταδιαγεννετική ανακρυστάλλωση και αναδιοργάνωση των εσωτερικών μερών κονδύλων Mn δυνατό να οδηγήσει στο σχηματισμό στρωμάτων ή ζωνών που περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις ορισμένων μετάλλων σε σχέση με τον όλο κόνδυλο. Παρόμοια, όπως πιο πάνω, είναι η προοδευτική διάλυση και αντικατάσταση των πυρήνων των κονδύλων από οξείδια Mn-Fe γεγονός πού οδηγεί σε ένα εμπλουτισμό των κοιτασμάτων σε μέταλλα. Τα φαινόμενα μέσω των οποίων έχουν συμπαγοποίηση (compaction) και ανακρυστάλλωση των μεταλλοφόρων ιζημάτων κατά τη διάρκεια της κάλυψης των από άλλα ιζήματα δυνατόν να οδηγήσει στην απομάκρυνση εσωτερικά διαλελυμένων υλικών. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση περιεκτικοτήτων ορισμένων μετάλλων σε τέτοια ιζήματα. Παρομοίως μετά-διαγεννετικές εξαλλοιώσεις κοιτασμάτων φωσφοριτών δυνατόν να οδηγήσουν στην απομάκρυνση πτητικών συστατικών με συνέπεια την αύξηση περιεκτικοτήτων του κοιτάσματος.

V.ΜΕΤΑ-ΔΙΑΓΕΝΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗΣ

Μετά τον σχηματισμό των υποθαλάσσιων ή υπολιμναίων κοιτασμάτων διαδικασίες που οδηγούν στην περαιτέρω συγκέντρωση μετάλλων δυνατόν να συνεχίζονται. Έτσι κοιτάσματα που απαντούν σε

περιοχές της υφαλοκρηπίδας δυνατόν να γνώρισαν επικλήσεις και αποσύρσεις της θάλασσας κατά τη διάρκεια της περιόδου των παγετώνων καθώς και σε μερικές περιπτώσεις ανύψωση και διάβρωση. Τέτοια φαινόμενα μπορούν να οδηγήσουν στην φυσική ανακατανομή κοιτασμάτων και κατά περίπτωση σε περαιτέρω μηχανική συγκέντρωση τους π.χ. (φωσφορίτες προσχωματικά κοιτάσματα). Επιπλέον μετά την ανύψωση και τη διάβρωση η επαναδημιουργία φυσικοχημικών συνθηκών καταλλήλων για περαιτέρω δημιουργία και καθίζηση νέων αυτογενών ορυκτών μπορεί να οδηγήσει κυρία στην αύξηση των περιεκτικοτήτων υπαρχόντων κοιτασμάτων παρά στο σχηματισμό νέων.
Το φαινόμενο της επαναφωσφοροποίησης υπαρχόντων φωσφοριτών είναι ένα παράδειγμα μια τέτοιας διαδικασίας και από ότι φαίνεται συνέβη στους φωσφορίτες του Κρητιδικού και τριτογενούς των παρακτίων περιοχών της Ν.Δ. Αφρικής. Παρομοίως υδροθερμικά διαλύματα πλούσια σε μέταλλα αναδυόμενα μέσω ιζημάτων τα οποία προηγουμένως είχαν εναποτεθεί με τη βοήθεια υδροθερμικής δράσης δυνατόν να αφήσουν ένα ποσοστό των μετάλλων τους αυξάνοντας κατά συνέπεια τις συγκεντρώσεις τέτοιων μετάλλων σε όλο το σύστημα των μεταλλοφόρων ιζημάτων (π.χ. στο κοίτασμα (π.χ. στο κοίτασμα Atlantis II Deep) στην Ερυθρά θάλασσα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΣΤ.

ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ-ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την αυξανόμενη σε παγκόσμιο επίπεδο ζήτηση για νέες ορυκτές πρώτες ύλες και κύρια μέταλλα , νέες προσπάθειες γίνονται για να εντοπιστούν, ερευνηθούν και αξιοποιηθούν και μεταλλα είτε αυτοφυή είτε ευρισκόμενα στα πλέγματα ορυκτών που συνδέονται με προσχωματικά κοιτάσματα.Οπως θα δούμε πιό κάτω τα ορυκτά αυτά θεωρούνται "βαρέα" γιατί γενικά έχουν ειδικό βάρος ›3. παραδείγματα τυπικών ορυκτών που συνδέονται με Π.Κ. και παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον είναι ο αυτοφυής χρυσός, τα αυτοφυή μέταλλα της ομάδοας των πλατινοειδών (Pt,Os,Pd) καθώς και τα : κασσιτερίτης (Sn), χρωμίτης (Cr), βολφραμίτης (W), ρουτίλιο και ιλμενίτης (Ti), ζιρκονίτης.Ωρισμένα ορυκτά Ti & Zr περιέχουν σπάνιες γαίες (Y, Nb κυρίως) μέ οικονομικό συχνά ενδιφέρον.

Οι προσπάθειες για έρευνα και αξιοποίηση προσχωματικών κοιτασμάτων άρχισαν πριν το 1900 καί στην αρχή συγκεντρώθηκαν στην εκμετάλλευση χρυσού και κασσιτερίτη από άμμους ακτών στην Ν. Αμερική καί Ν.Α. Ασία. Η πρώτη πραγματικά εμπορική εξόρυξη Π.Κ. έλαβε χώρα στις ακτές της Αλάσκας στις αρχές αυτού του αιώνα. Από τότε η έρευνα και η αξιοποίηση των Π.Κ. πέρασε από πολλά στάδια καιη συσσωρευθείσα εμπειρία μας οδηγεί στα εξής συμπεράσματα :

1.Ακόμα και σήμερα δεν μπορούμε σε ικανοποιητικό βαθμό να καταλάβουμε την προέλευση των Π.Κ., σε εκείνη την έκταση ώστε να μας επιτρέπει να επινοήσουμε και εφαρμόσουμε νέες μεθόδους έρευνας.

2.Δεν έχουν βρεθεί ακόμη νέοι μέθοδοι εξόρυξης και εμπλουτιμού-επεξεργασίας ικανοί να ανακτήσουν μέταλλα που συνδέονται με προσχωματικά ορυκτά πολύ μικρού μεγέθους μεταξύ 5-50μ.

3.Αποδεικνύεται ότι τα Π.Κ. δεν είναι απλά θαλάσσια κοιτάσματα αλλά έχουν αρκετά πολύπλοκη προέλευση, είναι αρκετά δύσκολος ο εντοπισμός τους ενώ η διαδικασία εμπλουτισμού τους και μεταλλουργικής επεξεργασίας είναι πιό δύσκολη σε σχέση μετα αντίστοιχα κοιτάσματα που βρίσκονται στις Ηπείρους.

Τα προσχωματικά κοιτάσματα (Placers) και τα συσσωματώματα βαρέων ορυκτών (aggregates) είναι ορυκτά ή πετρώματα που μεταφέρθηκαν στιςθέσεις όπου εναποτέθηκαν σε λεπτομερή μορφή. Τα προσχωματικά κοιτάσματα (Placers) είναι μεταλλικά ορυκτά ενώ τα συσσωματώματα άλλων πετρωμάτων (Aggregates) περιλαμβάνουν άμμους και λατύπες οι οποίοι συνίστανται κύρια απο χαλαζία (φυσικά υπάρχουν κα άλλα ορυκτά), τμήματα πετρωμάτων με πολύπλοκη μερικές φορές ορυκτολογική σύσταση και κομμάτια οστράκων.

Τα υποθαλάσσια πρωσχωματικά κοιτάσματα είναι βαρέα (μεγάλου ειδικού βάρους) κλαστικά ορυκτά τα οποία κάποια στιγμή διαχωρίστικαν από τα κανονικά σχετικά ελαφριά (μικρού ειδικού βάρους) ορυκτά τους, και μπόρεσαν να διαμορφώσουν συγκεντρώσεις εκμεταλλεύσιμες με οικονομικούς όρους. Τα πλέον σημαντικά από πλευράς οικονομικής σημασίας πρωσχωματικά κοιτάσματα είναι: ο κασσιτερίτης (κασσίτερος Sn), ο ιλμενίτης (τιτάνιο Ti), το ρουτίλιο (τιτάνιο Ti), ο ζιρκονίτης (ζιρκόνιο Zr), ο χρωμίτης (χρώμιο Cr), ο μοναζίτης monazite (θόριοTh και σπάνιες γαίες), ο μαγνητίτης

(σίδηρος Fe), αυτοφυή μέταλλα όπως χρυσός και Pt καθώς και διαμάντια (Harben και Bates 1990).

Οπως τονίσθηκε πιό πάνω τα Π.Κ. είναι στην ουσία χερσογενή ιζήματα που περιέχουν "δυνάμει" οικονομικές συγκεντρώσεις σημαντικών ορυκτών μεγάλου ειδικού βάρους - "βαρέων" όπως λέγονται. Τα Π.Κ. συγκεντρώνονται στον τόπο εναπόθεσης των, μέσω κυρίως του φαινομένου της βαρύτητας και των υδραυλικών μηχανισμών.

Είναι η μόνη κατηγορία, προς το παρόν, υποθαλάσσιων ΟΠΥ που τώρα βρίσκονται - έστω και περιορισμένα - υπό εκμετάλλευση. Η εκτίμηση της αξίας αυτών των ΟΠΥ παρουσιάζει τα ίδια προβλήματα που υπάρχουν και για τα Π.Κ. που βρίσκονται στην ξηρά, και συγκεκριμένα η δυσκολία εντοπισμού και εκτίμησης του κοιτάσματος, η ποικιλία τους και η ασταθείς παράγοντες της αγοράς. Η έρευνα και εκτίμηση της αξίας των Π.Κ. που βρίσκονται στο θαλάσσιο περιβάλλον παρουσιάζει όμως και επιπρόσθετες δυσκολίες δεδομένου ότι τέτοια κοιτάσματα :

1.Περιβάλλονται απο νερό και στερεά υλικά

2.Συχνά δεν ταιριάζουν στα μοντέλα γέννεσης που υπάρχουν για τα αντίστοιχα κοιτάσματα που βρίσκονται στην ξηρά.

3.Υφίστανται την επίδραση των υποθαλάσσιων μηχανισμών που φυσικά επηρεάζουντην μορφή τους και τα εξαλλοιώνουν.

4.Βρίσκονται σε ένα περιβάλλον που κάνει την δειγματοληψία πιό δύσκολη και λιγότερο ακριβή σε σύγκριση με τα αντίστοιχα κοιτάσματα στην ξηρά.

2.ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ (Π.Κ.) (PLACERS (P)

Τα Π.Κ. όπως ήδη τονίσθηκε πιό πανω, σχηματίσθηκαν σαν αποτέλεσμα μηχανικής συγκέντρωσης κόκκων κλαστικών ορυκτών σε υδάτινο περιβάλλον και δυνατόν να απαντούν σε ποτάμια, λίμνες ή και στον βυθό των θαλασσών. Συνήθως προέρχονται από πρωτογενή πυριγενή πετρώματα ή φλέβες ορυκτών που απελευθερώθησαν κατά την αποσύνθεση του πρωτογενούς πετρώματος. Τα περισσότερα Π.Κ. συνδυάζουν μεγάλο ειδικό βάρος και σημαντική αντίσταση στη χημική αποσύνθεση. Αυτό είναι φυσικό γιατί διαφορετικά δεν θα μπορούσαν να αντέξουν στα φαινόμενα διάβρωσης, μεταφοράς και εναπόθεσης που έλαβαν χώρα πριν την τελική τους συγκέντρωση.Σαν ενδεικτικά και χαρακτηριστικά παραδείγματα Π.Κ. θα αναφέρουμε αυτοφυή στοιχεια όπως Au, Pt, Διαμάντια και ανθεκτικά στις χημικές εξαλλοιώσεις ορυκτά όπως κασσιτερίτη,ιλμενίτη ρουτίλιο, ζιρκόνιο, μονολίτη, γρανάτες, μαγνητίτη και κορούνδιο.

Οι Emery καί Noakes (1968) ταξινόμησαν τις προσχωματικές ορυκτές πρώτες ύλες σε "Βαρέα" (E.B.G 8-21), "Ελαφρά και πολύτιμους λίθους (E.B. 2.9-4.1). Ο χρυσός ή πλατίνα και ο κασσιτερίτης είναι ενδιαφέρονται οικονομικά βαρέα Π.Κ., ο ιλμενίτης, το ρουτίλιο,το ζιρκόνιο και ο μοναζίτης ειναι ενδιαφέντα οικονομικά "Ελαφρά" κοιτάσματα ενώ τα διαμάντια είναι οι πλεόν ενδιαφέροντες πολύτιμοι λίθοι. Παραδείγματα γενικά Π.Κ. δίνονται στον παρακάτω **πίνακα ΣΤ1.**

Τα περισσότερα Π.Κ. απαντούν λίγα χιλιόμετρα μακρύτερα από την πρωτογενή πηγή προέλευσής τους και κατά συνέπεια τα θαλάσσια Π.Κ. αναμένονται να βρίσκονται, και πράγματι βρίσκονται, στην υποθαλάσσια ζώνη κοντά στις ακτές.Είναι βέβαια φυσικό ότι γεωλογικά παλαιότερα (ancient) Π.Κ. απαντούν σε ήδη πρώην ακρογιαλιές ή κοιλάδες που τώρα είναι καταβυθισμένες κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας αποτελούν τώρα τμήματα μοντέρνας υφαλοκρηπίδα (C.S) καθώς και τώρα ανυψωμένες και χερσεύουσες ακρογιαλιές. Οι τοποθεσίες που βρίσκονται τα Π.Κ. μπορεί να εξηγηθούν με βάση τις ανόδους και πτώσεις της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια των περιόδων παγετώνων και δείχνονται σχηματικά στη **ΦΩΤ.ΣΤ1**. που ακολουθεί. Ο Moore (1976) ταξινόμησε τα περιβάλλοντα απόθεσης των θαλασσίων Π.Κ. σε υψηλής και χαμηλής ενέργειας.

Τα περιβάλλοντα "υψηλής ενέργειας" είναι αυτά όπου τα κύματα και ρεύματα είναι πολύ ενεργά και οδηγούν στη συγκέντρωση αδρομερών ευγενών μετάλλων και ορυκτών του κασσιτέρου, χρωμίου,

τιτανίου και βολφραμίου που συνδέονται με αδρομερείς άμμουςκαι λατύπες όλα πρερχόμενα από τις γειτονικές πηγές.

Τα περιβάλλοντα "χαμηλής ενέργειας" χαρακτηρίζουν συνθήκες ήσυχης και βραδείας απόθεσης όπως π.χ. προστατευόμενοι παράκτιοι όρμοι, λιμνοθάλασσες και κύρια περιέχουν κόκκους ευρύτερων προελεύσεων που αποτελούνται από ευγενή μέταλλα μέσου μεγέθους 5-50μ.

Πίνακας ΣΤ1. Οι κυριότεροι τύποι μεταλλοφοριών προσχωματικών ορυκτών ή αυτοφυών μετάλλων

ΠΟΛΥΤΙΜΟΙ ΛΙΘΟΙ	ΕΙΔΙΚΟ ΒΑΡΟΣ	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ
Diamond	3.5	C
Garnet	3.5–4.27	$(CaMgFeMn)_3 (FeAlCrTi)_2 (SiO_4)_3$
Ruby	3.9–4.1	Al_2O_3
Emerald	3.9–4.1	Al_2O_3
Topaz	3.4–3.6	$Al_2F_2SiO_4$
ΒΑΡΕΑ ΠΟΛΥΤΙΜΑ ΑΥΤΟΦΥΗ ΜΕΤΑΛΛΑ		
Gold	20	Au
Platinum	21.5	Pt
"ΕΛΑΦΡΑ" ΒΑΡΕΑ ΟΡΥΚΤΑ		
Beryl	2.75–2.8	$Be_3Al_2Si_6O_{18}$ (Be)
Corundum	3.9–4.1	Al_2O_3 (Al)
Rutile	4.2	TiO_2 (Ti)
Zircon	4.7	$ZrSiO_4$ (Zr)
Chromite	4.5–4.8	$FeCr_2O_4$ (Cr)
Ilmenite	4.5–5.0	$FeOTiO_2$ (Ti)
Magnetite	5.18	Fe_3O_4 (Fe)
Monazite	5.27	(CeLaYt) PO_4 ThO_2 SiO_2 (Th)
Scheelite	5.9–6.1	$CaWO_4$ (W)
"ΒΑΡΕΑ" ΒΑΡΕΑ ΟΡΥΚΤΑ		
Cassiterite	6.8–7.1	SnO_2 (Sn)
Columbite, Tantalite	5.2–7.9	$(FeMn)(NbTa)_2O_6$ (Nb, Ta)
Cinnabar	8–10	HgS (Hg)

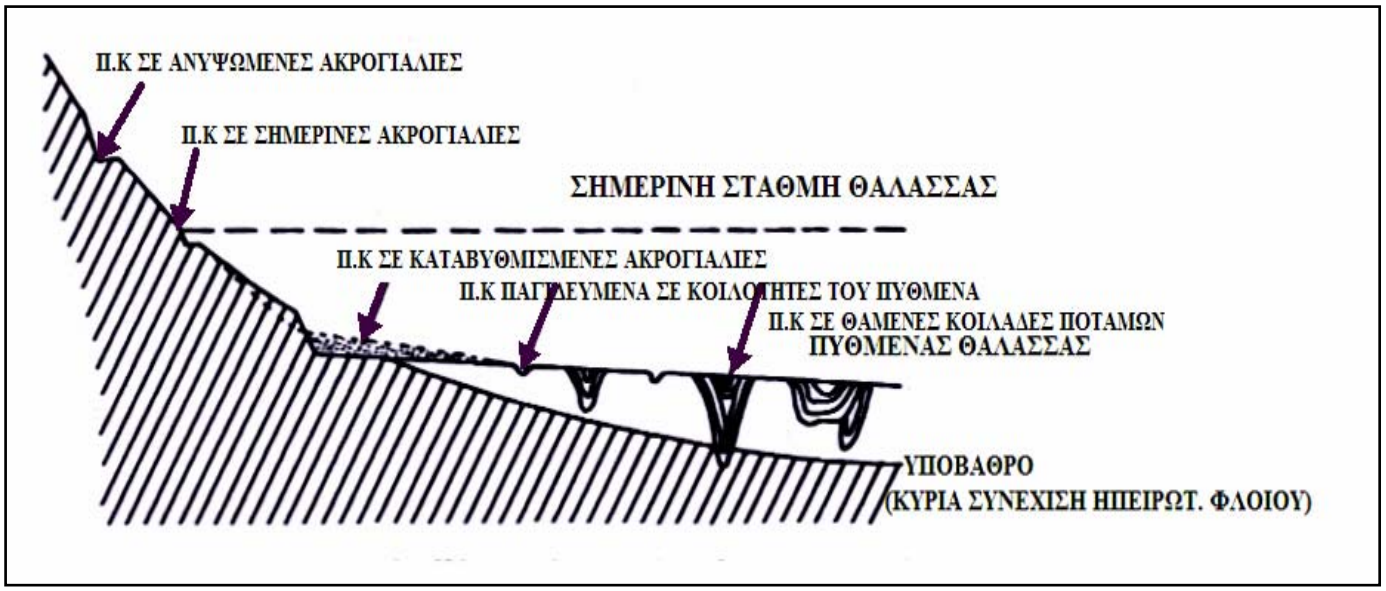
Προέλευση και γεωτεκτονικό περιβάλλον εναπόθεσης

Α). Π ρ ο έ λ ε υ σ η

Τα Π.Κ. από πλευράς προέλευσης μπορούν να ταξινομηθούν σε τρείς κατηγορίες :

α) Π.Κ. που συνδέονται με υποθαλάσσιο περιβάλλον
β) Π.Κ. που συνδέονται με λιμνοθάλασσες
γ) Π.Κ. που βρίσκονται σε ακρογιαλιές

Οι κατηγορίες α και γ δεν βρίσκονται μονο σε σύγχρονα περιβάλλοντα εναπόθεσης αλλά επίσης σε παλιές ανυψωμένες ακρογιαλιές ή ανυψωμένες ακτογραμμές ή βυθισμένες παλαιο-παραλίες καθώς και κανάλια, κοίτες ποταμών που εκτείνονται ως την αρχή της υφαλοκρηπίδας. (Βλπ.ΦΩΤ.ΣΤ1).



ΦΩΤ.ΣΤ1. Περιβάλλοντα εναπόθεσης Π.Κ

Π.Κ. που σχηματίζονται σε υποθαλάσσιο ή ποτάμιο περιβάλλον συνήθως αποτελούνται από ορυκτά με ειδικό βάρος μεγαλύτερο από 6,5 gr/cm3 όπως π.χ. πλατινα, χρυσός, κασσιτερίτης και βολφραμίτης.

Εκτός από τα Π.Κ. που είναι αποτέλεσμα μεταφοράς του προσχωματικού υλικού και εναπόθεσης τους, παρόμοια κοιτάσματα σχηματίζονται επίσης από εκλεκτική απομάκρυνση προσχωματικών υλικών απο τον αέρα, την βροχή ή θαλάσσια ρεύματα αφήνοντας πίσω και επί τόπου συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών που είναι και σταθερά (ανθεκτικά) στις φυσικοχημικές συνθήκες που επικρατούν στην επιφάνεια όπου γίνεται η διάβρωση.

Τα περιβάλλοντα που συνδέονται με ακρογιαλιές, τις γειτονεύουσες θίνες (dunes) είναι συνήθως

οι περιοχες όπου έχουμε την εναπόθεση και κατόπιν τον εμπλουτισμό βαρέων ορυκτών που το ειδικό τους βάρος είναι μεταξύ 3.0-5.0 gr/cm3. Τέτοια ορυκτά συνήθως είναι ρουτίλιο, ιλμενίτης, μονοξίτης, μαγνητίτης, ζιρκόνιο και γρανάτης. Επίσης σε μερικές περιοχές κατα μήκος αμμουδιων στις ακρογιαλιές έχουν εντοπισθεί λεπτόκοκκες συγκεντρώσεις χρυσού, λευκόχρυσου καθώς επισης και χρωμίτες-διαμαντιών.
Το φαινόμενο που λέγεται "υδραυλικός" διαχωρισμός και συνίσταται στήν κατανομή των κόκκων των ορυκτών σε υδάτινο κύρια περιβάλλον είναι εκείνο που προκαλεί το συσσωμάτωμα, την συνάθροιση των κόκκων των βαρέων μετάλλων σε ξέχωρα κλάσματα σε ότι αφορά μέγεθος και ειδικό βάρος.Αυτό το όλο φαινόμενο συγκέντρωσης οδηγεί τελικά στον σχηματισμό των Π.Κ. που βρίσκονται στις ακρογιαλιές.

Συνήθως τα πλέον συχνά Π.Κ. που απαντώνται είναι αυτά της ομάδας του Ti αν και έχουν βρεθεί στην προηγούμενη δεκαετία, εμπλουτισμένες συγκεντρώσεις κόκκων χρυσού και πλατίνας εξαιρετικά μικρού μεγέθους στις ακρογιαλιές κλειστών κόλπων στην Αλάσκα και τον Ν.Δ. Ειρηνικό Ωκεανό.

Η εναπόθεση των εξαιρετικά λεπτόκοκκων προσχωματικών ορυκτών δεν προσδιορίζεται από τα ίδια φαινόμενα και μηχανισμούς που λειτουργούν για τον σχηματισμό Π.Κ. που εναποτίθονται σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας. Στην πρώτη περιπτωση οι μηχανισμοί εναπόθεσης εξαρτώνται από φυσικά και χημικά φαινόμενα που λειτουργούν στις επιφάνεις των κόκκων π.χ. υψηλή επιφανειακή τάση, ηλεκτρικά φορτία, κλπ. Εξ αιτίας αυτών των χαρακτηριστικών τα πολύ λεπτόκοκκα βαρέα ορυκτά που περιλαμβάνουν αυτοφυή χρυσό και πλατίνα εναποτίθενται με άλλα ορυκτά παρόμοιου περιπου μεγέθους, όχι μεταλλοφόρα π.χ. ασβεστίτη, φθορίτη, κλπ.

Δεν είναι ακόμη πολλά πράγματα γνωστά σχετικά με την ορυκτολογία και γεωχημεία των μητρικών πετρωμάτων αυτών των κοιτασμάτων πολύτιμων μετάλλων και πολύ δουλειά πρέπει ακόμη να γινει προς αυτή την κατεύθυνσ

Β.Γεωτεκτονικό περιβάλλον εναπόθεσης

Τα Π.Κ. συνδέονται με τα ανενεργά ηπειρωτικά περιθώρια (passive continental margins) είναι ιζηματογενούς προέλευσης και συνδέονται κύρια με τις άμμους και τα χαλαρα εν γένει ιζήματα των ακρογιαλιών. Πρέπει να τονισθεί ότι τα Π.Κ. είναι τα μόνα κοιτάσματα με οικονομική σημασία (με εξαίρεση ίσως κάποιων εβαποριτών) τα οποια συναντώνται στην επιφάνεια των μοντέρνων, των σημερινων ανενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων και συγκεκριμένα στις παράκτιες περιοχές συνδεόμενα με ιζήματα του Τεταρτογενούς.

Τα ανενεργά ηπειρωτικά περιθώρια είναι αυτά στα οποία δεν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ ηπείρου και ωκεάνειου φλοιού. Τα πλείστα των ανενεργών ηπειρωτικών περιθωρίων είναι αποτέλεσμα της επέκτασης του ωκεάνειου φλοιού προς ένα αναπτυσσόμενο ενδο-ηπειρωτικό σύστημα το οποίο παρουσιάζει μεγάλα συστήματα ρηγμάτων, τα ανενεργά ηπειρωτικά περιθώρια βρίσκονται -εξ'ορισμού- πάνω σε μία λιθοσφαιρική πλάκα, η αρχική τους όμως ανάπτυξη με την μορφή ρηγματομένων περιθωρίων και η καταβύθιση τους που ακολουθεί - με αποτέλεσμα τον σχηματισμό της υφαλοκρηπίδας - συνδέεται με τεκτονικά φαινόμενα που δρούν είτε πάνω είτε στις πλευρές ενός αναπτυσσόμενου κέντρου επέκτασης ωκεάνειου φλοιού.

3. ΠΩΣ ΣΧΗΜΑΤΙΖΟΝΤΑΙ ΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΡΩΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ

Τα ΥΠΚ σχηματίζονται σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας όπως η κυματωγής ζώνη (ζώνες μια πολύ ψηλά και ενεργά κύματα) κατά μήκος των παραλιών. Ως αποτέλεσμα της υψηλής πυκνότητάς τους, τα βαρέα ορυκτά είναι γενικά περιορισμένα σε θέσεις που απέχουν μερικές δεκάδες χιλιομέτρων από τα μητρικά πετρώματα δηλαδή την πηγή τους. Η σχέση μεταξύ των αλλαγών της στάθμης της θάλασσας και του σχηματισμού και διατήρησης των ΥΠΚ θέτει τα όρια στην παρουσία τους παράκτια και στο

υποθαλάσσιο περιβάλλον γενικότερα . Κατά τη διάρκεια του μεγίστου της τελευταίας παγετώδους περιόδου 18.000 έτη πριν, η στάθμη της θάλασσας χαμήλωσε κατά περίπου 120μ. Στην περίοδο αυτή, οι ποτάμιες αποθέσεις προσχωνατικών κοιτασμάτων μπορεί να είχαν επεκταθεί έως την άκρη της παρύσης υφαλοκρηπίδας. Εντούτοις, οι επόμενες άνοδοι της στάθμης της θάλασσας έχουν δημιουργήσει ένα επικλυσιγενές κλαλυμμα ιλύος (λάσπης) και άμμου, θάβοντας τα προσχωματικά ορυκτά. **Γενικά, έχουμε δύο διαφορετικούς τύπους ΥΠΚ** (Emery και Noakes, 1968 Kudrass, 1987, 2000, Jury και Hancock, 1989):

- **Ποτάμιας προέλευσης ΠΚ χρυσού και Κασσιτερίτη στο εσωτερικό τμήμα της υφαλοκρηπίδας** τα οποία δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια των παγετωδών περιόδων όταν υπήρξε μείωση της στάθμης της θάλασσας, όταν η ανανεούμενη ποτάμια διάβρωση συγκέντρωσε αυτά τα βαριά ορυκτά και μέταλλα στα ανώτερα ιζήματα. Αυτοί οι σχηματισμοί μεταφέρθηκαν περαιτέρω και εναποτέθηκαν συγκεντρώθηκαν στα ανώτερα τμήματα της ηφαλοκρηπίδας κατά τη διάρκεια περιόδων πτώσης της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων.
- **Π.Κ παραλιών τα οποία δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια των περιόδων σταθερής ή ελαφρώς κυμαινόμενης στάθμης της θάλασσας, κατά τη διάρκεια των εκτεταμένων ενδιάμεσων παγετωδών περιόδων.** Οι περισσότερες από αυτές τις συγκεντρώσεις των προσχωματικών κοιτασμάτων παραλιών υπόκεινται σε διασπορά ή μετακίνηση προς την πλευρά της ακτής κατά τη διάρκεια των περιόδων αύξησης της στάθμης της θάλασσας κατά την διάρκεια των μεσοπαγετωδών περιόδων. Η σημαντικότητα των Π.Κ κατά μήκος της παρούσας ακτογραμμής είναι κατά ένα μεγάλο μέρος αποτέλεσμα της επικλυσιγενούς μετανάστευσης των σχηματισμών των παραλιών, στη διάρκεια της οποίας ένα μεγάλο ποσοστό της άμμου της υφαλοκρηπίδας με τα προσυγκεντρωμένα συναθροίσματα βαρέων ορυκτών κινήθηκε προς την παρούσα παράκτια θέση του. Αυτή η πλευρική και κάθετη μετανάστευση ήταν ιδιαίτερα αποτελεσματική κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο μεταβάσεων από παγετώδεις σε μεσοπαγετωδεις περιόδους.

4. ΠΡΟΥΠΟΘΕΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Ο σχηματισμός Π.Κ. απαιτεί μία πρωτογενή πηγή και περιλαμβάνειτα φαινόμενα της διάβρωσης, μεταφοράς και συγκέντρωσης.

i. π ρ ω τ ο γ ε ν ή ς π η γ ή : Οι πρωτογενείς πηγές για τον σχηματισμό Π.Κ. είναι συνήθως πυριγενή πετρώματα. Π.χ. ο κασσιτερίτης ένα από τα πλέον ενδιαφέροντα προσχωματικά ορυκτά, απαντά στους γρανίτες και της Ν.Α. Ασίας και Ν.Δ. Αγγλίας, δύο περιοχές όπου βρίσκεται σε οικονομικές συγκεντρώσεις προσχωματικός κασσιτερίτης και σε υδροθερμικής φύσης φλέβες σε ιζηματογενή πετρώματα στην Ινδονησία. Τα ″ελαφρά″ βαρέα ορυκτα συνήθως αποτελούν τα ανθεκτικά συνοδεύοντα ορυκτά των πλουτωνίων πετρωμάτων.

ii. Ε ξ α λ λ ο ί ω σ η - Α π ο σ ά ρ θ ρ ω σ η (Weathering): Η εξαλλοίωση των πετρωμάτων που αποτελούν την πηγή των Π.Κ. είναι απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να αποδεσμευθούν τα ορυκτά που θα μεταφερθούν στη θέση απόθεσης. Η χημική εξαλλοίωση είναι η πλέον σημαντική για την αποδεσμευση βαρέων ορυκτών από το μητρικό πέτρωμα δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια αυτού του φαινομένου τα ορυκτά τα οποία είναιολιγώτερο χημικά ανθεκτικά στο πέτρωμα υφίστανται εκλεκτική διάλυση πράγμα που οδηγεί στη διάσταση όλου του πετρώματος. Η χημική εξαλλοίωση των μητρικών πετρωμάτων του κασσιτερίτη στην Ινδονησία, απελευθέρωσε κασσιτερίτη του οποίου οι κόκκοι δεν

παρουσιάζουν καμμία ζημιά.

iii. Μ ε τ α φ ο ρ ά : Η μεταφορά προσχωματικών κοιτασμάτων λαμβάνει χώρα κύρια από τα κινούμενα νερά. Τα ασταθή προϊόντα της χημικής εξαλλοίωσης όπως άργιλοι (clay minerals) και τα άλλα προϊόντα εξαλλοίωσης των πρωτογενων πετρωμάτων μετακινούνται εκλεκτικά, μέσω φαινομένων που συνδέονται με την υδάτινη φύση, από τα βαρύτερα και πλέον ανθεκτικά προσχωματικά ορυκτά. Τα πρώτα μεταφέρονται σε αιώρηση μέσω ρεμμάτων και ποταμών στη θάλασσα, ενώ τα δεύτερα συγνά συγκεντρώνονται σε "παγίδες" μέσα στο ποτάμιο σύστημα εξ αιτίας του μεγέθους και της πυκνότητός των. Σε περιοχές όπου η πηγή των Π.Κ. είναι κοντά στη θάλασσα τα φαινόμενα μεταφοράς κανονικά θα μεταφέρους τα προσχωματικά ορυκτά στην περιοχή της ακρογιαλιάς και δυνατό στις άμεσες θαλάσσιες παράκτιες περιοχές. Από τη στιγμή που Π.Κ. βρεθούν σε υποθαλάσσιο περιβάλλον η κατανομή τους εξαρτάται πλέον από διαδικασίες ιζηματογέννεσης που συμβαίνουν σε ρηχές υποθαλάσσιες περιοχές. Οι περισσότεροι ερευνητές συμφωνούν σήμερα ότι τα πλέον σημαντικά από οικονομικής άποψης Π.Κ. δεν μεταφέρονται περισσότερο από 15 km από την αρχική τους πηγή λόγω του υψηλού ειδικού βάρους.

iv. Σ υ γ κ έ ν τ ρ ω σ η : Τα Π.Κ. συνήθως συγκεντρώνονται σε "παγίδες" λόγω του μεγάλου τους ειδικού βάρους. Κατά την μεταφορά τους μέσω των ποταμίων συστημάτων στις παράκτιες περιοχές συμβαίνει μιά μείωση του επιπέδου ενέργειας του περιβάλλοντος πράγμα που οδηγεί στην εναπόθεση Π.Κ. Από τη στιγμή που αυτό θα συμβεί θα απαιτηθεί πολύ υψηλότερο επίπεδο ενέργειας για την εκ νεου μετακίνησή τους. Με αυτόν τον τρόπο ελαφρότερα και μικροτερα ορυκτά αποχωρίζονται από βαρύτερα και μεγαλύτερα ορυκτά που αποτελούν τα Π.Κ., τα οποία κατόπιν συγκεντρώνονται σε διάφορα βαθουλώματα, μικρές λεκάνες σε περιοχές sluggish ρευμάτων ή σε άλλες περιοχές γενικώτερα που δρούν σαν παγίδες ιζημάτων.

v.Μηχανικές ιδιότητες- κατάλληλος χημισμός:

Τα προσχωματικά κοιτάσματα είναι, όπως τονίσθηκε πιό πάνω προϊόντα αποσάθρωσης. Τα κύρια ορυκτά που αποτελούν τα προσχωματικά κοιτάσματα πρέπει να διαφέρουν σημαντικά σε ότι αφορά το ειδικό τους βάρος σε σχέση με τα πυριτικά ορυκτά των μητρικών πετρωμάτων ώστε να είναι δυνατόν να διαχωριστούν φυσικά από αυτά.

Τα ορυκτά των προσχωματικών κοιτασμάτων πρέπει να είναι επίσης ανθεκτικά στην τριβή, δεδομένου ότι σε διαφορετική περίπτωση κονιοποιούνται και διασκορπίζονται εύκολα.

Η γεωχημική σύσταση τέτοιων σχηματισμών είναι καθοριστική για το άν συγκεντρωθούν και διατηρηθούν σε ένα περιβάλλον. Πρώτο από όλα πρέπει να εξετάσουμε τί είδους στοιχεία και κατά συνέπεια ποιές χημικές ενώσεις πρέπει να αναμένουμε ότι κυριαρχούν στα προσχωματικά κοιτάσματα. Είναι λογικό να περιμένουμε ότι κατά προτεραιότητα τα λιθόφιλα στοιχεία και κατά συνέπεια τα οξείδια κυριαρχούν στα προσχωματικά κοιτάσματα και τούτο γιατί τα οξείδια επηρεάζονται πολύ λίγο από το οξειδωτικό περιβάλλον που κυριαρχεί στην επιφανειακή αποσάθρωση. Ετσι τα πλέον ενδιαφέροντα προσχωματικά κοιτάσματα περιέχουν σαν κύρια συστατικά τους οξείδια όπως π.χ.:

Μαγνητίτη(Fe3O4)
Ιλμενίτη (FeTiO3)
Χρωμίτη (FeCr2O4)
Κασσιτερίτη (SnO_2) (Το πλέον σημαντικό προσχμωματικό κοίτασμα κασσιτέρου στη Μαλαισία και Ινδονησία).

Μετά τα λιθόφιλα στοιχεία ακολουθούν τα σιδηρόφιλα στοιχεία που δυνατόν να αποτελούν σημαντικά συστατικά προσχωματικών κοιτασμάτων. Τα πλέον ενδιαφέροντα παραδείγματα είναι τα ευγενή μέταλλα χρυσός και πλατίνα. Αντίθετα είναι πολύ δύσκολα χαλκόφιλα στοιχεία να αποτελέσουν σημαντικά συστατικά προσχωματικών κοιτασμάτων και μάλιστα νεωτέρων γεωλογικά κοιτασμάτων. Και τούτο γιατί όπως είναι γνωστό από το τέλος του παλαιοζωϊκού ή ατμόσφαιρα της Γης είναι ένα οξειδωτικό περιβάλλον, καί έτσι τα σουλφίδια (οι πλέον σημαντικές ενώσεις χαλκόφιλων στοιχείων) οξειδώνονται ταχύτατα και αποσυντίθονται μόλις έρθουν σε επαφή με την ατμόσφαιρα. Πολύ σπάνια συναντήθηκαν ενδιαφέροντα προσχωματικά κοιτάσματα σουλφιδίων ηλικίας Προκαμβρίου τα οποία διατηρήθηκαν, μέχρι σήμερα και τούτο γιατί στη διάρκεια του Προκαμβρίου η ατμόσφαιρα της Γης ήταν μη οξειδωτική πράγμα που διευκόλυνε τον σχηματισμό και διατήρηση σουλφιδίων.

5. ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΕΝΑΠΟΘΕΣΗΣ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Τα κυριώτερα περιβάλλοντα απόθεσης Π.Κ. είναι 3: π ο τ α μ ο ί – α κ ρ ο γ ι α λ ι έ ς – π α ρ ά κ τ ι ε ς θ α λ λ ά σ ι ε ς π ε ρ ι ο χ έ ς .(ΦΩΤ.ΣΤ1) Συνοπτικά θα πουμε μερικά λόγια για κάθε ένα από αυτά τα περιβάλλοντα.

Π ο τ α μ ο ί

Οπως ειπώθηκε παραπάνω, τοπικά συγκέντρωση Π.Κ. δυνατό να συμβεί σε ποταμούς που "αποστραγγίζουν" κατάλληλες περιοχές όπου υπάρχει η "πηγή" (π.χ. ένα υπό διάβρωση πυριγενές σώμα) και όπου το ενεργειακό επίπεδο στο ποτάμι ελαττώνεται τόσο ώστε να επιτρέψει σε Π.Κ. να κατακαθήσουν. Αναφέρω σαν παράδειγμα τον προσχωματικό χρυσό που βρέθηκε σε πολλά ποτάμια και ρέμματα που έγιναν αντικείμενα εντατικής εκμετάλλευσης κύρια στη Β. Αμερική, αλλά και στη χώρα μας από τα κλασσικά κυρίως χρόνια σε περιοχές της Β. Ελλάδας, καθώς και άλλα αλλούβια Π.Κ. Ενα τέτοιο παράδειγμα είναι τα εκτεταμένα κοιτάσματα του Αλλουβιακού Κασσιτερίτη στη Ν.Α. Ασία.

Οι περισσότεροι μελετητές τείνουν να συμπεραίνουν ότι τα ποτάμια και τα ρέμματα είναι τα πλεον ευνοϊκά περιβάλλοντα για την εναπόθεση των πλέον βαρέων από τα βαρέα μέταλλα, εναπόθεση που γίνεται κοντα στις πρωτογενείς πηγές προέλευσης. Πολλά υποθαλάσσια-παράκτια Π.Κ. είναι αλλουβιακά όσον αφορά την προέλευσή τους. Σαν αποτέλεσμα όμως χαμηλώματος του επιπέδου της θάλασσας κατά τη διάρκεια των περιόδων παγετώνων πολλά ποτάμια βρίσκονται τώρα σε πριοχές που είναι μέρος της υφαλοκρηπίδας. Σε μερικές από αυτές τις "αποστραγγιζόμενες" από τους ποταμούς περιοχές που έχουν συγκεντρώσει βαρέα ορυκτά είτε στην ξηρά στο παρελθόν είτε τώρα υποθαλλασίως, εναποτέθηκαν Π.Κ. σε υπάρχουσες "κοιλάδες" όπως συμβαίνει στα σημερινά ποτάμια (ΦΩΤ.ΣΤ.1).

Οι περιοχές αυτές καλύφθησαν κατόπιν με μεταγενέστερα ιζήματα και τώρα αποτελούν υποθαλλασια "θαμμένα" αλλουβιακά κοιτάσματα. Από αυτή την άποψη δεν είναι τυπικής υποθαλλάσιας προέλευσης απαιτούνται όμως τεχνικές υποθαλλάσιας έρευνας για τον εντοπισμό τους.

Α κ ρ ο γ ι α λ ι έ ς

Ο σχηματισμός Π.Κ. στις ακρογιαλιές είναι αποτέλεσμα εκλεκτικού διαχωρισμού (selective sorting) κοιτασμάτων που βρίσκονται στις ακρογιαλιές στην ζώνη δράσης κυμάτων και ρευμάτων. Είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι η ταχύτητα (velocity) επανάπλυσης των κυμάτων είναι σε θέση να μετακινήσει μόνο τα "ελαφρά" βαρέα ορυκτά αφήνοντας έτσι πάνω τα "βαρέα" ορυκτά. Οι ακρογιαλιές είναι οι ευνοϊκότερες περιοχές για τα "ελαφρά" βαρέα ορυκτά. Τα ορυκτά αυτά είναι

μόλις λίγο βαρύτερα από τον χαλαζία και τους αστρίους, με τα οποία συνδέονται αρχικά και ένα περιβάλλον υψηλής ενέργειας μεγάλης έκτασης όπως υπάρχει συχνά στις ακρογιαλιές είναι απαραίτητη προϋπόθεση για να συγκεντρώσει τα "ελαφρά" βαρέα ορυκτά σε κοιτάσματα πλούσια και αρκετά μεγάλα ώστε να αξίζουν εκμετάλλευση. Πάντως κοιτάσματα σε τέτοια περιβάλλοντα είναι αρκετά σπάνια.

Σύμφωνα με τους EMERY και NOAKES (1968) οι μοντέρνες ακρογιαλιές συγκεντρώνουν ίσως τις ιδανικώτερες συνθήκες για τη συγκέντρωση "ελαφρών" βαρέων ορυκτών (ΕΒΟ). Η πρόσφατη (τα τελευταία 5000 χρόνια) μεταβολή του επιπέδου της θάλασσας κατά λίγα μόνο μέτρα είχε σαν αποτέλεσμα την δημιουργία σταθερών συνθηκών και η συγκέντρωση των "ελαφρών" βαρέων ορυκτών λαμβάνει χώρα σε μεγάλη έκταση στις ανά τον κόσμο ακρογιαλιές. Ενδιαφέρουσες όμως από οικονομικής πλευράς συγκεντρώσεις Ε.Β.Ο βρίσκονται μόνο σε μέσα γεωγραφικά πλάτη σε ακρογιαλιές που βρίσκονται σε τροπικές περιοχές και είναι υψηλής ενέργειας. Και τούτο γιατί φαινόμενα που έχουν σχέση με τις κλιματικές συνθήκες, τις εποχές και το γεωγραφικό πλάτος μπορούν να επηρεάσουν τους μηχανισμούς συγκέντρωσης Π.Κ. στις ακρογιαλιές. Ετσι περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους (βόρεια κλίματα) έχουν πολύ υψηλά κύματα, πολύ υψηλό επίπεδο ενέργειας πράγμα που σημαίνει απομάκρυνση των Ε.Β.Ο. ή "αραίωσή" τους από κροκάλλες, λατύπες, κλπ. Από την άλλη μεριά περιοχές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους έχουν συνήθως πολύ χαμηλό επίπεδο ενέργειας πράγμα που δεν ευνοεί τη συγκέντρωση τέτοιων ορυκτών.

Παράκτιες υποθαλάσσιες περιοχές

Π.Κ. συναντώνται σε διαφορετικές μορφές στις παραπάνω περιοχές:

Οπως ήδη ειπώθηκε παραπάνω καταβυθισμενες κοιλάδες ποταμών που περιέχουν παλαιότερα – γεωλογικά – Π.Κ. συναντώνται σε μερικές περιοχές της υφαλοκρηπιδας. Ενας δεύτερος τύπος εμφάνισης Π.Κ. αναφέρεται στα σχηματισθέντα στο παρελθόν σε παλαιές γεωλογικά ακρογιαλιές οι οποίες τώρα βρίσκονται κάτω από το επίπεδο της θάλασσας. Πολλές πριοχές της υφαλοκρηπίδας περιέχουν διάφορες τέτοιες καταβυθμισμένες περιοχές που στο παρελθόν ήταν ακρογιαλιές και οι οποίες συνήθως είναι παράλληλες της σημερινής γραμμής των ακτών. Οπωσδήποτε όμως οι σημερινές ακρογιαλιές περιέχουν υψηλότερες συγκεντρώσεις προσχωματικών ορυκτών συγκρινόμενες με παλιές που βρίσκονται τώρα κάτω από τη θάλασσα. Αυτό συμβαίνει γιατί καθώς το επίπεδο της θάλασσας ανέρχεται, τα προσχωματικά ορυκτά είτε τείνουν να ακολουθούν την μετακινούμεη προς την πλευρά της ξηράς (κυματογενή ζώνη) είτε διαχέονται προς την πλευρά της θάλασσας. Σε μερικές περιπτώσεις ιζήματα θαλάσσια ή και προϊόντα παγετώνων κάλυψαν τέτοιου είδους Π.Κ. Ετσι γενικά παλιές ακρογιαλιές που τώρα βρίσκονται κάτω από τη θάλασσα δεν είναι ευνοϊκές περιοχές για ανεύρεση ενδιαφερόντων, οικονομικά Π.Κ.

Η τρίτη περιοχή εμφάνισης των Π.Κ. ειναι στις παράκτιες υποθαλάσσιες περιοχές σαν αποτέλεσμα μεταφοράς προσωματικών ορυκτών από την ξηρά και εναπόθεσή τους σε αυτές τις περιοχές. Ετσι π.χ. διάφοροι ερευνητές (YIM 1974) βρήκαν υψηλές συγκεντρώσεις κασσιτέρου σε υποθαλάσσια επιφανειακά ιζήματα κοντα στις ακτές της Β. Κορνουάλης σαν αποτέλεσμα της εκλεκτικής μεταφοράς κλαστικού κασσιτερίτη από τα υπάρχοντα παρόμοια χερσαία κοιτάσματα στις κοντινές υποθαλάσσιες περιοχές. Αλλοι ερευνητές επεσήμαναν πρόσφατα (MOORE και WELKIE 1976) την ύπαρξη Π.Κ. σε περιβάλλοντα χαμηλής ενέργειας, πολύτιμων μετάλλων στην υφαλοκρηπίδα της Αλάσκας. Πρόκειται για εξαιρετικούς λεπτόκοκκες εμφανίσεις Pt και Au που συνήθως εναποτίθενται σε ήσυχες ακρογιαλιές ή προστατευόμενες λιμνοθάλασσες.

6. ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΓΙΑ Π.Κ. ΣΕ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΗΣ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑΣ

Θεωρητικά όλοι οι τύποι των Π.Κ. θα μπορούσαν να έχουν σχηματισθεί στην υφαλοκρηπίδα όταν αυτή είχε εκτεθεί σε επιφανειακά φαινόμενα διαβρώσεως, αποσάθρωσης κατά τη διάρκεια του μεγλύτερου μέρους του Πλειστοκαίνου. Η πιθανότητα φυσικά, τα σχηματισθέντα κοιτάσματα να έχουν διατηρηθεί μεταβάλλεται από περιοχή σε περιοχή για κάθε τύπο προσχωματικού

κοιτάσματος και είναι συνάρτηση του τωρινού αλλά και του παλαιογεωγραφικού περιβάλλοντος (κύρια του γεωμορφολογικού αναγλύφου καθώς και του ωκεανογραφικού περιβάλλοντος που υφίστανται στο δεδομένο σημείο της υφαλοκρηπίδας).

Το πρώτο βήμα σε ότι αφορά την εκτίμηση της δυνατότητας υπάρξης Π.Κ. σε περιοχή της υφαλοκρηπίδας είναι η ανεύρεση και μελέτη όλης της σχετικής βιβλιογραφίας που αφορούν τα συλλεγέντα στοιχεία υπαίθρου με έμφαση φυσικά στα συσσωματώματα των βαρέων ορικτών καθώ σκαι την κατανομή τους κατά μήκος της ακτής και εντός των ποταμιών. Αν τα μητρικά πετρώματα – για την περίπτωση του Π.Κ. που συνδέονται με υδάτινο περιβάλλον – βρίσκονται κοντά στην ακτή ή στην υφαλοκρηπίδα, τότε είναι απαραίτητο να ερευνήσουμε προσεκτικά αντίστοιχα είτε όλη την ιζηματογενή στήλη – ιδίως το κατώτερο τμήμα τους – του πυθμένα του ποταμού είτε τα υπολλειματικά τελευταία ιζήματα στον πυθμένα υποθαλάσσιων καναλιών που υφίστανται διάβρωση από ισχυρά ρεύματα. Ιχνη μεταλλοφορίας – και μετά την συνεκτίμηση όλων των παραπάνω δεδομένων – έχουν σαν αποτέλεσμα την επέκταση της έρευνας στο υποθαλάσσιο περιβάλλον με την χρήση και άλλων μεθόδων έρευνας π.χ. γεωφυσικών (σεισμικά προφίλς) ή και αβαθών γεωτρήσεων δεδομένου ότι τέτοιου είδους κοιτάσματα είναι πιθανό να διατηρούνται επίσης και στην υφαλοκρηπίδα. Οταν Π.Κ. εντοπισθούν κατά μήκος μοντέρνων ακρογιαλιών, τότε είναι πιθανό ότι παρόμοια κοιτάσματα δυνατόν να υπάρχουν στην υφαλοκρηπίδα. Τούτο είναι συνάρτηση της ιστορίας ιζηματογέννεσης του συγκεκριμένου τμήματος της υφαλοκρηπιδας ιδίως στη διαρκεια των μεσο-παγετωδών περιόδων επίκλυσης της θάλασσας στο Ολόκαινο και Πλειστόκαινο.

Η ορθολογική έρευνα των Π.Κ. ιδιαίτερα στα τμήματα της υφαλοκρηπίδας που είναι κοντά στην ξηρά και όπου το βάθος του θαλάσσιου πυθμένα είναι μικρό, απαιτεί πολύ καλή γνώση της γεωλογίας και γεωμορφολογίας της γειτνιάζουσας χέρσου και η πλήρης έρευνά της πρέπει πάντα να προηγείται μίας υποθαλάσσιας έρευνας για Π.Κ. Τα βασικά ερωτήματα και οι προϋποθέσεις γέννεσης Π.Κ. απαιτούν πολύ καλή γνώση και μελέτη των μητρικων πετρωμάτων, των συνθηκών διάβρωσης, αποσάθρωσης και μεταφοράς του προσχωματικού υλικού στην περιοχή εναπόθεσης. Είναι φυσικό λοιπόν ότι όλα αυτά συνδέονται με το όλο γεωλογικό, γεωτεκτονικό περιβάλλον της γειτνιάζουσας χέρσου. Στην περίπτωση που ερευνούμε για επέκταση, προς την πλευρά της θάλασσας, Π.Κ. που βρίσκονται ήδη στη χέρσο (κοιτάσματα που σχηματίσθηκαν κύρια στη διάρκεια του Πλειστόκαινου κάτω από μία χαμηλότερη στάθμη θάλασσας) τότε είναι φυσικό να προσανατολισθούμε προς επέκταση της έρευνας και προς την πλευρά της θάλασσας, έχοντας και πάλι σαν βασικό εργαλείο την πολύ καλή γνώση της γεωλογίας της χέρσου αυτής.

7. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ – ΤΡΟΠΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Οπως είναι λογικό από όσα είπαμε ως τώρα πρέπει να συνυπάρχουν 3 προϋποθέσεις απαραίτητες για τον σχηματισμό Π.Κ. δηλ.

Το πέτρωμα-"πηγή" από το οποίο τα διάφορα ορυκτά θα προέλθουν

Η οδός και διαδικασία μεταφοράς στη διάρκεια της οποίας τα ορυκτά αυτά αποχωρίζονται μηχανικά και έτσι έμμεσα υφίστανται φυσικό εμπλουτισμό,

Η τοποθεσία εναπόθεσης στην οποία τα παραπάνω ορυκτά εναποτίθενται και συσσωρεύονται.

Ετσι ένα πρώτο βήμα για τον εντοπισμό τέτοιων κοιτασμάτων είναι η μελέτη της γεωλογικής βιβλιογραφιας για την περιοχή ενδιαφέροντος (πετρολογία-ορυκτολογία). Κατόπιν μελετώνται προσεκτικά τα πετρώματα κατά μήκος της ακτής και εντός της περιοχής αποστράγγισης από τα ποτάμια που φθάνουν στη θάλασσα κατά μήκος της ακτής.

Οι αποδείξεις για "δυνάμει" Π.Κ. προέρχονται από περιοχές γνωστής μεταλλοφορίας, ύπαρξης μεγάλων κοιτασμάτων γνωστής ή πιθανής σύνδεσής τους με ορυκτά ή αυτοφυή μέταλλα οικονομικού ενδιαφέροντος. Το παραπάνω πρώτο στάδιο έρευνας δεν είναι μόνο βασικό και απαραίτητο αλλά και εκείνο που κοστίζει λιγότερο. Είναι φανερό ότι σε περίπτωση απουσίας π.χ. τέτοιων πετρωμάτων, σε περίπτωση αρνητικών αποτελεσμάτων από την έρευνα της πρώτης φάσης

η απόφαση για συνέχιση των ερευνων πρεπει να είναι αρνητική.

Εξ'ίσου σημαντικό εκτός από τη φύση και κατανομή των μητρικών πετρωμάτων, είναι και το να καταλάβουμε την πρόσφατη γεωλογική ιστορία και διαδικασία της αποσάθρωσης και εναπόθεσης στην υπο μελέτη περιοχή ιδίως αυτής που βρίκεται κάτω από τα νερά κοντα στην ακτή. Σαν γενικό κανόνα θα λέγαμε ότι "ιστορικά" συμβάντα που καθορίζουν την αποσάθρωση, μεταφορά και εναπόθεση των με οικονομική σημασία ορυκτών γίνεται ολοένα και δυσκολότερη καθώς κινούμαστε προς υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Υπάρχουν δύο λόγοι γι'αυτό :

α) Αποσάθρωση λόγω παγετώνων σε πολλές περιπτώσεις μετακίνησε πρώην υπάρχοντα κοιτάσματα και έτσι εξαφάνισε τις γεωλογικές αποδείξεις.

β) Εναπόθεση λόγω της δράσης παγετώνων επικαλύπτει τις πραγματικές και τοπικές γεωλογικές αποδείξεις δεδομένου ότι έχουμε επικάλυψη με παχύ στρώμα από κορρήματα προϊόντα της περιόδου των παγετώνων. Ειναι επίσης αναγκαία η πολύ καλή γνώση της γεωλογικής ιστορίας στη διάρκεια του Τεταρτογενούς ιδίως στην στενότερη περιοχή ενδιαφέροντος ώστε να υπάρξει ουσιαστική ερμηνεία των γεωλογικων και γεωχημικών δεδομένων που αποτελεί τη βάση για αποφάσεις σχετικά με τη συνέχιση της έρευνας. Η χρήση της γεωφυσικής και των διαφόρων μεθόδων της, έχει αποδειχθεί σημαντικής σημασίας για την έρευνα των Π.Κ. και των υποθαλάσσιων περιβαλλόντων που φιλοξενούν τα κοιτάσματα αυτά.

Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το σημαντικώτερο μέρος που αφορά την γέννεση των Π.Κ. συνδέεται με τη διαδρομή μεταφοράς (παράκτιος ζώνη, ζώνη ρευμάτων και παλλοιριών, βυθισμένη τάφρος, ποτάμια, κλπ) στη διάρκεια της οποίας τα κυριώτερα φαινόμενα (δηλ. εκλεκτικός διαχωρισμος, συγκέντρωση και εμπλουτισμός μετάλλων) που οδηγούν στον τελικό σχηματισμό των Π.Κ., λαμβάνουν χώρα.

Είναι έτσι φανερό ότι :

i. η πλήρης κατανόηση της πρόσφατης γεωλογικής ιστορίας ιδίως μετά το Τεταρτογενές είναι απαραίτητη προκειμένου να έχουν νόημα οι όποιες ερμηνείες δοθούν στη σύνθεση των γεωλογικών, γεωχημικών και γεωφυσικών δεδομένων, συνθεση που θα αποτελέσει βασικό στοιχείο για τη λήψη απόφασης συνέχισης ή διακοπής της έρευνας.

ii. απαιτείται η δυνατόν πληρέστερη γεωμορφολογική μελέτη και ο συσχετισμός της με όλα τα γεωλογικά στοιχεία ιδίως τα πλέον πρόσφαρα από πλευράς ηλικίας.

Είναι λογικό με βάση όλα τα παραπάνω και έτσι συμβάινει ότι στη μεγάλη τους πλειοψηφία τα Π.Κ. βρίσκονται πιό συχνά και είναι πιό πολλά σε νεώτερους και όχι παλαιότερους γεωλογικούς σχηματισμούς. Η εξήγηση του φαινομένου αυτού συνδέεται με δύο παραγοντες :

α) Τα Π.Κ. βρίσκονται υπό την μορφή χαλαρων σχηματισμών (κόκκων ή και κροκαλλών) και επομένως μπορούν να υποστούν εύκολα την όποια επεξεργασία και διάβρωση.

β) Σχηματίζονται συνηθέστατα πάνω από τη στάθμη της θάλασσας.

Ετσι με βάση τους παραπάνω δύο παράγοντες τα Π.Κ. είναι πολύ εύκολα να διαβρωθούν και να πάψουν να αποτελούν οικονομικό στόχο. Επομένως μόνο σε μοντέρνους, νέους γεωλογικούς σχηματισμούς του Τεταρτογενούς ή και νεώτερους μπορούμε να αναμένουμε με μεγαλύτερες πιθανότητες Π.Κ. σχηματισμούς στούς οποίους το φαινόμενο της διάβρωσης θα έχει λειτουργήσει λιγότερο χρονικά.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να προδιαγράψουμε κάποιες βασικές απαιτήσεις και προϋποθέσεις που είναι αναγκαίες για την έρευνα – εκτίμηση των Π.Κ.

Ι. Σ ε ό τ ι α φ ο ρ ά τ η ν π ρ ο έ λ ε υ σ η

1. Είναι απόλυτα αναγκαίο ο δυνατόν ακριβέστερος καθορισμός της γραμμής που ακολουθούσε το επίπεδο της θάλασσας στην διάρκεια του Πλειστόκαινου. Αυτό θα μας βοηθήσει να προσδιορίσουμε τις θέσεις που είχε στο γεωλογικό παρελθόν η γραμμή του επιπέδου της θάλασσας σε σχέση με την σημερινή υφαλοκρηπίδα πράγμα που οδηγεί στις πιθανές περιοχές όπου θα μπορούσαν να σηματισθούν Π.Κ.

2.Τα θεωρητικά μοντέλα συγκέντρωσης και διατήρησης των Π.Κ. πρέπει να επιβεβαιωθούν από την πρακτική έρευνα.

3.Τα εξαιρετικά λεπτόκοκκα προσχωματικά υλικά που αποτελούν συχνά βασικό οικονομικό στόχο σε ότιαφορά Π.Κ. (π.χ. χρυσός-λευκόχρυσος) πρέπει να αποτελέσουν αντικειμενο συστηματικότερης έρευνας σε ότι αφορά τα μοντέλα γέννεσης, τις τεχνικές εκτίμησης-υπολογισμού των αποθεμάτων τους, τις τεχνολογίες εμπλουτισμού.

ΙΙ. Σ ε ό τ ι α φ ο ρ ά τ ι ς μ ε θ ό δ ο υ ς έ ρ ε υ ν α ς

1. Απαιτείται καλύτερη αλληλοενημέρωση, επικοινωνία μεταξύ εκείνων που σχεδιάζουν κατασκευάζουν τα ειδικά μηχανήματα και τεχνικές για υποθαλάσσιες έρευνες, και των χρηστών και κύρια των γεωλόγων.

2.Ο σχεδιασμός προγραμμάτων για την επεξεργασία και αξιολόγηση των στοιχειων έρευνας, εκτιμηση των αποθεμάτων των Π.Κ. πρέπει να περιλαμβάνει και την στατιστική προσέγγιση. Οι δυσκολίες της έρευνας και των εκτιμήσεων για πολλούς παραμέτρους στην υποθαλάσσια έρευνα ΟΠΥ και όχι μόνο Π.Κ. – απαιτούν ότι τα όρια εμπιστοσύνης όλων των δεδομένων θα έχουν καθορισθεί.

ΙΙΙ. Σ ε ό τ ι α φ ο ρ ά τ η ν ε κ τ ί μ η σ η τ ω ν Π.Κ

1. Οι μέθοδοι οικονομοτεχνικής εκτίμησης των αποθεμάτων σε κοιτάσματα στην ξηρα, πρέπει κατ'αναλογία να ακολουθώνται καιστην οικονομοτεχνική εκτίμηση των υποθαλάσσιων ΟΠΥ, συμπεριλαμβανομένων και των προσχωματικών.

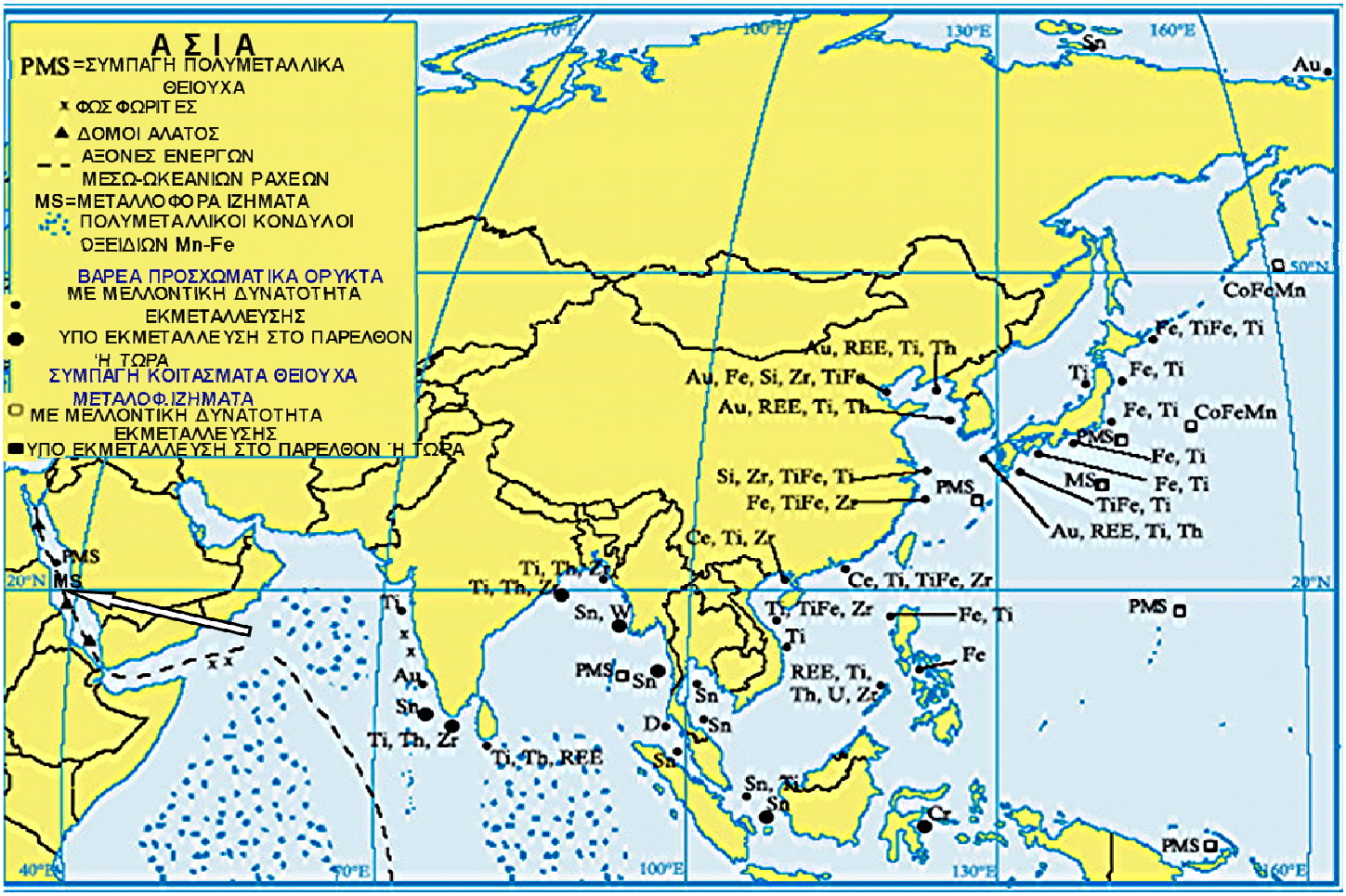
2. Απαιτείται συντονισμός όλων των ειδικοτήτων π.χ. αυτών που συλλέγουν και αναλύουν δεδομένα και αυτών που κάνουν την τελική οικονομοτεχνική εκτίμηση.

8. ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΩΤΕΡΑ Π.Κ. ΚΑΙ Η ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΗ ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΟΥΣ

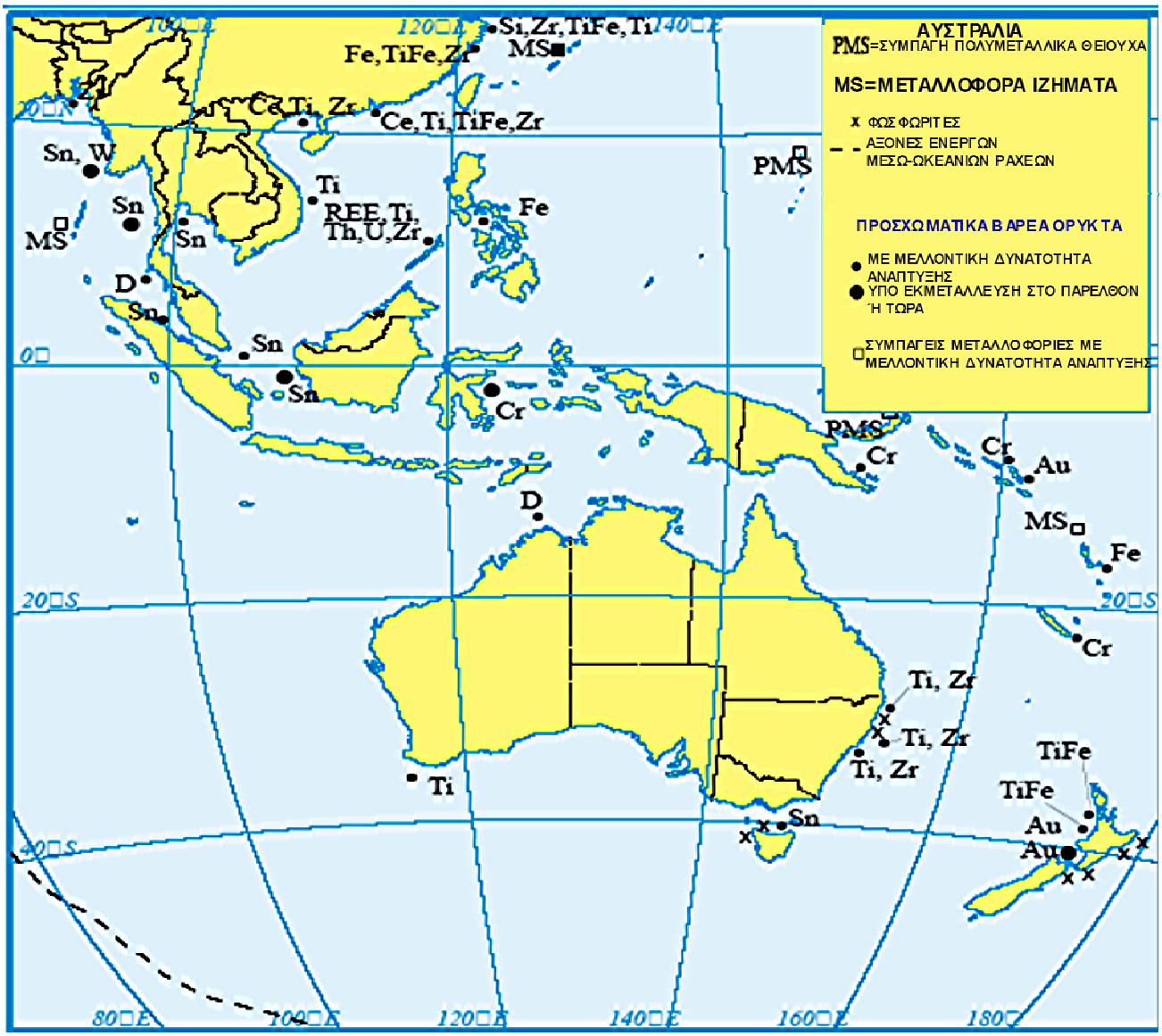
Στον **Πίνακα ΣΤ2.** παρουσιάζονται οι περιοχές που υπήρξε ή υπάρχει και σήμερα μεταλλευτική δραστηριότητα ΥΠΚ. ενώ στις Φωτ.ΣΤ.2 έως ΣΤ7 φαίνονται οι πλέον ενδιαφέρουσες περιοχές ύπαρξης κάθε είδους Π.Κ. σε παγκόσμιο επίπεδο. Από τIς φωτογραφίες αυτές είναι φανερή η εκτεταμένη ύπαρξη τέτοιων κοιτασμάτων καθώς και το ευρύ φάσμα στη φύση και το είδος τους. Παρακάτω περιγραφονται τα σημαντικώτερα Π.Κ.:

ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΒΑΡΕΑ ΟΡΥΚΤΑ	ΜΕΤΑΛΛΑ	ΤΥΠΟΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ	ΒΑΘΟΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ (Μ)	ΠΕΡΙΟΧΗ (ΓΕΩΓΡΑΦ.ΠΛΑΤΟΣ&ΜΗΚΟΣ)
Thai Muang	Tin (Sn)	Placer	10	Thailand, 8.5° N, 98.2° E
Tongkah Harbour	Tin (Sn)	Placer	20	Thailand, 7.9° N, 98.5° E
Takua Pa	Tin (Sn)	Placer	0-18	Thailand, 9.0° N, 98.3' W
Copat Kelabat Bay	Tin (Sn)	Placer	0-1	Indonesia, 1.6° S, 105.7° E
Laut Tempilang	Tin (Sn)	Placer	10	Indonesia, 2.2° S, 105.7° E
Belitung (Billiton)	Tin (Sn)	Placer	10-20	Indonesia, 3.0° S, 108.2° E
Heinze Basin	Tin, Tungsten (Sn,W)	Placer	16-30	Myanmar, 14.7° N, 97.8° E
Nome	Gold (Au)	Placer	18-20	Alaska, USA,
(Presently inactive)				64.5° N, 165.4° W
Bluff Soloman	Gold (Au)	Placer	0-10	Alaska, USA,
(Presently inactive)				64.6° N, 164.4° W
Gillespie's Beach	Gold (Au)	Placer	0-15	New Zealand, 43.4° S, 169.8° W
Richard's Bay	Titanium, Zirconium (Ti,Zr)	Placer	0-30	South Africa, 28.8° S, 32.0° E
Fort Dauphin	Ti, Th, Σπάνιες Γαίες(Zr,Nb,Y,Ce,La)	Placer	0	Madagascar, 25.0°S, 47.0° E
Kanniyaknmari Manavalakurichi	Ti, Zr,Th	Placer	0	India, 8.2° N, 78.5° E
Chatrapur	Ti, Zr,Th	Placer	0	India, 19.4° N, 85.0° E
Castle Island	Ba	Consolidated Layered Material	0-5	Alaska, USA, 56.8° N, 133.0 W
Sulawesi	Χρωμίτης(Cr)	Placer	0	Indonesia, 2.0° S, 121.5° E

Πίνακας ΣΤ2.Περιοχές με ενεργή εκμετάλλευση υποθαλασσίων προσχωματικών κοιτασμάτων



ΦΩΤ.ΣΤ2.ΥΠΚ καθώς και άλλες ΥΟΠΥ στην Ασιατική Ήπειρο

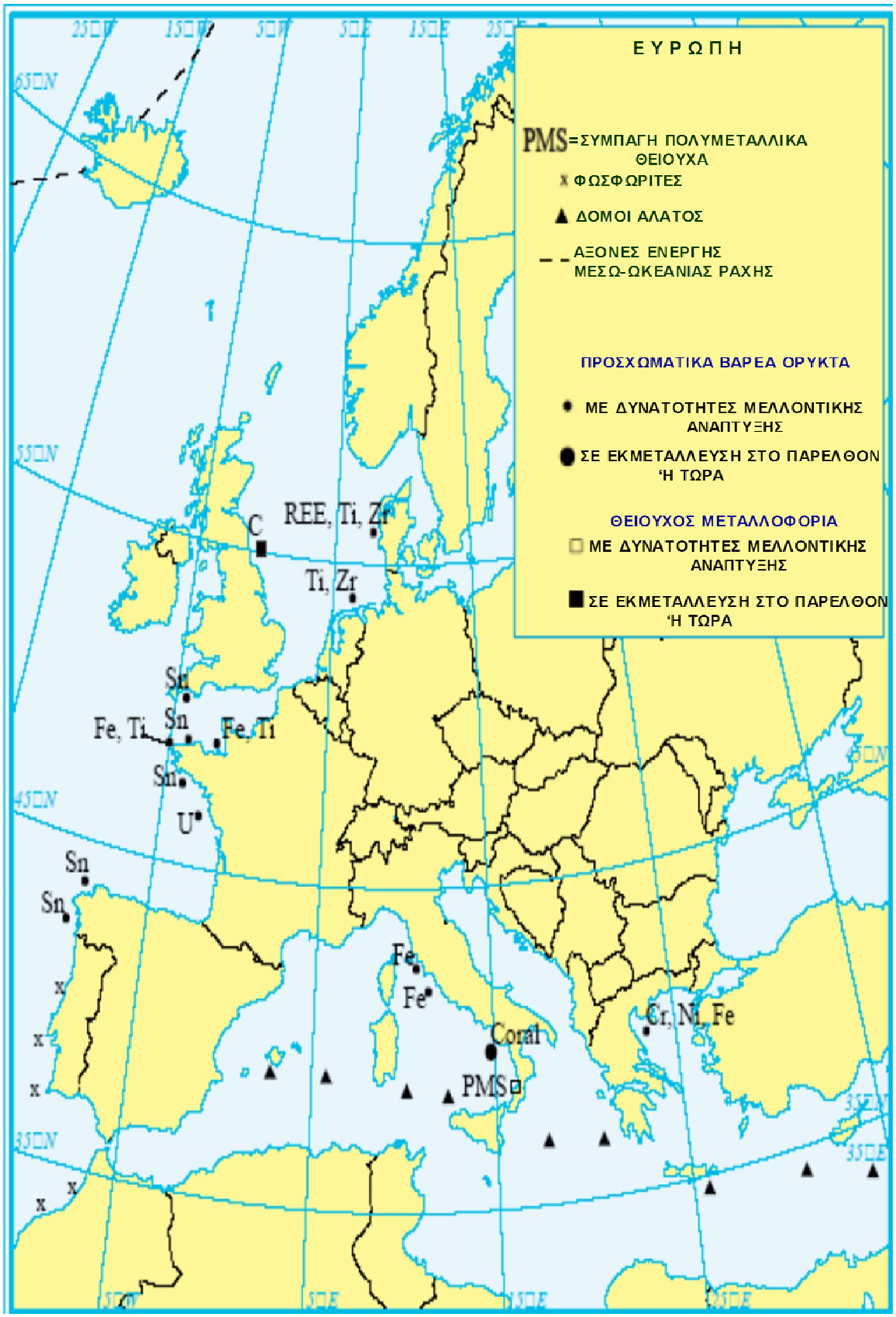


ΦΩΤ.ΣΤ3. ΥΠΚ καθώς και άλλες ΥΟΠΥ στην Αυστραλία. D=Διαμάντια

ΦΩΤ.ΣΤ4. ΥΠΚ καθώς και άλλες ΥΟΠΥ στην Αφρική. D=Διαμάντια

ΦΩΤ.ΣΤ5. ΥΠΚ καθώς και άλλες ΥΟΠΥ στην Β. και Κεντρική Αμερική

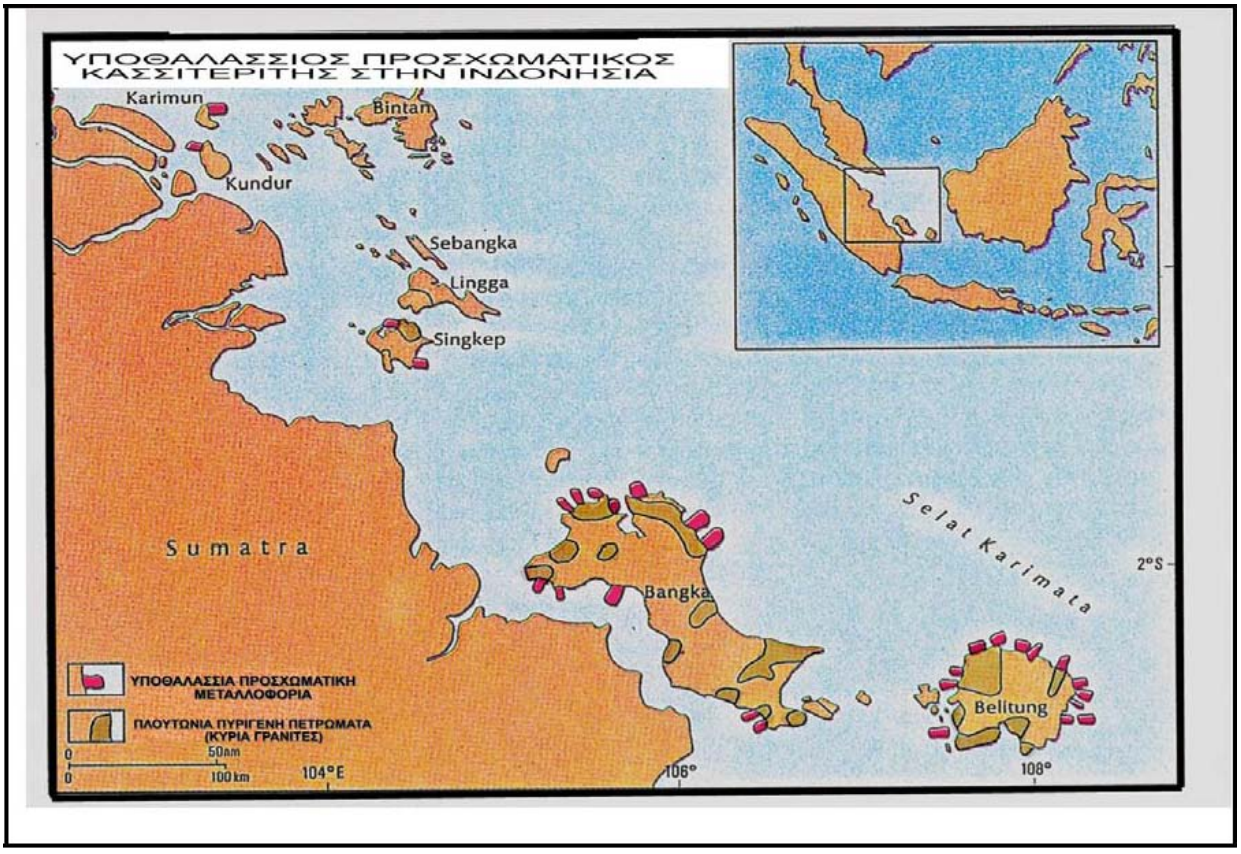
ΦΩΤ.ΣΤ6. ΥΠΚ καθώς και άλλες ΥΟΠΥ στην Ν.Αμερική


Ε Υ Ρ Ω Π Η
PMS=ΣΥΜΠΑΓΗ ΠΟΛΥΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΘΕΙΟΥΧΑ
x ΦΩΣΦΩΡΙΤΕΣ
ΔΟΜΟΙ ΑΛΑΤΟΣ
ΑΞΟΝΕΣ ΕΝΕΡΓΗΣ ΜΕΣΩ-ΩΚΕΑΝΙΑΣ ΡΑΧΗΣ
ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΒΑΡΕΑ ΟΡΥΚΤΑ
ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΣΕ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ Ή ΤΩΡΑ
ΘΕΙΟΥΧΟΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑ
ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΣΕ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΣΤΟ ΠΑΡΕΛΘΟΝ Ή ΤΩΡΑ
REE, Ti, Zr
C
Ti, Zr
Sn
Fe, Ti
Fe, Ti
U
Fe
Cr, Ni, Fe
Coral
PMS
65°N
55°N
45°N
35°N

ΦΩΤ.ΣΤ7. ΥΠΚ καθώς και άλλες ΥΟΠΥ στην Ευρώπη

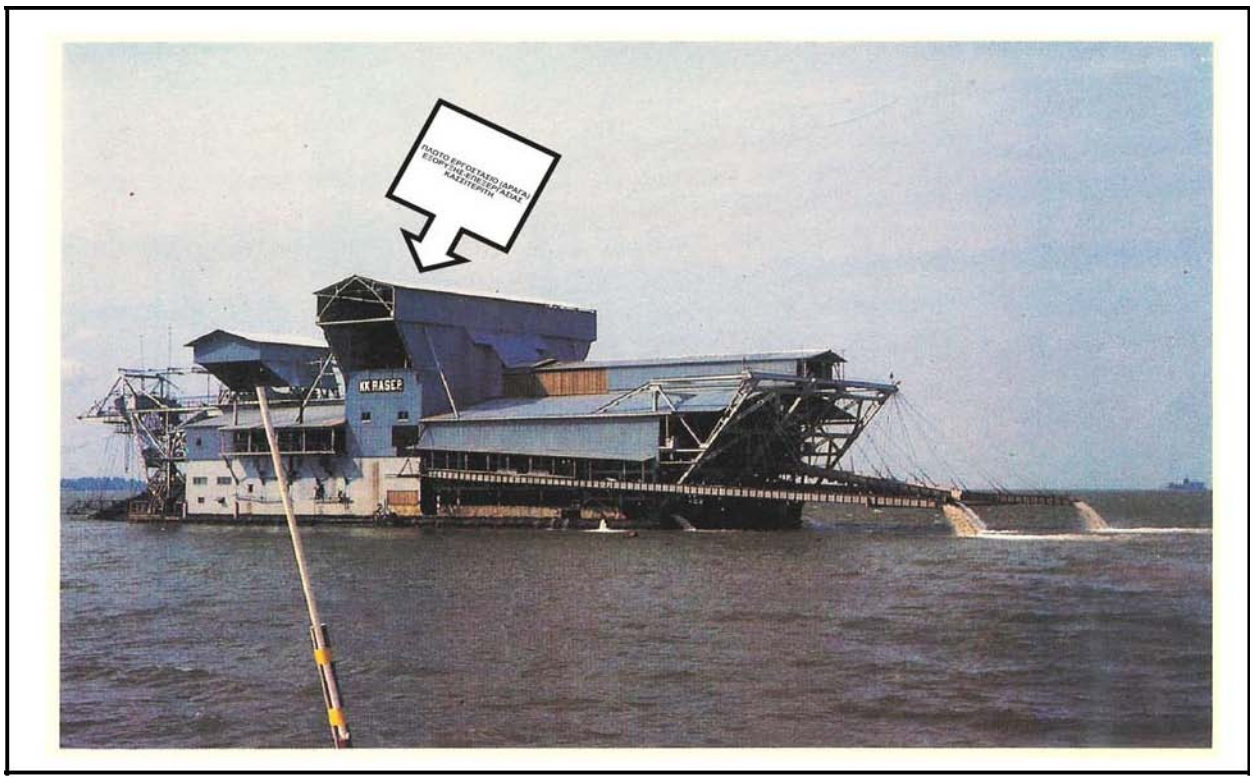
Ι. Π.Κ. ΚΑΣΣΙΤΕΡΟΥ

Ο κασσιτερίτης (SnO_2) ειναι προς το παρον το πλέον σημαντικό προσχωματικό κοίτασμα σε υποθαλάσσιο περιβάλλον. Περίπου το 50% της παγκόσμιας παραγωγής προέρχεται από υποθαλάσσιες εκμεταλλεύσεις που βρίσκονταικυρίως κατά μήκος ενός τόξου που αρχίζει από την Βιρμανίας και μέσω της Ταϋλάνδης και Μαλαισίας φθάνει στην Ινδονησία. Τα μητρικά πετρώματα είναι γρανίτες πλούσιοι σε μίκα. Τα συγκεκριμένα Π.Κ. σχηματίσθηκαν στη διάρκεια του Πλειστόκαινου σε ποτάμια στρώματα που διαμορφώθηκαν τελικά στη διάρκεια του τελευταίου σταδίου του κύκλου της διάβρωσης σε υγρό κλίμα, και βρίσκονται τώρα κάτω από την επιφάνεια της θάλασσας στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας. Μικρότερα κοιτάσματα κασσιετερίτη έχουν βρεθεί και υπέστησαν κατά καιρούς εκμετάλλευση στην υφαλοκρηπίδα της Κορνουάλλης (Βρεταννία) και της Τασμανίας. Η Ινδονησία είναι ίσως η πιο σημαντική περίπτωση της εξόρυξης τέτοιου είδους μεταλλεύματος. Τα πρωτογενή κοιτάσματα Sn συνδέονται με γρανιτικά πετρώματα και τα βαρέα ορυκτά(κύρια κασσιτερίτης) συγκεντρώθηκαν και εναποτέθηκαν σε παλαιο- κοιλάδες του Τεταρτογενούς ή σημερινές και σε φυσικές παγίδες οι οποίες εκτείνονται υποθαλασσίως στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας. **(ΦΩΤ.ΣΤ8.)** (Βλπ.επίσης ΦΩΤ.ΣΤ2&ΣΤ3.)



ΦΩΤ.ΣΤ 8. Οι υποθαλάσσιες προσχωματικές μεταλλοφορίες κασσιτέρου στην Ινδονησία

Προς το παρόν οι εκμεταλλεύσεις περιορίζονται σε βάθος θάλασσας 50 μέτρων αλλά τέτοια κοιτάσματα βρίσκονται και σε μεγαλύτερα βάθη και μπορεί να εξορυχθούν στο μέλλον.(**ΦΩΤ.ΣΤ9.**)



ΦΩΤ.ΣΤ9. Υποθαλάσσια εξόρυξη και επεξεργασία μεταλλεύματος προσχωματικού κασσιτερίτη σε πλωτό εργοστάσιο(Δράγα)

Το μεταλλευτικό δυναμικό της Ινδονησίας σε Sn ανέρχεται σε 1.6 εκατομ. τόνους από το οποίο το 40% είναι σε υποθαλάσσιο προσχωματικό κασσιτερίτη.

II. Π.Κ. ΧΡΥΣΟΥ-ΠΛΑΤΙΝΑΣ

Υποθαλάσσια Π.Κ. χρυσού-λευκόχρυσου βρίσκονται συνήθως σε περιβάλλοντα υψηλής ενέργειας και πλησίον πρωτογενων κοιτασμάτων Au και Pt που βρίσκονται στην ξηρά. Τέτοιες εμφανίσεις υπάρχουν στην Αλάσκα, Νέα Σκωτία και στην θάλσσας του Labter στη Σοβιετική Ενωση. Αποτελούνται κύρια από χονδρόκοκκο υλικό που κατά προτίμηση βρίσκεται μέσα σε κύρια μάζα που αποτελείται από λατύπες. Υπάρχουν όμως και εμφανίσεις πολύ λεπτόκοκκων σχηματισμών με Au ή Pt σε όρμους και περιοχές της υφαλοκρηπιδας.

III. Π.Κ. ΤΙΤΑΝΙΟΥ

Το μεγαλύτερο ποσοστό παραγωγής ορυκτών τιτανίου κύρια ρουτιλίου (TiO_2) και ιλμενίτη $FeTiO_3$) προέρχεται από τεράστια Π.Κ. σε ακρογιαλιές κύρια από την Αυστραλία και την Ν. Αφρική. **(ΦΩΤ.ΣΤ 10.)(Βλπ. Επίσης ΦΩΤ.ΣΤ2&ΣΤ3).**

ΦΩΤ.ΣΤ 10. Παράκτια προσχωματική μεταλλοφορία Ιλμενίτη σε ακτές της Αυστραλίας

Εξ αιτίας της μεγάλης τους ανθεκτικότητας στα χημικά και φυσικά φαινόμενα της διάβρωσης, τα ορυκτά του Ti στην προσχωματική τους μορφή μεταφέρονται και μπορούν να βρεθούν πολύ μακριά σε σχέση με το μητρικό πέτρωμα. Π.Κ. του τιτανίου και κύρια πλούσια σε ρουτίλιο έχουν σήμερα μεγάλη οικονομική αξία εξ αιτίας της χρήσης σε πολλές εφαρμογής του Ti που είναι σήμερα ένα στρατηγικό μέταλλο. Υποθαλάσσια κοιτάσματα, προϊόντα διάβρωσης πυριγενών πετρωμάτων δυνατόν να βρεθούν στα στόμια ποταμών. Σαν χαρακτηριστικό παράδειγμα αναφέρουμε προσχωματικά κοιτάσματα με ιλμενίτη σε περιοχές της υφαλοκρηπίδας της Μοζαμβίκης και Ινδίας.

V. Π.Κ. ΧΡΩΜΙΟΥ - ΣΙΔΗΡΟΥ

Τα προσχωματικά βαρέα ορυκτά πλούσια σε Σίδηρο-Χρώμιο-κύρια ο Μαγνητίτης έχουν εξαχθεί σε μεγάλες ποσότητες από τη βορειοδυτική ακτή της Νέας Ζηλανδίας, την Ινδονησία (Ιάβα), τις Φιλιππίνες (Luzon), και της Ιαπωνίας (Hokkaido). Στην Ιαπωνία αυτός ο τύπος Μαγνητίτη προστίθεται σε άλλα μεταλλεύματα σιδήρου για να παρατείνει τη διάρκεια των υψηλής αξίας επενδύσεων φούρνων. Ο χρωμίτης [$(Mg,Fe)Cr_2O_3$] και ο μαγνητίτης (Fe_30_4) είναι τα πλεόν σημαντικά συστατικά ορισμένων σχηματισμών σκουρόχρωμων άμμων (συνήθως μαύρων) ακρογιαλιών που συχνά επεκτείνονται και στα ανώτερα τμήματα της υφαλοκρηπίδας. Τα μητρικά πετρώματα είναι συνήθως οφιολιθικά συμπλέγματα, είτε βασικά ηφαιστειακά πετρώματα. **Π.Κ. (Βλπ.ΦΩΤ.ΣΤ2&ΣΤ3)**

VI. Π.Κ. ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ ΛΙΘΩΝ

Πολλοί πολύτιμοι λίθοι όπως π.χ. ρουμπίνια και ζαφείρια συναντώνται κατά προτίμηση σε ποτάμια ιζήματα και στρώματα σαν τυπικό Π.Κ. Η Σρι-Λάνκα είναι το γνωστότερο παράδειγμα. Ποτάμιοι σχηματισμοί που εμπεριέχουν πολύτιμους λίθους δυνατόν να εκτείνονται και σε ανώτερα τμήματα τη υφαλοκρηπίδας. Τα διαμάντια εξορύσσονται στα ιζήματα παραλιών και της ηφαλοκρηπίδας κατά μήκος της δυτικής ακτής της Νότιας Αφρικής και της Ναμίμπιας(Βλπ.ΦΩΤ.ΣΤ4) και χρησιμοποιούνται ως κοσμήματα και για τις βιομηχανικές διαδικασίες κοπής και λείανσης.Προφανώς πρωτογενή κοιτάσματα διαμαντιών μεταφέρθηκαν από τον ποταμό Orange στη θάλασσας στη διάρκεια του Πλειστόκαινου και εναποτέθηκαν σε φυσικές παγίδες με λατύπες σε ένα περιβάλλον υψηλής ενέργειας.

VII. Π.Κ. ΜΕ ΜΟΝΑΖΙΤΗ ΚΑΙ ΖΙΡΚΟΝΙΟ

Τα μεταλλεύματα Ζιρκονίτης ($ZrSiO_4$), Γρανάτης, Σιλλιμανίτης και Μοναζίτης [$(Ce,La,Y,Th)PO_4$] ανακτώνται συνήθως ως υποπροϊόντα της μεταλλείας των άμμων πλουσίων σε Ιλμενίτη που αναφέραμε παραπάνω. Χρησιμοποιούνται σαν συστατικά στις **πυρίμαχες** άμμους χυτηρίων (Ζιρκονίτης, Σιλλιμανίτης), ως λειαντικά (Γρανάτης, Ζιρκονίτης), ή ως πρώτη ύλη (Μοναζίτης) για τα μέταλλα των σπανίων γαιών (Ce, La, Nd, Th), τα οποία ανακτώνται σαν υποπροϊόντα για διάφορες και σημαντικές χρήσεις συμπεριλαμβανομένων: καταλυτών στον καθαρισμό του ακατέργαστου πετρελαίου, την κατασκευή ειδικών οθονών βίντεο, των λαμπτήρων φθορισμού και μερικών ραδιενεργών χρήσεων.. Π.Κ. πλούσια σε μοναζίτη υφίστανται εκμετάλλευση κύρια στη Βραζιλία και μερικώς στην Ν. Ινδία.

ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ

Τα Σ.Β.Ο. τοποθετούνται από συγκεντρώσεις άμμων, λατύπων ή κελύφων νεκρών οργανισμών και χρησιμοποιούνται κύρια στην οικοδομική βιομηχανία. Προς το παρόν είναι από πλευράς ποσοτικής – ή πλέον ενδιαφέρουσα υπό εκμετάλλευση κατηγορία υποθαλασσίων ΟΠΥ.

Οι άμμοι και οι λατύπες στις μοντέρνες ακρογιαλιές προέρχονται από την διάβρωση και αποσάθρωση των απότομων κατηφερειών των πετρωμάτων (Cliffs) και την ανακατανομη παλαιοτέρων ιζημάτων. Κοιτάσματα του τύπου αυτού – και σε ότι αφορά την υφαλοκρηπίδα – δυνατόν να προέρχονται από εναπόθεση σύγχρονων υλικών από την γειτνιάζουσα χέρσο αν και στην πλειοψηφία των περιπτώσεων η υφαλοκρηπίδα κατακλύζεται από υπολειμματικά ιζήματα του Τεταρτογενούς ή και παλαιότερων ηλικιών. Τα ιζήματα αυτά περιλαμβάνουν ποτάμιους σχηματισμούς, σχηματισμούς παγετώνων άλλους και λατύπες ακρογιαλιών. Ολοι αυτοί οι σχηματισμοί εναποτέθηκαν όταν η στάθμη της θάλασσας χαμήλωσε σε σχέση με την γειτνιάζουσα ακτή κύρια λόγω του χαμηλώματος της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια της περιόδου των παγετώνων και σε μερικές περιπτώσεις ανύψωσης της ξηράς.

Τα σύγχρονα ιζήματα από τις περιοχές με τροπικό κλίμα είναι συχνά πλούσια σε χαλαζία καί μεταφέρθηκαν σε περιοχές υφαλοκρηπίδων στη διάρκεια του Ανωτέρου Πλειστοκαίνου ή Κατωτέρου Ολοκαίνου. Αυτό συχνά συμβαίνει όταν έχουμε τεκτονική αστάθεια. Μερικά απο τα κοιτάσματα του τύπου αυτου οφείλουν την σημερινη τους θέση σε φαινόμενα όπως δράση κυμμάτων, παλλοιριακά ρεύματα, δράση παγετώνων κ.λ.π. ενώ άλλα ιζήματα παραμένουν στην αρχική θέση της εναπόθεσης των.

ΑΜΜΟΙ-ΛΑΤΥΠΕΣ

Σ ύ σ τ α σ η

Οι λατύπες που βρίσκονται κάτω από τα νερά αποτελούνται από θραύσματα σταθερών, συμπαγών πετρωμάτων όπως χαλαζίτες, σχιστοκερατόλιθοι, κεραλόλιθοι δηλ. πετρώματα τα οποία μπορούν να μεταφερθούν σε σημαντικές αποστάσεις χωρίς να σπάσουν ή να υποστούν αλλοιώσεις φυσικά λιγότερο σταθερά θραύσματα πετρωμάτων απαντουν σε κάποιες αποστάσεις. Π.χ. μικρά ποσά Διαβάση απαντούν σε λατύπες σε υποθαλάσσιες περιοχές στις Ανατολικές Η.Π.Α. ενώ ένα πολύπλοκο συσσωμάτωμα πυριτολίθων, ηφαιστειακών πετρωμάτων, ψαμμιτών και χαλαζιακών διορίτων απαντάται με μορφή λατυπών σε παρόμοιες περιοχές στη πολιτεία της Ουάσινγκτον.

Οι άμμοι γενικά συνίστανται από σταθερά ορυκτά στις φυσικοχημικές συνθήκες της επιφάνειας της Γης ορυκτά, ανάμεσα στα οποία ο χαλαζίας κυριαρχεί. Φυσικά μη χαλαζιούχοι άμμοι υπάρχουν όπως π.χ. οι μαύρες ηφαιστειακοί άμμοι στις ακρογιαλιές της Σαντορίνης στη χώρα μας και της Χαβάης στις Η.Π.Α.

Μικτά συσσωματώματα άμμων που περιέχουν χαλαζία, αστρίους και άλλα ορυκτά απαντούν επίσης κύρια σε περιοχές όπου το πέτρωμα πηγή είναι γρανίτης ή άλλα πολύπλοκα πετρώματα.

Π η γ έ ς

Τα περισσότερα κοιτάσματα άμμων και λατυπών σε ποτάμια και λίμνες είναι παγετώδους προελεύσεως και προέρχονται από τη διάβρωση των πετρωμάτων που βρίσκονται πολύ κοντά. Παρομοίως σε μοντέρνες ακρογιαλιές τα περισσότερα συσσωματώματα προέρχονται από τη διάβρωση τοπικών "πηγών" όπως π.χ. αποτόμων επιφανειακών όγκων πετρωμάτων. Υπάρχουν όμως και μερικά τέτοια κοιτάσματα σε ακρογιαλιές που προέρχονται από την μεταφορά υλικού από υποθαλάσσιες περιοχές στις ακρογιαλιές λόγω της δράσης κυμάτων και ρευμάτων. Κοιτάσματα συσσυματωμάτων ορυκτών σε παράκτιες υποθαλάσσιες περιοχές δυνατόν να προέρχονται από την μεταφορά υλικών από τη γειτονική χέρσο, αλλά αρκετά μοντέρνα τέτοια κοιτάσματα είναι τα επανεργασμένα προϊόντα κοιτασμάτων "λειψάνων" που είχαν σχηματισθεί σε διάρκεια περιόδων κατά τις οποίες το επίπεδο της θάλασσας ήταν αρκετά χαμηλότερα. Πολλά από τα παράκτια υποθαλάσσια κοιτάσματα άμμων και λατυπών σε μέσα και υψηλά γεωγραφικά πλάτη όπως π.χ. στη Β.Δ. Ευρώπη και Β. Αμερική είναι αποτέλεσμα της επαναεπεξεργασίας θραυσμάτων παγετώνων που εναποτέθηκαν στη διάρκεια των μοντέρνων περιόδων παγετώνων. Οταν τα μεγάλα καλύμματα πάγων που κάλυπταν σημαντικές περιοχές του Β'ημισφαιρείου έλιωσαν πρίν μερικές χιλιάδες χρόνια εναπέθεσαν ένα συσσωμάτωμα θραυσμάτων ορυκτών και πετρωμάτων στη μορφή του αργιλολίθου (λιθομιγούς αργίλου).

Η επακολουθήσασα επανεργασία αυτού του υλικού πρώτα στη ζώνη της ακτής κατά τη διάρκεια της ανόδου του επιπέδου της θάλασσας λόγω της επίκλυσης, και κατόπιν από τη δράση των κυμμάτων ή ρευμάτων μετά την καταβύθιση έδωσε γέννεση σε πολλά από τα εμπορικά εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα συσσωματωμάτων ορυκτών στην υφαλοκρηπίδα των βορείων περιοχών σήμερα π.χ. τα κοιτάσματα άμμων στη υφαλοκρηπίδα της Βρεττανίας πιστεύετε ότι κύρια προέρχονται από κοιτάσματα του πλειστοκαίνου. Μερικά κοιτάσματα άμμων και λατυπών με πολύπλοκη λιθολογική σύσταση έχουν περισσότερες της μίας πηγές όπως συμβαίνει σε ωρισμένες περιοχές.

Μεταφορά υποθαλασσίως

Η μεταφορά των άμμων και λατυπών στην υφαλοκρηπίδα γίνεται κύρια μέσω της δράσης των κυμμάτων και της δράσης των ρευμάτων. Μετά από πολύχρονες μελέτες αποδείχθηκε ότι τα φαινόμενα της μεταφοράς ιζημάτων, κύρια από ρεύματα, συνδέονται με μιά σειρά μορφολογικών χαρακτηριστικών στον θαλάσσιο πυθμένα όπως πχ. κυμμάτων άμμων. Ο STRIDE (1963) απέδειξε ότι το ποσό του μεταφερομένου υλικού είναι μή γραμμική συνάρτηση της ισχύος του ρεύματος. Πολύ ισχυρά ρεύματα είναι επομένως ένας κύριος μηχανισμός μεταφοράς.

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που επηρεάζουν την εκμετάλλευση των υποθαλασσίων Σ.Β.Ο. Η ποιότητα του κοιτάσματος είναι βασικό στοιχείο καθώς οι προδιαγραφές για δομικά υλικά μεταβάλλονται από χώρα σε χώρα π.χ. κατάλληλα κρίνονται τα κοιτάσματα όπου τα υλικά έχουν ορισμένο μέγεθος κόκκων και συγκεκριμένη σύσταση ορυκτολογίας. Ετσι δεν είναι αξιοποιήσιμες όλες οι συγκεντρώσεις Σ.Β.Ο. Πρέπει επίσης να τονισθεί ότι το κόστος παραγωγής και μεταφοράς σε υποθαλάσσιες εκμεταλλεύσεως και μάλιστα προϊόντος χαμηλής σχετικά αξίας είναι αρκετά υψηλό ιδίως όταν συγκριθεί με παρόμοιες εκμεταλλεύσεις στη ξηρά. Το μέγιστο βάθος της θάλασσας για να έχουμε οικονομική εκμετάλλευση υποθαλασσίων Σ.Β.Ο. είναι περίπου 35 m. Η υποθαλάσσια εκμετάλλευση συχνά ιδίως στις περιπτώσεις των Σ.Β.Ο. επηρεάζεται συχνά από περιβαλλοντικούς λόγους καθώς εκτεταμένη εκμετάλλευση επηρεάζει το περιβάλλον π.χ. καταστρέφει καταφύγια ψαριών σε λατύπες κ.λ.π. Επομένως πρέπει να υπάρχει εμπεριστατωμένη περιβαλλοντική μελέτη πρίν προχωρήσει κανείς στην αξιοποίηση, υποθαλασσίως, Σ.Β.Ο. Σήμερα εκτεταμένες εκμεταλλεύσεις τέτοιων υλικών γίνονται στις ΗΠΑ, Ιαπωνία και σε ορισμένες Ευρωπαϊκές χώρες.(Βρετανία, Γαλλία, Βέλγιο, Ολλανδία) .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ζ

ΦΩΣΦΩΡΙΤΕΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

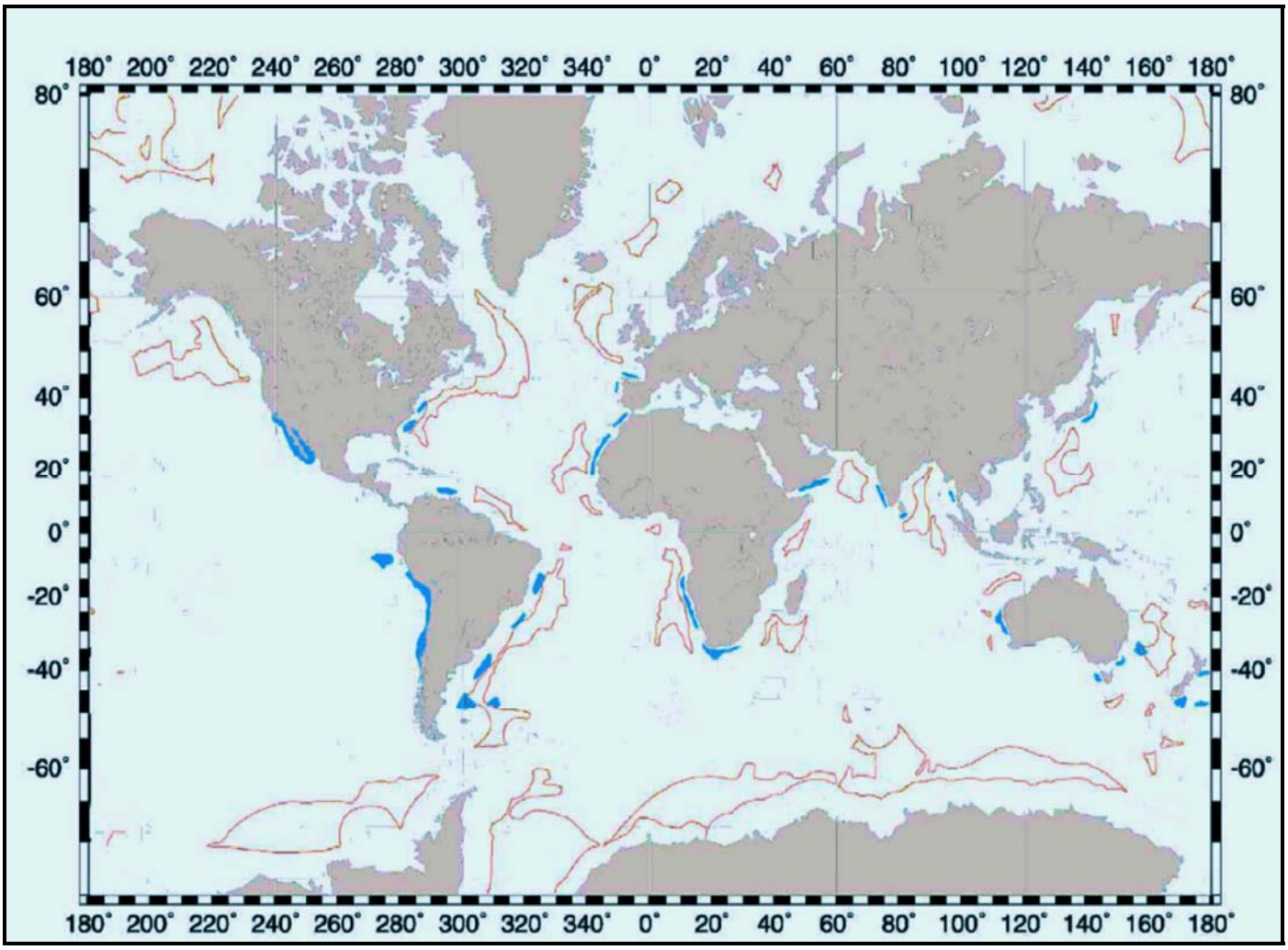
Οι φωσφορίτες έχουν περιγραφεί σαν ιζηματογενείς αποθέσεις αποτελούμενες από μια σειρά φωσφορικών ορυκτών όπως ο φρανκόλιθος ο χλωριοαπατίτης ο υδροξυλοαπατίτης και ο φθοριοαπατίτης. Το τελευταίο ορυκτό (φθοριοαπατίτης) είναι και το πλέον διαδεδομένο ορυκτό του φωσφόρου στους υποθαλασσίους φωσφορίτες. Ο όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει κανείς οπτικά ισότροπους λεπτοκοκκιώδεις φωσφορίτες κάτω από το μικροσκόπιο είναι κολλοφανής.

Ο απατίτης μπορεί να εμφανιστεί σε μια ποικιλία μορφών στο θαλάσσιο περιβάλλον που περιλαμβάνουν θραύσματα ιχθύων, οστά ερπετών και θηλαστικών, κοπρόλιθους, μικροκρυσταλλικά συνάγματα σε κονδυλώδεις μικριτικές σφαιρικές μάζες, ωολιθικές ή φυλλοειδείς μορφές, και ανθρακικές ή ξυλώδεις αντικαταστάσεις (Gulbrandseu 1969). Σε αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα ο απατίτης εμφανίζεται συνήθως σε σφαιρίδια μικριτικής μάζας ή κονδύλους. Η μεταφορά (επεξεργασία) συγκέντρωση και ανύψωση των αποθέσεων αυτών μπορεί να δώσει γέννεση των μεγάλων στρωμάτων φωσφοριτών που απαντώνται συχνά στις χέρσους.

Η οικονομική σημασία των αποθέσεων αυτών συνίστανται κυρίως στη χρήση τους στη βιομηχανία λιπασμάτων, το στοιχείο Ρ και φωσφορικό οξύ, αλλά υπάρχει η πιθανότητα στοιχεία όπως το βανάδιο, το ουράνιο, το φθόριο και οι σπάνιες γαίες (REE) να μπορούν επίσης να ληφθούν απ' αυτά σαν υποπροϊόντα.

Υποθαλάσσιοι φωσφορίτες ανακαλύφθηκαν πρώτα στην περιοχή Agulhas Bank στην υφαλοκρηπίδα της Νότιας Αφρικής, κατά τη διάρκεια της αποστολής του Challenger (1873-1876).

Οι πλέον πρόσφατες έρευνες εντόπισαν σημαντικές συγκεντρώσεις υποθαλάσσιων φωσφοριτών κύρια στην υφαλοκρηπίδα και τα ηπειρωτικά περιθώρια γενικότερα με σημαντικότερες περιοχές την υφαλοκρηπίδα των ΗΠΑ προς την πλευρά του Ατλαντικού,την Γκαμπόν,την Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό,την Ναμίμπια και την Ν.Αφρική, ενώ προς την πλευρά του Ειρηνικού ωκεανού υπάρχουν σημαντικές συγκεντρώσεις στην στην υφαλοκρηπίδα Περου- Χιλής,Εκουαδόρ,Μεξικού αλλά και Ν.Ζηλανδίας.(ΦΩΤ.Ζ1..)



ΦΩΤ.Z1. Οι περιοχές όπου βρέθηκαν οι σημαντικότερες συγκεντρώσεις υποθαλασσίων φωσφοριτών.

ΕΜΦΑΝΙΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΕΝΝΕΣΗ

Υποθαλάσσιοι φωσφορίτες εμφανίζονται γενικά σε βάθη μικρότερα των 1000 μέτρων(συχνά λίγων εκατοντάδων μέτρων) σε υφαλοκρηπίδες, θαλάσσιες (πέραν της ακτής) τράπεζες. Παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη εξάπλωση πέρα απο τα δυτικά περιθώρια των ηπείρων αλλά εμφανίζονται επίσης σε απόσταση από ορισμένα ανατολικά ηπειρωτικά περιθώρια όπως το οροπέδιο Blake σε απόσταση από τη νοτιο-ανατολική Βόρεια Αμερική (Manheim at al 1978) και στο υποθαλάσσιο οροπέδιο ανατολικά και νοτιο-ανατολικά της Νέας Ζηλανδίας. Φωσφορίτες εμφανίζονται επίσης σε υποθαλάσσια όρη σε σύνδεση με ηφαιστειακά πετρώματα πλούσια σε Ca(Baturin & Berzukov 1979).

Έχει παρατηρηθεί ότι οι μεγάλες εμφανίσεις των φωσφοριτών συνδέονται με περιοχές ανοδικών ρευμάτων (A.P) και υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας πλησιον περιοχών μέ τροπικό ή υπο-τροπικό κλίμα. Τα ανοδικά ρεύματα φέρνουν στην επιφάνεια μεγάλες ποσότητες ψυχρών νερών πλούσια σε θρεπτικές ουσίες και φωσφορικά άλατα από ενδιάμεσα βάθη που συντηρούν άφθονους

οργανισμούς, κυρίως διάτομα, τά οποία όταν πεθαίνουν προκαλούν γρήγορη ροή οργανικών υλικών σε βαθύτερα ύδατα.

Η αιτία της ύπαρξης των ανοδικών ρευμάτων στα ανοικτά των δυτικών ηπειρωτικών περιθωρίων μπορεί πιθανά να αποδοθεί σε ωκεάνιες και ατμοσφαιρικές μορφές κυκλοφορίας, που δημιουργούν απόκλιση του ρεύματος. Αν και υπάρχει όμως σύνδεση μεταξύ περιοχών A.P. και εμφάνισης υποθαλάσσιων φωσφοριτών, οι περισσότεροι από τους φωσφορίτες που εμφανίζονται στις περιοχές αυτές δεν είναι γεωλογικά πρόσφατοι. Ο Summerhaives (1967,1969) έχει δείξει ότι οι φυσικοχημικές και βιοχημικές συνθήκες σε περιοχές όπου βρίσκονται φωσφορίτες ήταν περισσότεροι ευνοϊκοί για σχηματισμό φωσφοριτών στο τριτογενές από ότι σήμερα. Τα ιζήματα που συνήθως συνδέονται με φωσφορίτες ηπειρωτικού περιθωρίου περιέχουν πυριτικές αποθέσεις σε μορφή πυριτικών σχιστόλιθων, πορσελλανιτών και διατομικών ανθρακικών, γλαυκονιτών και μερικές φορές ηφαιστειακών πετρωμάτων με τη μορφή μπεντονίτη και τόφφων. (Gulbrandsen 1969).

Τα χαρακτηριστικά αποθέσεων σε περιοχές φωσφοριτικών εμφανίσεων περιλαμβάνουν συμπυκνωμένες εναποθέσεις που δείχνουν αργή απόθεση και ελάχιστη εισαγωγή χερσογενών ιζημάτων, ενώ τα υπάρχοντα κροκαλοπαγή δείχνουν μεταφορά και επεξεργασία,μέ παράλληλη μερικές φορές ύπαρξη εβαποριτών γεγονός που δείχνει ένα θερμό και ξηρό κλίμα.

ΦΥΣΗ

Μορφή : Οι κόνδυλοι φωσφοριτών και σφαιρίδια μικριτικής μάζας είναι συνήθως χωρίς δομή αλλά μπορεί να έχουν μια στρωματώδη, κροκαλοπαγή ή ωολιθική εσωτερική δομή, η τελευταία αυτή προκλήθηκε πιθανά από περιεχόμενη οργανική ύλη. Οι φωσφορίτες με σφαιρίδια μικριτικής μάζας έχουν μέγεθος κόκκου της τάξης των 0.1-0.3 χλμ. το οποίο είναι συχνά όμοιο με αυτό των συνδεομένων με αυτού κλαστικών αποθέσεων. Οι φωσφορίτες είναι συνήθως ανοικτού καφέ χρώματος, αλλά δυνατόν να είναι αρκετά πιο σκοτεινόχρωμοι, ή ακόμα και μαύροι αν το περιεχόμενο σε ξένες προσμίξεις όπως το ανθρακούχο υλικό και ο πυρίτης, είναι υψηλό. Η υάλωση των φωσφοριτών σφαιρικής μικριτικής μάζας δεν είναι σπάνια και μπορεί να προκύπτει από εκτριβή. Αλλες φυσικές ιδιότητες των φωσφοριτών περιλαμβάνουν σκληρότητα 5 περίπου της κλίμακας Moh, και ειδικό βάρος 2.7-2.8. **(ΦΩΤ.Z2)**

ΦΩΤ.Z2.Φωτογραφία δείγματος λιθοποιημένου υποθαλασσίου φωσφωρίτη

Οι φωσφορίτες έχουν συνήθως υψηλό ποσοστό προσμίξεων. Οι προσμίξεις περιλαμβάνουν

διάφορες αναλογίες αργιλλοπυριτικών ορυκτών (clays), κόκκους κλαστικών ορυκτών, θραύσματα πετρωμάτων, γλαυκονίτη, διοξείδιο του πυριτίου, ανθρακικό υλικό, ασβεστίτη, δολομίτη, οξείδια σιδήρου και ιουριτικό σκελετικό υλικό. Αυτογενής πυρίτης και φθορίτης εμφανίζονται επίσης μερικές φορές.

Φωσφορίτες ηλικία Κρητιδικού και Τριτογενούς εμφανίζονται στην ηπειρωτική υφαλοκρηπίδα του Μαρόκου με μορφή σφαιριδίων μικριτικής μάζας, κροκαλοπαγούς και συμπαγούς φωσφορίτη και έχουν πετρογραφικά μελετηθεί από τον Summerhaiyes (1970).

Τα κοιτάσματα αυτά έχουν χωρισθεί σε 4 κατηγορίες από τις οποίες η πρώτη αποτελείται από γλαυκονιτικά κροκαλοπαγή, η δεύτερη από φωσφατικούς ασβεστόλιθους, η τρίτη από φωσφορίτες μορφής pellets και η τέταρτη από φωσφατικούς σιδηρούχους ασβεστόλιθους. Μερικά από τα δείγματα παρουσίασαν ενδείξεις εκτεταμένης επανεργασίας και περιείχαν πολλές ξένες προσμίξεις.

Ορυκτολογία : Οπως αναφέρθηκε το κύριο ορυκτό στους φωσφορίτες είναι κυρίως ανθρακικός φθοριοαπατίτης που περιέχει περισσότερο από 1% F και σημαντικά ποσά CO2. Παρουσιάζεται συνήθως σε κρυπτοκρυσταλλική ή ισοτροπική μορφή. Η δομή του φθοριοαπατίτη αποτελείται από διατάξεις κατά στήλες ομάδων CaO που συνδέονται με PO4-3 ομάδες ενώ σ'οποιοδήποτε επίπεδο, κάθε F ιόν περιβάλλεται από τρία Ca2+ ιόντα.

Γεωχημεία : Η σύσταση των ανθρακικών φθοριοαπατιτών προσεγγίζει το $Ca_{10}(PO_4\ CO_3)_6\ F_{2-3}$ (Altschuler et al 1958). Οι ομάδες CO3-2 μπορούν να αντικαταστήσουν τις ομάδες $PO4^{3-}$ (MaConnell, 1952, Altschuler και άλλοι 1955, Ames 1959, Le Cros, 1965) πιθανά πάνω σε μια βάση ένα προς ένα (Price and Calvert, 1978). Συνήθως η ομάδα $CO3^{2-}$ αποτελεί το 2-3% σε βάρος του ανθρακικού φθοριοαπατίτη, αλλά μπορεί να αποτελεί το 5-6% σε φθοριοαπατίτες του θαλάσσιου βυθού. (J.MacArthur, προσωπική επικοινωνία-συζήτηση, 1978). Η ανισορροπία του φορτίου που εκδηλώνεται επειδή το $CO3^{2-}$ υποκαθιστά το PO_4^{3-} αντισταθμίζεται με την εισαγωγή του F (Guldrandsen και άλλοι, 1966) και ίσως και του OH (Altschuler και άλλοι, 1958, Price και Calvert, 1978). Αλλά πιθανά υποκατάστατα είναι : Na^{+1} αντί Ca^{2+} και SO_4^{-2} αντί PO_4^{3-} (Altschuler και άλλοι 1958). Οι μέσες τιμές της P_2O_5 στους υποθαλάσσιους φωσφορίτες κυμαίνονται μεταξύ 20 και 30% (Mero, 1965) και η χημική σύσταση των κυριοτέρων στοιχείων για μερικούς υποθαλάσσιους φωσφορίτες αναφέρονται στους παρακάτω πίνακες Z1 & Z2 και εξαρτάται σ'ένα μεγάλο βαθμό από τη φύση των φάσεων που συνδέονται μαζί τους.

Πίνακας Ζ1. Χημική σύσταση, σε ότι αφορά τα κύρια στοιχεία, υποθαλασσίων Φωσφωριτών από διάφορες ωκεάνιες περιοχές

	1	2	3	4	5	6	7	8
$Si0_2$	6.20	3.45	15.30	13.79		1.8[a]	2.0[a]	3.1[a]
$Ti0_2$	0.06	0.04	0.10	0.11		0.019	0.016	0.074
$A1_20_3$	1.13	0.92	2.14	2.12		0.37	0.36	1.95
Fe_20_3	1.40	25.80	5.58	7.34		0.54	0.77	8.6
MnO	0.01	0.06	0.01	0.02		0.01	0.09	0.017
MgO	0.97	1.49	1.34	1.45				
CaO	47.02	33.42	37.04	36.54	47.4	26.2[b]	8.0[b]	9.0[b]
Na_20	0.62	0.34	0.78	0.73		1.99	2.79	1.96
K_20	0.43	0.39	1.57	1.51		0.15	0.13	2.10
P_20_5	14.82	10.26	17.89	16.82	29.6	18.3	26.2	16.5
S	0.31	0.21	0.46	0.45		0.44[c]	0.56[c]	<0.1[c]
F	2.12	1.42	2.21	2.04	3.3			
LOF	25.52	23.24	16.15	16.89				
Organic C						0.61	0.76	0.32

	9	10	11	12	13	14	15
$Si0_2$	1.6[a]	4.6[a]	22.13	8.93	0.95	0.20	
$Ti0_2$	0.053	0.08					
$A1_20_3$	1.12	2.00	5.15	1.38		0.51	
Fe_20_3	10.7	8.7	2.85	1.00	1.83	2.80	1.14
MnO	0.025	0.01					
MgO			1.07	0.71	0.50	1.02	1.83
CaO	7.9[b]	6.7[b]	33.93	44.48	52.29	51.33	50.73
Na_20	1.82	1.61	0.85	0.83	0.55	0.58	0.46
K_20	0.41	1.75	1.30	0.60	0.64	0.45	0.15
P_2O_5	18.3	16.2	22.61	30.63	19.97	25.80	14.62
S	<0.1[c]	<0.l[c]	0.16	0.35	0.35	0.61	0.30
F			2.22	3.45	2.47	3.25	1.38
LOF			8.78[b]	9.34[d]	20.8[d]	15.2[d]	30.10[d]
Organic	0.21	0.34					

1-4 = Agulhas Bank phosphorites. South Africa, από Parker (1971), Parker και Siesser (1972), Dingle (1975).

5 = Forty Mile Bank Phosphorite, Baja, California, από Mero (1965).

6-10 = North-west African Continental Margin Phosphorites, από McArthur (1974).

11= Peru-Chile Continental Margin, μέση χημική σύσταση από Burnett (1974).

12= sea off California, μέση χημική σύσταση από δύο δείγματα από Burnett (1974).

13= Chatham Rise off New Zealand, μέση χημική σύσταση από δύο δείγματα από Burnett (1974).
14= Blake Plateau Phosphorite, από Burnett (1974).
15= Necker Bank Phosphorite, από Burnett (1974). [a] [a]Μοναδικό ορυκτό

Χαλαζίας

[b]Μοναδικό ορυκτό ασβεστίτης

[c]Μοναδικό ορυκτό πυρίτης

[d]Απώλεια κατά την θέρμανση στους 1000^{o} C in 11-15).

Πίνακας Z2.. Μέση χημική σύσταση των κυριότερων ιχνοστοιχείων σε φωσφορίτες, απατίτες και στον ηπειρωτικό φλοιό σε p.p.m. (από Tooms et al., 1969).

	1	2	3	4	5	6	7
Ag	0.07	3		1-50			
As	1.8	40	20.5	0.4-188	40		
B	10.0		16.0	3-33			
Ba	425	100		1-1000	27		
Be	2.8			1-10			
Cd	0.2			1-10			
Ce	60					120	1545
Co	25		3.3	0.6-11-8			
Cr	100	1000	28	7-1600	50		
Cu	55	100	21.7	0.6-394	16		120*
I	0.5		24.1	0.15-280	28		
La	30	300				150	769
Li	20			1-10			
Mn	950	30	428.0	0-10000	126		570
Mo	1.5	30	18.7	1-138			
Ni	75	100	12.5	1-9-30	27		63*
Pb	12.5			0-100	11		
Rb	90			0-100	26		
Sb	0.2	7		1-10			
Sc	22	10		10-50		3	
Se	0.05	10	2.7	1-9.8			
Sn	2.0			10-15			
Sr	375	1000	1900	1800-2000	1284		2106
Ti	5700		476	100-3000	300		
U	**2.7**	**90**	**190**	**8-1300**	**144**		
V	135	300	167	20-500	79		807*
Y	33	300		0-50	48	110	696
Zn	70	300	90	4-345	49		
Zr	165	30		10-500			1000*

1 = μέση χημική σύσταση ηπειρωτικού φλοιού (Taylor, 1964).
2 = μέση χημική σύσταση φωσφωριτών από (Gulbrandsen, 1966).
3 = μέση χημική σύσταση φωσφωριτών σε παγκόσμιο επίπεδο από Swaine (1962).
4 = δεδομένα με εύρος περιεκτικοτήτων από Swaine (1962).
5 = μέση χημική σύσταση φωσφωριτών από την υφαλοκρηπίδα της Β.Δ Αφρικής (McArthur, 1974).
6 = περιεκτικότητας σε σπάνιες γαίες (REE) σε ανθρακικό απατίτη (Altschuler *et al.*, 1967).
7 = μέση χημική σύσταση ιχνοστοιχείων σε πυριγενής και μεταμορφωμένους φθοριαπατίτε.ς. Περιεκτικότητες που έχουν αστερίσκο αντιπροσωπεύουν τις υψηλότερες τιμές αφού δεν δόθηκε ο μέσος όρος των τιμών (Cruft, 1966).

Τα αίτια που καθορίζουν την σύσταση των φωσφοριτών έχουν μελετηθεί από τον Tooms και άλλους (1969), Price και Calvert (1978), McArthur 1978, Batucin & Brezwken (1979), Manheim και άλλοι (1978) και κυριότερα από αυτά είναι :

1. Τα φαινόμενα της προσρόφησης. Εχουν προσδιοριστεί σαν ένα βασικό αίτιο που προσδιορίζει τη σύσταση του φωσφορίτη και πιθανόν να έχουν μεγάλη σπουδαιότητα όσον αφορά τον έλεγχο της μεταφοράς ιχνοστοιχείων από τα θαλάσσια νερά στους φωσφορίτες.

2. Η οργανική ύλη μπορεί να είναι άλλο ένα ενδιαφέρον αίτιο για τη συγκέντρωση μερικών μετάλλων. Παρατηρήσεις που έγιναν στους υπάρχοντες θετικούς συσχετισμούς μεταξύ του ποσού της οργανικής ουσίας στους φωσφορίτες και των στοιχείων Ni, Cu, Ag, Mo, V, Cr, Se & Cd απέδειξαν ότι αυτό μερικώς μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι τα στοιχεία αυτά έχουν μια οργανική σχέση και προέλευση.
3. Το περιβάλλον της απόθεσης παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της χημικής σύστασης των ιχνοστοιχείων στους φωσφορίτες, π.χ. ορισμένα στοιχεία όπως Mo, Se και V τείνουν να συγκεντρώνονται κάτω από συνθήκες αναγωγικές. Οι θειούχες ενώσεις επίσης σχηματίζονται κάτω από συνθήκες αναγωγικές και μπορεί μερικώς να προκαλούν την συγκέντρωση ενός ποσοστού των στοιχείων Ag, Cr, Zn, Cd, Mo & Se στα κοιτάσματα φωσφοριτών. Τα κλαστικά χερσογενή υλικά δίνουν επίσης μια αναλογία μερικών στοιχείων όπως Si, Al, Ti, Na και K. Συμμετοχή στο πλέγμα του ανθρακικού φθοριοαπατίτη π.χ. λόγω απορρόφησης, προκαλεί την παρουσία μικρών ποσοστών διαφόρων στοιχείων όπως Ba, Mo, Sr, Y, Ni, Zn, U και σπάνια γαιών. (Price & Calvert, 1978). Από όλα τα παραπάνω είναι φανερό πως δεν υπάρχει μόνο ένα αίτιο που να ελέγχει τη σύσταση των φωσφοριτών.

Τα χαρακτηριστικά του κρυσταλλικού πλέγματος του φθοριοαπατίτη, τα φαινόμενα της προσρόφησης, η ύπαρξη οργανικής ουσίας, οι θειούχες ενώσεις και τα κλαστικά υλικά παίζουν το καθένα διαφορετικό ρόλο όσον αφορά τον προσδιορισμό της χημικής σύστασης των φωσφοριτών.

Περιβάλλοντα εναπόθεσης "συγχρόνων" φωσφοριτών.

Υπάρχουν τουλάχιστον δύο περιοχές στον κόσμο που θεωρούνται σαν οι περιοχές όπου σχηματίζονται οι φωσφορίτες σήμερα. Αυτές βρίσκονται στην υφαλοκρηπίδα της νοτιο-ανατολικής Αφρικής και στο Περού - Χιλή. και οι δύο παρουσιάζουν ισχυρά ανοδικά ρεύματα και υψηλή βιολογική παραγωγικότητα. Η εξέταση του τρόπου σχηματισμού των αποθεμάτων αυτών θα βοηθήσει στον προσδιορισμό του τρόπου σχηματισμού των παλιότερων φωσφοριτών που οικονομικά παρουσιάζουν μεγαλύτερο ενδιαφέρον.

Νοτιο-δυτική Αφρική

Μεταξύ των άλλων που έχουν γράψει για τα κοιτάσματα αυτά,τα πλούσια σε φώσφορο μεταξύ 18°S και 24°S στις νοτιοδυτικές ακτές της Αφρικής, είναι ο Baturin (1969), Baturin et al (1970) και οι Price & Calvert (1978) (Φωτ. Z1). Η περιοχή είναι υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας και ο βυθός αποτελείται από άμμους αργιλλοαμμώδεις, ασβεστολιθικά υπολείματα και διατομική ιλύ. Τα κοιτάσματα περιορίζονται κυρίως στη διατομική ιλύ, που είναι πλούσια σε άμορφο διοξείδιο του πυριτίου, οργανική ύλη (μέχρι 14% οργανικό άνθρακα) και περιέχει μέχρι 1% φώσφορο. Περιορίζεται στην εσωτερική υφαλοκρηπίδα σε βάθη μεταξύ 50 και 130 μ. ωστόσο φωσφορίτες σε μορφή pellets βρίσκονται σε ασβεστιτικές αμμώδεις περιοχές στο μέσο της κρηπίδας. Ο κύριος όγκος των κοιτασμάτων αποτελείται από φωσφατικούς θρόμβους ιλύος, κονδύλους και φωσφατικούς κοπρόλιθους και δεν αποτελούν περισσότερο από ένα χαμηλό εκατοστιαίο ποσοστό όσον αφορά το βάρος σε σχέση με το βάρος της διατομικής ιλύος. Μόνο ο μη συμπαγής φωσφορίτης (μη

συγκολημένος) θεωρείται σύγχρονος. Η περιεκτικότητα σε P_2O_5 φθάνει το 8% ή περισσότερο στους θρόμβους φωσφατικής ιλύος, 25% στους μη συμπαγείς κονδύλους 27-29% στους ψαθυρούς λεπτόκοκους κονδύλους και το 31-33% στις συμπαγείς συγκεντρώσεις, δείχνοντας την αύξηση του P ταυτόχρονα με το βαθμό λιθοποίησης και διαγέννεσης. Η αύξηση σε P_2O_5 ακολουθείται από αύξηση σε CaO, CO_2 και Fe αλλά από μείωση σε H_2O σε οργανικό άνθρακα SiO_2 και Fe. Η αυτογενής φύση των κοιτασμάτων αυτών δείχνεται από τους μη διαγεννετοποιημένους χαλαρούς θρόμβους και φακούς που κατά την εξέλιξή τους καθίστανται συνεκτικοί-συμπαγείς όπως τα γύρω ιζήματα και από το γεγονός ότι τα τοπικά ρεύματα είναι αδύνατα για να μεταφέρουν περισσότερο συμπαγείς ποικιλίες.

Επί πλέον μια προφανής νεαρή ηλικία των συγκεντρώσεων αποδεικνύεται από την χαμηλή τους περιεκτικότητα σε U και από την συσχέτισή τους με τα συγκριτικά νέα ιχθυο-κορήματα. Η εξέλιξή τους και μετάβαση από χαλαρά και πολύ λίγο λιθοποιημένα κοιτάσματα σε συμπαγείς και πολύ πιο διαγεννετοποιημένες συγκεντρώσεις δείχνει ότι όλα είναι προϊόντα της αυτής διαγεννετικής εξέλιξης. Ο Baturin (1969) πιστεύει ότι το P στα κοιτάσματα έχει προέλθει από την διάσπαση και αποσύνθεση της διατομικής ιλύος που είναι πλούσια σε P και είναι άφθονη στην γύρω περιοχή και από τα ιχθυοκορήματα. Ο Baturin (1971) ανέφερε τρία στάδια κατά τον σχηματισμό των φωσφοριτών στις ακτές της Νοτιο-Δυτικής Αφρικής. Πρώτα ένα βιογενετικό στάδιο απόθεσης κατά το οποίο αρχίζει η απόθεση φωσφοριτών. Δεύτερον ένα διαγεννετικό στάδιο κατά τη διάρκεια του οποίου το P_2O_5 και ο βαθμός λιθοποίησης αυξάνουν στα κοιτάσματα, και το τρίτο ένα δυναμικό στάδιο στη διάρκεια του οποίου τα κοιτάσματα συγκεντρώνονται με την επανεργασία και μεταφορά. Υπολογίστηκε ότι υπήρχαν τουλάχιστον δύο γενεές φωσφοριτών στην υφαλοκρηπίδα της Νοτιο-Δυτικής Αφρικής, συμπέρασμα που υποστηρίχτηκε από τα δεδομένα των ισοτόπων U του Veech και άλλων (1974).

Περού και Χιλή

Κοιτάσματα πλούσια σε φώσφορο ανακαλύφθηκαν στην υφαλοκρηπίδα του Περού (**ΦΩΤ.Ζ1)** από τον Baturin και τους συνεργάτες του και τα έχουν περιγράψει ο Veech (1973) & Baturin (1974,1977). Τα κοιτάσματα εμφανίζονται σε βάθη μικρότερα των 1000 μ. και κυρίως περιορίζονται σε δύο στενές ζώνες περίπου 100 και 400 μ. αντίστοιχα που συμπίπτουν με τα ανώτερα και κατώτερα όρια όπου η ζώνη ελαχίστου οξυγόνου εφάπτεται με τον πυθμένα. Μεταξύ αυτών των δυο ζωνών εμφανίζονται πλούσια οργανικά διατομικά ιζήμα που φανερώνουν την μεγάλη οργανική παραγωγικότητα της περιοχής. Η περιοχή παρουσιάζει επίσης ανοδικά ρεύματα. Τα κοιτάσματα είναι ανώμαλα σε σχήμα. Το χρώμα τους ποικίλει από σκούρο μέχρι ανοικτό πράσινο ενώ οι επιφάνειές τους είναι κυρίως ανοικτού χρώματος (dull). Οι κονδυλοι-θρόμβοι κυμαίνονται σε διάμετρο από 5 μέχρι 10 cm. και οι pellets που είναι πλούσιοι σε φώσφορο κυμαίνονται σε μέγεθος από λίγα χιλιοστά σε μερικά εκατοστά και εμφανίζονται εντός των αναεροβίων ιζημάτων συνδεόμενα προφανώς με αυτά. Από χημικής πλευράς τα κοιτάσματα χαρακτηρίζονται από μεγάλες τιμές P_2O_5 που κυμαίνονται περίπου από 12-28% P_2O_5.Αλλα κύρια συστατικά είναι SiO_2 και CaO (Burnett, 1977). Τα κοιτάσματα, από ορυκτολογική άποψη, είναι σύνθετα και περιέχουν σαν κύρια ορυκτολογική φάση απατίτη με διάφορα ποσά κλαστικού χαλαζία, μαρμαρυγία, καολινίτη, άστριου και τρεμολίτη. Επίσης εμφανίζονται μικρές ποσότητες ασβεστίτη, δολομίτη, γλαυκονίτη, άστριου και πυρίτη.

Η αυτογενής φύση των φωσφοριτών του Περού και της Χιλής αποδεικνύεται από το κοκκώδες και τον θρυματισμό τους που δεν επιτρέπουν σημαντική μεταφορά (Burnett, 1974). Επιπλέον ηλεκτρονικά μικροσκοπικά διαγράμματα έχουν δείξει ότι ο απατίτης γενικά αναπτύσσεται σε ροζέττες και ομάδες μέσα στους πόρους και σε άλλα ανοίγματα του βιογενούς υλικού που σημαίνει ότι έχει σχηματιστεί από απ'ευθείας καταβύθιση (precipitation). Η ευεδρική κρυσταλλική μορφή σε συνδυασμό με τις σχέσεις μεταξύ ορισμένων στοιχείων, που πλησιάζει τον

καθαρό απατίτη, ενισχύει τον ισχυρισμό αυτό. Οι ισοτοπικές μελέτες που έγιναν σε σειρές ουρανίου, στα κοιτάσματα, έχουν αποδείξει ότι η προέλευσή τους είναι πρόσφατη (Burnett & Veech 1977). Οι διορθωθείσες ηλικίες του ουρανίου 234 (234 U) που αρχίζουν πριν από 150.000 χρόνια BP μέχρι το ολόκαινο και οι ηλικίες του 230Th, δίνουν τα ίδια αποτελέσματα. Ωστόσο οι ηλικίες των δειγμάτων δεν κατανέμονται απρογραμμάτιστα. Πάνω από 90% ανήκουν σε μια από τις 4 ομάδες ηλικίας 0-10000,40000-50000, 100000-105000 και 130000-140000 χρόνια BP. Ολες αυτές οι ηλικίες φαίνεται ότι συμπίπτουν με ανύψωση του θαλάσσιου επιπέδου που πιθανώς ήταν αποτέλεσμα της τήξης των πάγων στα ενδιάμεσα διαστήματα περιόδων παγετώνων. Ο Manheim και άλλοι (1975) υπέθεσαν ότι αντί συνεχούς προσφοράς τα όστρακα των βενθονικών τρηματοφόρων μπορούσαν να παραμένουν μετά τους ομαδικούς θανάτους κατά τη διάρκεια συντόμων παύσεων στη διαδικασία των ανοδικών ρευμάτων. Τότε η ανώτερη φάση πιθανότατα εμπλουτίζεται σε φώσφορο κατά την επανάληψη των κανονικών συνθηκών των ανοδικών ρευμάτων και της διάσπασης της οργανικής ύλης.

Παράγοντες που επηρεάζουν τον σχηματισμό φωσφοριτών

Τέσσερεις είναι οι κυριώτεροι παράγοντες που επηρεάζουν ουσιαστικά τόν σχηματισμό τών φωσφοριτών:

- 1.Ο εφοδιασμός του θαλάσσιου βυθού με P πέρα από το κανονικό

Η πιθανότερη πηγή για την προμήθεια του επί πλέον φωσφόρου είναι οι θαλάσσιοι οργανισμοί που κρατούν φώσφορο ιδιαίτερα στο διάτομα, που έχει αποδειχθεί ότι είναι υπεραρκετά, σε περιοχές μεγάλης οργανικής παραγωγικότητας, για να προμηθεύουν όλον τον φώσφορο που χρειάζεται για τον σχηματισμό φωσφοριτών (Gulbrandsen, 1969). Παράλληλα η οργανική ύλη πρέπει να οξειδώνεται και να αποσυντίθεται συνεχώς ώστε να απελευθερώνεται ο φώσφορος που χρειάζεται.

- 2.Η ύπαρξη τού κατάλληλλου PH

Οι Krumbein & Garrels (1952), ο Robertson (1966) και οι Rytowicz & Kester (1967) έχουν αποδείξει ότι η διαλυτότης του απατίτη μειώνεται με την αύξηση του PH και έτσι το υψηλό PH στο θαλάσσιο περιβάλλον, θα πρέπει να ευνοεί τον σχηματισμό του φωσφορίτη. Η αποσύνθεση των οργανισμών που προμηθεύουν τον φώσφορο θα μπορούσε να οδηγήσει σε ένα PH κατάλληλο για την εναπόθεση του φώσφορου, καθώς έχει αποδείξει ο Berner (1969), ότι η οργανική αποσύνθεση μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση του PH σε τοπικό περιβάλλον.

- 3.Η κατάλληλη συγκέντρωση ιόντων Mg στο διάλυμα από το οποίο καθιζάνει ο φώσφορος

Εχει αποδειχτεί ότι τα ιόντα Mg ανακόπτουν την καταβύθιση απατίτη από διάλυμα και αυτό πιθανώς γιατί τα ιόντα Mg^{2+} ανταγωνίζονται τα ιόντα Ca^{2+} για τις θέσεις στη δομή του απατίτη (Martens & Harris, 1970). Γι'αυτό η αφαίρεση του Mg από το διάλυμα θεωρείται απαραίτητη για να καθιζάνει ο απατίτης. Αυτό μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους, συμπεριλαμβανομένων των διαγεννετικών αντιδράσεων μέσα στα εσωτερικά νερά των πόρων των ιζημάτων κατά τη διάρκεια του φαινομένου της ανταλλαγής των ιόντων, δολομιτίωση και τον αυτογενή σχηματισμό πλουσίων σε Mg πυριτικών ορυκτών. (Burnett, 1974).

- 4.Η φύση τής επιφάνειας γύρω απο τήν οποία αρχίζει η καθίζηση τού φωσφωρίτη

Ενας τέταρτος συντελεστής που θα μπορούσε επίσης να επηρρεάσει την καθίζηση του φωσφορίτη είναι η φύση της επιφάνειας με την έννοια ότι πρέπει να προσφέρει μια θέση πυρήνα (nucleation site) για την ανάπτυξη του απατίτη. Πολλοί ερευνητές στον τομέα αυτό πιστεύουν ότι ο ασβεστίτης προσφέρει την πιο κατάλληλη επιφάνεια για την καθίζηση του απατίτη (Stumm & Morgan, 1970, Stumm & Leckie, 1970, αλλά ο Burnett (1974) βάσει φωτογραφιών ηλεκτρονικού μικροσκοπίου, πιστεύει ότι η σκελετική πυριτική ύλη, οι κρύσταλλοι αστρίων και ο απατίτης που συνδέεται με οστά ψαριών είναι κατάλληλες επιφάνειες για την έναρξη της αυτογενετικής καθίζησης του απατίτη όταν δεν υπάρχει ασβεστίτης. Τελικά, ο Gulbrandsen (1969) τονίζει ότι όταν το περιβάλλον που γίνονται οι αποθέσεις δεν εφοδιάζεται με ψηλές ποσότητες χερσογενών κλαστικών, δηλ. υπάρχει χαμηλό τάχος ιζηματογέννεσης χερσογενών υλικών, ο φωσφορίτης αναπτύσσεται εκτεταμένα. Αυτό βέβαια ευνοείται ιδεωδώς κάτω από άνυδρες (ξηρές) συνθήκες. Οι όροι αυτοί πληρούνται για τον φωσφορίτη που σχηματίζεται τώρα στις νοτιοδυτικές ακτές της Αφρικής, στο Περού και στη Χιλή.

Σχηματισμός φωσφοριτών

Οι δύο βασικές θεωρίες που αναφέρονται στον σχηματισμό του φωσφορίτη στηρίζονται (1) στην άμεση (απ'ευθείας) καθίζηση του φωσφορίτη μέσω μιας σειράς ανοργάνων χημικών αντιδράσεων και (2) στην αντικατάσταση της ρίζας CO_3 από PO_4, στο ανθρακικό ασβέστιο ($CaCO_3$) για τον σχηματισμό ενός υποκατάστατου κοιτάσματος. Από τα υπάρχοντα αποδεικτικά στοιχεία φαίνεται ότι και οι δυο τρόποι σχηματισμού είναι κατορθωτοί.

Ο Kazacov (1973) εισηγήθηκε ένα μοντέλλο σχηματισμού φωσφορίτη. Πρότεινε συγκεκριμένα ότι τα ανυψούμενα νερά πλούσια σε φώσφορο στις περιοχές των ανοδικών ρευμάτων υπερκορένυνται σε φώσφορο επιτυγχάνοντας έτσι την καθίζησή του. Αποδεικτικά στοιχεία για την απ'ευθείας καθίζηση του απατίτη είναι διαθέσιμα από διάφορες πηγές.

Οπως αναφέρθηκε ο Burnett (1974) βρήκε απατίτη αναπτυσσόμενο σε βιογενές υλικό. Επί πλέον η εμφάνιση του απατίτη σε μορφή χαλαρών ευθράπτων pellets που δεν δείχνουν αντικατάσταση των δομών τους, θα ευνοεί την προέλευση από απ'ευθείας καθίζηση. Πέρα από αυτό, διάφοροι ερευνητές (Simpson, 1964, Le Geros, 1965) έχουν επιτύχει την σύνθεση του απατίτη από διάλυμα στο εργαστήριο, δίνοντας έτσι πρόσθετα στοιχεία, της απ'ευθείας ανόργανης καθίζησής του. Ο Baturin και οι συνεργάτες του έχουν δώσει ένα λεπτομερές πρότυπο για την ανόργανο καθίζηση του φωσφορίτη στις νοτιοδυτικές ακτές της Αφρικής και της Χιλής.

Με βάση τις διαλυμένες τιμές P, ο Baturin et al (1970) έχει θεωρήσει ότι η καθίζηση ορυκτών του φωσφόρου μέσα στη στήλη ύδατος είναι απίθανη, σε αντίθεση με το πρότυπο του Kazakov (1937) αλλά ότι θα μπορούσε να εμφανιστεί στα διάμεσα (εσωτερικά) νερά των πόρων των ιζημάτων. Ο υπερκορεσμός του φωσφόρου στα νερά αυτά οδηγεί στην καθίζησή του, σε περιοχές του ιζήματος όπου το pH είναι υψηλό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το σχηματισμό φακών μαλακών κολλοειδών πηγμάτων, λεπτών στιβάδων και σφαιρίδιων μικριτικής μάζας που περιέχουν 5-10% P_2O_5. Οι διαδικασίες διαγένεσης μέσα στα ιζήματα έχουν σαν αποτέλεσμα την λιθοποίηση, την συγκόληση των αποθέσεων και αύξηση του περιεχομένου τους σε P, όπως προαναφέρθηκε. Οι αποθέσεις παρουσιάζουν αύξηση σε CaO, CO_2 και F καθώς και P2O5, οι ενσωματωμένες οργανικές ύλες χάνουν το N και H πιο γρήγορα από ότι τον C, τα πυριτικά καλύματα διατόμων διαλύονται και οι αποθέσεις αποκτούν βαθμιαία κρυσταλλική δομή (Baturin, 1971). Ενα παρόμοιο πρότυπο που εξηγεί την άμεση καθίζηση των φωσφοριτών του Περού και της Χιλής έχει προβληθεί από τον Burnett (1974, 1977). Πρότεινε ότι η καθίζηση του φωσφόρου έγινε στα εσωτερικά νερά των πόρων

ιζημάτων πλουσίων σε οργανική ύλη κάτω από προφανώς αναγωγικές συνθήκες (χαμηλό Eh) ενώ η συγκέντρωση των αποθέσεων στα άκρα όπου η ζώνη ελάχιστου οξυγόνου έρχεται σε επαφή με το βυθό οφείλεται σε διακυμάνσεις του pH συνδεόμενες με μεταβολές του οξυγόνου. Τα ιόντα Mg+2 που όπως ειπώθηκε παραπάνω δημιουργούν προβλήματα, δυνατόν να αφαιρούνται από τα εσωτερικά ύδατα των πόρων των ιζημάτων με διαγενετικές αντιδράσεις. Η καθίζηση του απατίτη εμφανίζεται αρχικά σε θέσεις όπου ευνοούνται σχηματισμοί πυρήνων όπως οι επιφάνειες πυρητικών σκελετικών θραυσμάτων, μετά από τις οποίες μπορεί να αναπτύσσεται συνεχώς.

Αντίθετα η απόδειξη για την αντικατάσταση του $CaCO_3$ από τον απατίτη έρχεται από τις πολλές αναφορές από την ύπαρξη απατιτικών ψευδόμορφων ασβεστιτικών οργανικών υπολλειμάτων, πάνω στο θαλάσσιο βυθό.

Είναι φανερό ότι τα πλούσια σε φώσφορο διαλύματα μπορούν να μετατρέψουν το ανθρακικό ασβέστιο σε ανθρακικό φθοριτοαπατίτη. Η αντικατάσταση λαμβάνει χώρα πιθανά μέσω των εσωτερικών υδάτων των ιζημάτων από φώσφορο που προκύπτει κύρια από την αποσύνθεση οργανισμών, και όχι P που βρίσκεται στα επιφανειακά νερά. Αυτό συμβαίνει επειδή το περιεχόμενο σε φώσφορο των εσωτερικών νερών των ιζημάτων είναι γενικά πολύ ψηλότερο από ότι στα υπερκείμενα θαλάσσια νερά. Οι παρατηρήσεις των Burnett (1974) & Manheim et al (1975) σχετικά με την άμεση καθίζηση και προέλευση από αντικατάσταση των φωσφοριτών του Περού αντίστοιχα, δείχνει ότι οι δυο διαδικασίες δεν αποκλείουν η μια την άλλη και δυνατόν να συμβαίνουν σε οποιοδήποτε ιδιαίτερο περιβάλλον. Η μετατροπή των διεσπαρμένων χαλαρών φωσφοριτών σε φωσφορίτες εκτεταμένων στρωμάτων του τύπου που απαντάται στη βορειο-δυτική Αφρική για παράδειγμα, είναι πιθανά το αποτέλεσμα γεωλογικών διαδικασιών εξέλιξης που έχουν λειτουργήσει για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Η αρχική λιθοποίηση των αποθέσεων μπορεί να ακολουθείται από επανεπεξεργασία και συγκέντρωση λόγω φαινομένων που συνδέονται με το διαχωρισμό τους από τα περιέχοντα ιζήματα, πιθανά σαν αποτέλεσμα μεταβολών που σχετίζονται με αλλαγές στο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας. Τα αβαθή τμήματα των ηπειρωτικών κρηπίδων όπου οι φωσφορίτες είναι αφθονότατοι είναι ιδιαίτερα πρόσφοροι σε επανεπεξεργασία και διάβρωση ιζήματος σαν αποτέλεσμα αλλαγών στο επίπεδο της θαλάσσιας στάθμης. Με τον τρόπο αυτό ορισμένες γενιές φωσφοριτικών συμπηγμάτων θα μπορούσαν να συγκεντρωθούν σε μια μόνο απόθεση. Επιπλέον πέρα από την επανεπεξεργασία θα μπορούσε να εμφανιστεί περαιτέρω φωσφατοποίηση. Η ανύψωση και η πλήρης λιθοποίηση των φωσφοριτών είναι επίσης δυνατή ακολουθούμενη απόδιάβρωση και επαναπόθεση, σαν φωσφοριτικά κροκαλοπαγή, που θα μπορούσαν με τη σειρά τους να εμπλουτιστούν περαιτέρω σε P αν ξαναϋπάρξουν οι φυσικοχημικές συνθήκες που οδηγούν στην καθίζηση του φωσφόρου. Μέρος τουλάχιστον των κυκλικών αυτών σειρών συμβάντων έχει αναγνωριστεί στους κατά στρώσεις φωσφορίτες, στα ανοικτά της βορειο-δυτικής Αφρικής. Η προέλευση των φωσφοριτών σε υποθαλάσσια όρη δεν είναι σαφής (Baturin & Bezrukov, 1979). Μερικοί έχουν σχηματιστεί σαν αποθέσεις περιττωμάτων Γκουανώ σε περιβάλλον μη θαλάσσιο, αλλά όχι παλαιότερο του τριτογενούς από πλευράς ηλικίας. Αλλοι μπορεί αν σχηματίζονται σαν αποτέλεσμα φωσφατοποίησης ανθρακικού πετρώματος.

ΤΥΠΟΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ

Στο θαλάσσιο περιβάλλον συναντώνται διάφοροι τύποι κοιτασμάτων φωσφοριτών. Η τοποθέτηση, η γεωμετρία, τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου των κοιτασμάτων αυτών μεταβάλλονται σε συνάρτηση των διαφορών σέ ότι αφορά τό περιβάλλον απόθεσης καί τίς υπάρχουσες φυσικοχημικές συνθήκες. Αναλόγως η μεθοδολογία Ερευνας, αξιολόγησης, το δυναμικό κάθε τύπου κοιτάσματος θα διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους.

Ετσι μια εκτίμηση του δυναμικού από πλευράς οικονομικότητας των κοιτασμάτων φωσφορίτη πρέπει να λάβει υπ'όψη της την προέλευσή τους, τον μηχανισμό γέννεσής των.

Υπάρχουν 5 βασικές κατηγορίες κοιτασμάτων υποθαλασσίων φωσφοριτών που παρουσιάζονται μαζί με τα βασικά τους χαρακτηριστικά στον ΠΙΝΑΚΑ Ζ3.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ζ3. ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ- ΤΥΠΟΙ- ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΤΕΡΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΦΩΣΦΩΡΙΤΩΝ (Κατά RIGGS ET.AL.1987)

ΤΥΠΟΙ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ	ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ	ΣΥΝΟΔΕΥΟΝΤΑ ΟΡΥΚΤΑ	ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ	
I. ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑΣ **α. Εσω τμήμα της υφαλοκρηπίδας και παράκτιες περιοχές.** **β.Εξώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας** **γ. Ανώτερα ηπειρατικό πρανές**	**Περιοχές CONGO και, Β.Α Καλι,φόρνιας** **Ν.Α. περιοχή ΗΠΑ** **Περού/Χιλή**	**Σώματα τρισδιάστατα με πάχος στρώματος ›1μ Σφηνοειδές σχήμα.** **Έκταση 10^3 έως 10^4 KM^2**	**Δολομίτης,Οργανική ύλη, Γλαυκοφανής Λεπτομερή αργιλλοπυριτικά ορυκτά πλούσια σε Μαγγάνιο**	**Αμμος**	**Πολύ μεγάλο**
ΙΙ. ΣΤΡΟΜΑΤΟΜΟΡΦΟ ΜΙΚΡΟΥ ΠΑΧΟΥΣ **α. Υποθαλάσσια Πλατώ** **β. Υποθαλλάσιες ανυψώσεις**	**BLAKE Πλατώ και AGULHAS BANK CHARTHAM RISE**	**Δυσδιάστατη μορφή πάχους ‹1μ. με σχήμα πολύ ακανόνιστο**	**Μαγγάνιο Γλαυκοφανής Ασβεστίτης**	**Επιφλοιώσεις και κόνδυλοι**	**Μέτριο**
ΙΙΙ. ΔΙΑΣΠΑΡΤΟ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΗΣ	**CHRISTMAS ISLAND MATIAVA ATOLL NAHRU ISLAND**	**Τρισδιάστατη με πάχος στρώματος›1μ. σχήμα ακανόνιστο έκτασης κάποιων δεκάδων KM^2**	**Δολομίτης. Ασβεστίτης**	**Αμμοι και κόνδυλοι**	**Περιορισμένο**
IV.ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΟΡΕΩΝ	**Υποθαλάσσια όρη στον Κεντρικό Ειρηνικό**	**Δυσδ ιάστατη (πέχους‹1μ) σχήμα άγνωστο. Έκταση κάποιων δεκάδων Km^2**	**Ασβεστίτης Ηφαιστειακό υλικό**	**Επιφλοιώσεις και κόνδυλοι**	**Άγνωστο**
V. ΕΝΔΟΗΠΕΙΡΩΤΙΚΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ	**Δεν υπάρχει μοντέρνο παράδειγμα σε σημερινούς ωκεανούς, Υπάρχει παράδειγμα Παλαιοκαίνου (σήμερα σε χέρσο)**	**Δυσδιάστατη (πιάχους ‹1μ) . Σχήμα ακανόνιστο μεγέθους 10^4 έως 100 KM^2**	**Ασβεστίτης Σιδερίτης, Οργανική ύλη**	**Άμμος**	**Περιορισμένο**

Μεγάλο μέρος της γνώσης μας για τους υποθαλάσσιους φωσφορίτες προέρχεται από τη μελέτη κοιτασμάτων που τώρα βρίσκονται στην ξηρά αλλά είχαν σχηματισθεί υποθαλασσίως στο απώτερο γεωλογικό παρελθόν. Η σύγκριση όλων αυτών των δεδομένων με την συνεχώς και ταχύτητα αναπτυσσόμενη πληροφόρηση σχετικά με τους φωσφορίτες των μοντέρνων θαλασσών έχει οδηγήσει σε ένα καλό επίπεδο γνώσης σχετικά με την γέννεση των διαφόρων τύπων των κοιτασμάτων φωσφοριτών. Φυσικά όπως φαίνεται και από τον ΠΙΝ.Ζ3 ο βαθμός πληροφόρησης διαφέρει από τύπο σε τύπο.

Ο μεγαλύτερος όγκος αλλά και βάθος πληροφόρησης αντιστοιχεί στα κοιτάσματα τύπου υφαλοκρηπίδας για τα οποία αφ'ενός μεν υπάρχουν πολλά παραδείγματα στην ξηρά τα οποία για πολλά χρόνια μελετήθηκαν σε λεπτομέρεια, αφ'ετέρου δε υπάρχουν και αρκετές περιπτώσεις σημερινών υποθαλασσίων εμφανίσεων που μελετήθηκαν και συνεχίζουν να μελετώνται.

Υπάρχει μια εντυπωσιακή αύξηση της έρευνας σχετικά με τα μοντέλλα γέννεσης των φωσφοριτών ιδίως τα τελευταία δέκα χρόνια. Αυτό εν μέρει προέρχεται από το γεγονός της αυξανόμενης ανάγκης σε παγκόσμιο επίπεδο για χρήση φωσφορούχων λιπασμάτων με στόχο την βελτίωση και αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής τροφής. Η γεωλογική έρευνα και πληροφόρηση προέρχεται κύρια από τα προγραμμάτα IGCP της UNESCO και την συνεχιζόμενη έρευνα στην υφαλοκρηπίδα.

ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ 5 ΚΥΡΙΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ

Ι. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΤΥΠΟΥ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑΣ

Τα κοιτάσματα τύπου υφαλοκρηπίδας καλύπτουν σήμερα το 70-80% των παγκοσμίων αναγκών σε φωσφορίτες και περιλαμβάνουν μεγάλα κοιτάσματα σε πολλές περιοχές του πλανήτη. Είναι η πιο σημαντική κατηγορία.Τα κοιτάσματα αυτά, των οποίων η ηλικία έχει ένα μεγάλο φάσμα - από τον Προκάμβριο έως το Ολόκαινο - είναι προϊόντα μεγάλης εκτάσεως, παγκοσμίων μερικές φορές γεωλογικών, ωκεανογραφικών επεισοδίων που οδηγούν στη φωσφορογέννεση. Αν και ακόμα ορισμένοι παράμετροι που καθορίζουν την γέννεσή τους δεν έχουν πλήρως εξακριβωθεί π.χ. μηχανισμός καταβύθισης των φωσφοριτών, ρυθμός ανάπτυξης των κονδύλων ή σφαιριδίων φωσφοριτών, ο ρόλος των βακτηριδίων κ.λ.π. Εν τούτοις είναι πια εξακριβωμένο ότι τα κοιτάσματα αυτά σχηματίζονται όπως τονίστηκε και προηγουμένως σε περιοχές, όπου υπάρχει υψηλή βιολογική δραστηριότητα συνοδευόμενη από ζώνες όπου υπάρχουν έντονα ανοδικά θαλάσσια ρεύματα. Η μηχανική συγκέντρωση κόκκων φωσφοριτών δυνατόν να είναι σε ορισμένες περιπτώσεις ένας σημαντικός μηχανισμός για τη δημιουργία κοιτάσματος με οικονομικό ενδιαφέρον. Στη μεγάλη τους όμως πλειοψηφία τα κοιτάσματα αυτά είναι πρωτογενή και η γέννεσή τους οφείλεται σε ανόργανες και εν μέρει οργανικές χημικές διεργασίες.

Υπάρχει υψηλή πιθανότητα ότι συγκεντρώσεις φωσφοριτών τύπου υφαλοκρηπίδας ηλικίας Τεταρτογενούς, βρίσκονται επίσης κάτω από τις παράκτιες ζώνες, και γενικότερα στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας καθ'όλο το μήκος της παγκόσμιας υφαλοκρηπίδας σε γεωγραφικό πλάτος μεταξύ 45ο Βόρρεια και Νότια. Οι περισσότερες από αυτές τις συγκεντρώσεις είναι θαμμένες από νεώτερα ιζήματα. Κατά τόπους πάντως αυτές οι συγκεντρώσεις ή κοιτάσματα είναι επιφανειακά ή βρίσκονται κάτω από λεπτό πάχος ιζημάτων που περιέχουν και επανεπεξεργασμένους φωσφορίτες σε διάφορες συγκεντρώσεις. Ο κύριος όγκος των εμφανίσεων/κοιτασμάτων φωσφοριτών τύπου υφαλοκρηπίδας σχηματίσθηκε στη διάρκεια των μεγάλων επικλύσεων της θάλασσας στην περίοδο της ιστορίας των 67 εκατομ. χρόνων του Κενοζωϊκού. Κάποιοι όμως περίοδοι μέσα στο Κενοζωϊκό ήταν πιο σημαντικοί από άλλες σε ότι αφορά την γέννεση μεγάλων όγκων φωσφοριτών και διατήρησή τους στους γεωλογικούς σχηματισμούς των περιόδων αυτών. Ετσι στη διάρκεια του Παλαιοκαίνου και Ηωκαίνου είχαμε μερικά σημαντικά επεισόδια φωσφορογέννεσης μέσα στον τότε μεγάλο Ανατολής-Δύσης ωκεανό που περιελάμβανε την Τυθή. Τα επεισόδια αυτά είχαν σαν αποτέλεσμα την εκτεταμένη γέννεση φωσφοριτών κατά μήκος των περιοχών Μέσης Ανατολής, Μεσογείου και της Βόρειας πλευράς της Ν.Αμερικής. Μεταξύ Ηωκαίνου όμως και Νεογενούς αυτός ο τεράστιος "κυκλικός" ωκεανός

κατεστράφη της διαδικασίας κίνησης των τεκτονικών πλακών, ενώ ο Β-Α Ειρηνικός και ο Ατλαντικός ήταν ήδη υπό διαμόρφωση. Ετσι η φωσφορογέννεση στο Ανώτερο Κενοζωϊκό έλαβε χώρα κατά διεύθυνση Β-Ν στους ωκεανούς η οποία τώρα περιέχει την μοντέρνα υφαλοκρηπίδα. Με βάση τις ως τώρα έρευνες στην ξηρά αλλά και υποθαλασσίως το Μειόκαινο ήταν η πλέον σημαντική περίοδος που είχαμε τον σχηματισμό φωσφοριτών στη διάρκεια του ανωτέρου Κενοζωϊκού. Στον παρακάτω πίνακα δίδονται σε περίοδοι των επεισοδίων φωσφορογέννεσης στη διάρκεια του ανωτέρου Κενοζωϊκού.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ζ4.ΕΠΕΙΣΟΔΙΑ ΦΩΣΦΩΡΟΓΕΝΝΕΣΗΣ ΣΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΩΤΕΡΩ ΚΕΝΟΖΩΪΚΟΥ

ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ	‹3 Εκατομ. χρόνια	10 Χιλιάδες χρόνια
ΠΛΕΙΟΚΑΙΝΟ	4-5 « «	1 Εκατομ. «
ΜΕΙΟΚΑΙΝΟ	**13-19 « «**	**6 « «**
ΟΛΙΓΟΚΑΙΝΟ	25-29 « «	4 « «

Το κατώτερο και μέσο Μειόκαινο ήταν μια μεγάλη περίοδος που παρουσιάσθηκαν πολύ υψηλές συγκεντρώσεις Ρ που δημιουργήθηκαν ταυτόχρονα με τον σχηματισμό ενός μεγάλου ποσοστού της υφαλοκρηπίδας σε παγκόσμιο επίπεδο με γεωγραφικό πλάτος κατώτερο των 45^{o}.

Στον παρακάτω ΠΙΝ.Ζ5 δίνεται η εκτεταμένη κατανομή των γνωστών Μειοκαινικών σχηματισμών που περιέχουν μεγάλους σχηματισμούς φωσφοριτών κατά μήκος της παγκόσμιας μοντέρνας υφαλοκρηπίδας.

ΠΙΝΑΚΑΣ Ζ5. ΚΑΤΑΝΟΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΤΩΝ ΜΕΙΟΚΑΙΝΙΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΠΕΡΙΕΧΟΥΝ ΦΩΣΦΩΡΙΤΕΣ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΗΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑΣ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑΣ

ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑ	ΠΕΡΙΟΧΗ
1.ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΣ	**ΠΟΡΤΟΓΑΛΛΙΑ, Β.Δ ΑΦΡΙΚΗ & Ν.ΑΦΡΙΚΗ, AGULHAS BANK**
2.ΑΤΛΑΝΤΙΚΟΣ	**Β.ΚΑΡΟΛΙΝΑ ΕΩΣ ΦΛΩΡΙΝΤΑ(ΗΠΑ), ΚΟΥΒΑ,ΒΕΝΕΖΟΥΕΛΑ,ΑΡΓΕΝΤΙΝΗ**
3.ΕΙΡΗΝΙΚΟΣ	**ΚΑΛΟΦΟΡΝΙΑ(ΗΠΑ), ΜΕΞΙΚΟ, ΠΕΡΟΥ ΕΩΣ ΧΙΛΗ**
4.ΕΙΡΗΝΙΚΟΣ	**ΘΑΛΑΣΣΑ ΙΑΠΩΝΙΑΣ,ΙΝΔΟΝΗΣΙΑ,ΑΝΑΤΟΛΙΚΗ Ν.ΖΗΛΑΝΔΙΑ,ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑ Α.ΑΥΣΤΡΑΛΙΑΣ**

Συμπερασματικά από την ως τα τώρα υπάρχουσα πληροφόρηση (RIGES 1987) η δυνατότητα για ανακάλυψη νέα κοιτάσματα φωσφοριτών εντός των Μειοκαινικών ιζημάτων κατά μήκος της

παγκόσμιας υφαλοκρηπίδας είναι πολύ υψηλή για τους παρακάτω λόγους :

1. Η γέννεση φωσφοριτών είναι γνωστό ότι λαμβάνει χώρα στην υφαλοκρηπίδα και στον ανώτερο τμήμα του ηπειρωτικού πρανούς.
2. Παχύτερα και πλέον εκτεταμένα Μειοκαινικά ιζήματα συναντώνται περισσότερο στην υφαλοκρηπίδα παρά σε άλλες περιοχές της παγκόσμιας υφαλοκρηπίδας.
3. Η γεωγλογία του Νεογενούς κατά μήκος της παγκόσμιας υφαλοκρηπίδας και ιδίως η γωλογία των ανωτέρων ιζημάτων είναι πολύ λίγο γνωστή.

Ετσι θα λέγαμε ότι η μελλοντική δυνατότητα για ανακάλυψη και αξιοποίηση φωσφορικών κοιτασμάτων στη παγκόσμια υφαλοκρηπίδα είναι πολύ σημαντική. Η δυνατότητα αυτή είναι σημαντικότερη για τα ιζήματα του Νεογενούς - ειδικά στη διάρκεια του Μειοκαίνου -και ελαττώνεται καθώς πηγαίνουμε προς τα ιζήματα του Παλαιογενούς. Στη σημερινή παγκόσμια υφαλοκρηπίδα επικρατεί η ιζηματογέννεση του Καινοζωϊκού. Η τελευταία σημαντική περίοδος ανάπτυξης ήταν στη διάρκεια του Μειοκαίνου. Τοπικά μόνο είχαμε σημαντική συσσώρευση ιζημάτων στο Πλειόκαινο και Πλειστόκαινο. Στα σταθερά τμήματα της υφαλοκρηπίδας τα Μειοκαινικά ιζήματα επικρατούν με εξαίρεση τις περιοχές όπου έχουμε ανώμαλα υψηλό τάχος ιζηματογέννεσης π.χ. μεγάλα Δέλτα ποταμών της υφαλοκρηπίδας ή περιοχές με μεγάλη τεκτονική δραστηριότητα. Σε περιοχές που υπάρχει έντονη τεκτονική δραστηριότητα π.χ. υφαλοκρηπίδα της Β.Δ Αφρικής τα ιζήματα που επικρατούν στην επιφάνεια της είναι του Παλαιογενούς.

Οι φωσφορίτες σχηματίζονται σε ένα γεωγραφικό πλάτος κάτω του 40 - 50ο. Η παλαιογεωγραφία του Νεογενούς είχε αρκετές ομοιότητες με την σημερινή γεωγραφία. Ετσι στο παραπάνω γεωγραφικό πλάτος αντιπροσωπεύει ένα ρεαλιστικό όριο έρευνας για τους σχηματισμούς του Νεογενούς στην σημερινή παγκόσμια υφαλοκρηπίδα. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο για το Παλαιογενές ειδικά για περιοχές όπως η Αυστραλία και η Ινδία.

Οι φωσφορίτες σχηματίσθηκαν στη διάρκεια μεγάλων επεισοδίων όταν κρίσιμες ωκεανογραφικές συνθήκες μεταβλήθηκαν σαν συνέπεια μεγάλων και παγκόσμιων αλλαγών των κλιματολογικών συνθηκών. Στη διάρκεια των περιόδων αυτών η φωσφορογέννεση είναι πολύ πιο εκτεταμένη, σε σύγκριση με άλλες περιόδους.

Το Μειόκαινο ήταν η τελευταία περίοδος που είχαμε μεγάλο επεισόδιο φωσφορογέννεσης δεδομένου ότι τα αντίστοιχα επεισόδια Πλειοκαίνου και Πλειστοκαίνου είχαν μικρή χρονική διάρκεια (βλ. ΠΙΝ.Ζ4), για να δώσουν ικανό χρόνο ώστε να σχηματισθούν μεγάλα ιζήματα. Φυσικά αυτά τα Μειοκαινικά ιζήματα μόνο περιπτωσιακά βρίσκονται κοντά στην ακρογιαλιά. Στις περιπτώσεις όμως αυτές συχνά συνδέονται με μεγάλα κοιτάσματα φωσφοριτών π.χ. Ν.Α ΗΠΑ, Κούβα, Βενεζουέλα, Περού-Χιλή-Αργεντινή, Ν.Αφρική κ.λ.π.

Μοντέρνα, σημερινή, φωσφορογέννεση λαμβάνει χώρα μόνο σε λίγες περιοχές της υφαλοκρηπίδας π.χ. Περού-Χιλή και Ναμίμπια. (ΦΩΤ. Ζ1.)

ΙΙ. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΣΤΡΩΜΑΤΟΜΟΡΦΑ ΜΙΚΡΟΥΣ ΠΑΧΟΥΣ

Τα κοιτάσματα του τύπου αυτού σχηματίζονται σε εκτεταμένα υποθαλάσσια πλατώ και ανυψώσεις του πυθμένα σε μέσα βάθη 100-1000m. Στα κοιτάσματα αυτά μερικές φορές απαντώνται σχετικά υψηλά ποσοστά Co, Pt και Mn. Σχηματίζονται είτε από συσσώρευση κατά στρώσεις ή από αντικατάσταση ανθρακικών σχηματισμών (υποκατάσταση της ανθρακικής ρίζας CO_3^{-2} από την

φωσφορική PO4-4) όταν αυτοί εκτεθούν σε μακρές περιόδους μή απόθεσης ιζημάτων . Οι ακριβείς συνθήκες που οδηγούν στη φωσφορογέννεση δεν είναι ακόμη γνωστές. Χαρακτηριστικά παραδείγματα κοιτασμάτων του τύπου αυτού είναι οι φωσφορίτες του Catham Rise στην υφαλοκρηπίδα της Ν. Ζηλανδίας. Πάντως πολλά ερωτήματα και θέματα είναι ανοικτά σε ότι αφορά την γένεση των κοιτασμάτων αυτών.

III. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΔΙΑΣΠΑΡΤΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΕΝΗΣ ΕΚΤΑΣΕΩΣ

Κοιτάσματα του τύπου αυτού σχηματίζονται όταν τα απορρήματα του ζώου με το όνομα GUANO (που είναι εξαιρετικά πλούσια σε P_2O_5) συσσωρεύονται σε ωκεάνιους νήσους και κατόπιν αλληλοεπιδρούν χημικά με τα υποκείμενα πετρώματα και ειδικά τους ασβεστόλιθους. Αν τα νησιά αυτά αργότερα, στη διάρκεια της γεωλογικής των ιστορίας, καλυφθούν από τη θάλασσα και αποτελέσουν τμήμα του υποθαλάσσιου πυθμένα τότε οι σχηματισμοί αυτοί εξελίσσονται σε "δυνάμει" υποθαλάσσιο κοίτασμα φωσφοριτών μικρού μάλιστα βάθους. Απαραίτητη προϋπόθεση για να προσεγγίσουμε με τον καλύτερο τρόπο το θέμα της γέννεσης των κοιτασμάτων αυτών, να τα ερευνήσουμε καλύτερα είναι η ακριβής χρονολόγηση ιδίως δε ο χρονικός συσχετισμός της περιόδου φωσφορογέννεσης σε σχέση με τις παλαιωκεανογραφικές και παλαιοκλιματικές συνθήκες.

IV. ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΟΡΕΩΝ

Τα κοιτάσματα του τύπου αυτού σχηματίζονται αρκετά συχνά ταυτόχρονα με επιφθοιώσεις ή κονδύλους Mn που σχηματίζονται επίσης κάτω από ορισμένες συνθήκες σε υποθαλάσσια όρη και σε ενδιάμεσο βάθος του πυθμένα των ωκεανών (200-4000m). Η κατανομή και τα χαρακτηριστικά των κοιτασμάτων αυτών καθώς και το δυναμικό τους από οικονομικής πλευράς είναι πολύ λίγο μελετημένα και επομένως γνωστά. Ενας λόγος γι'αυτό είναι ότι οι τεχνικές δειγματοληψίας για τέτοια περιβάλλοντα δεν είναι και πολύ ικανοποιητικές. Οι φωσφορίτες του τύπου αυτού συχνά συνδέονται με επιφλοιώσεις σιδηρομαγγανίου πλούσιες σε Co. Πρόκειται για κοιτάσματα που προέρχονται από αντικατάσταση. Οι συνθήκες πάντως που οδήγησαν στην φωσφοροποίηση ασβεστολίθων και άλλων πετρωμάτων παραμένουν ακόμη άγνωστες.

Μια απαραίτητη προϋπόθεση για να ερευνηθούν σε βάθος οι μηχανισμοί γέννεσης των κοιτασμάτων αυτών, για να υπάρξει μεγαλύτερη προσέγγιση στην έρευνά τους είναι η ανάπτυξη αναλυτικών μεθόδων για πιο ακριβή απόλυτη και βιοστρωματογραφική χρονολόγηση καθώς και συσχετισμός των περιόδων φωσφοροποίησης με παλαιωκεανογραφικά γεγονότα.

V.ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΕΝΔΟΗΠΕΙΡΩΤΙΚΩΝ ΘΑΛΑΣΣΩΝ

Οπως τονίζεται και στον ΠΙΝ.Ζ3 κοιτάσματα του τύπου αυτού δεν σχηματίζονται στους μοντέρνους ωκεανούς (από τις ως τα τώρα γνώσεις μας τουλάχιστον). Επειδη όμως σχηματίσθηκαν επανειλημμένα στη διάρκεια παλαιστέρων γεωλογικών περιόδων ο τύπος αυτός αναφέρεται και εδώ σαν μιά "εν δυνάμει" πηγή φωσφοριτών η οποία δυνατόν να ανακαλυφθεί μελλοντικά σε σύγχρονα υποθαλάσσια ιζήματα που συνδέονται με το παραπάνω γεωτεκτονικό περιβάλλον.

ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ (ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗ) ΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Οι βασικοί μέθοδοι έρευνας υποθαλασσίων φωσφοριτών είναι η τηλεφώραση και οι τεχνικές της απευθείας δειγματοληψίας. Οι μέθοδοι τηλεφώρασης περιλαμβάνουν την διεξαγωγή σεισμικών προφίλς, γ-ray logging (η παρουσία υψηλών ποσών U σέ φωσφορίτες κάνουν απαραίτητη την χρήση της gamma-logger μεθόδου στα επιφανειακά κοιτάσματα και υποθαλάσσιες γεωτρήσεις) ηχογραφικές έρευνες κ.λ.π. Ολες αυτές οι μέθοδοι πρέπει πάντα να είναι στενά συντονισμένες με τις μεθόδους δειγματοληψίας. Οι μέθοδοι δειγματοληψίας περιλαμβάνουν grab sampling, δειγματολήπτη βαρύτητος, piston και για έρευνα μεγαλύτερης έκτασης λεπτομέρειας vibro-cover.

Στην έρευνα των φωσφοριτών έχει σημαντική σημασία η μελέτη ωκεανογραφικών δεδομένων σχετικά με τα ρεύματα, κύματα, βάθος και βιολογικών δεδομένων σχετικά με βενθικούς και άλλους οργανισμούς. Ολα αυτά τα στοιχεία αξιολογούνται και συσχετίζονται με τα γεωλογικά δεδομένα.

Η ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ εξακριβωμένων υποθαλασσίων κοιτασμάτων φωσφοριτών εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες. Ετσι i) το μέγεθος του κοιτάσματος, ii) το βάθος της θάλασσας, iii) το πάχος των ιζημάτων που τυχόν καλύπτουν το κοίτασμα, iv) η τοποθεσία και η απόσταση από την ακτή είναι παράγοντες κρίσιμοι σέ ότι αφορά τήν οικονομικότητα. Η υποδομή και το ποσό κοντά βρίσκονται οι αγορές του προϊόντος είναι επιπλέον κόστος που θα προσδιορίσουν κατά πόσο το κοίτασμα και φυσικά τελικό προϊόν μπορούν να πωληθούν με κέρδος. Η αξία του κοιτάσματος εξαρτάται τελικά από την ποιότητα και ποσότητα του υλικού που εξάγεται από το υπό επεξεργασία οξορυχθέν υλικό. Η ποιότητα είναι κύρια συνάρτηση του ποσοστού και της φύσης του υλικού που συνοδεύει του φωσφορίτες και συγκεκριμένα το P_2O_5. Σήμερα στην αγορά κοιτάσματα με P_2O_5 περίπου 30% είναι τα πλεόν εκμεταλλεύσιμα.

Η δυνατότητα επανεργοποίησης των κόκκων των φωσφοριτών είναι ένα μέτρο της χρησιμότητας και αξίας του κοιτάσματος για χρήση στη γεωργία δεδομένου ότι ο φωσφόρος είναι το πλέον βασικό συστατικό των λιπασμάτων. Μια άλλη σημαντική παράμετρος συνδέεται με τα υποπροϊόντα και συγκεκριμένα αν τα συνοδεύονται στοιχεία (κύρια ιχνοστοιχεία) συνεισφέρουν στην αύξηση της αξίας του κοιτάσματος ή θεωρούνται επιζήμια. Ετσι π.χ. η παρουσία υψηλών συγκεντρώσεων Cd σε ορισμένους φωσφορίτες στοιχείου γνωστής τοξικότητας σε ότι αφορά το περιβάλλον και τον άνθρωπο σίγουρα επηρρεάζει προς το χειρότερο την αξία τους εφ'όσον χρησιμοποιηθούν στην γεωργία, ενώ το U μπορεί να αποτελέσει ένα σημαντικό από οικονομικής πλευράς απολήψιμο υποπροϊόν.

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΣΣΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΦΩΣΦΟΡΙΤΩΝ

Γενικά η φάση της αξιοποίησης - εξόρυξης των υποθαλασσίων ΟΠΥ - και φυσικά των φωσφοριτών απαιτεί τον συνυπολογισμό ορισμένων παραμέτρων - κλειδιά όπως τεχνικών, καθαρά οικονομικών, κοινωνικοπολιτικών, περιβαλλοντικών. Οι εταιρίες που φιλοδοξούν να προχωρήσουν στην εκμετάλλευση υποθαλασσίων ΟΠΥ πρέπει να λάβουν υπ'όψη τους στο στάδιο του σχεδιασμού ορισμένους "φυσικούς" παράγοντες όπως το βάθος του νερού τις επικρατούσες αλλά και ακραίες ωκεανογραφικές συνθήκες της περιοχής καθώς και την απόσταση της υπό εκμετάλλευση περιοχής από την κοντινότερη ακτή. Το βάθος του νερού, μετά το ρηχότερο και ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας, επηρεάζει δραματικά το κόστος σε ότι αφορά την εγκατάσταση και συντήρηση των ηλεκτρικών, μηχανικών υδραυλικών συστημάτων.

Κατά συνέπεια - και με την τρέχουσα τεχνολογία - μόνο τα φωσφορικά κοιτάσματα τύπου

υφαλοκρηπίδας σε σχέση με τους άλλους τύπους κοιτασμάτων φωσφοριτών, μπορούν στο κοντινό μέλλον να υποστούν εκμετάλλευση. Πάντως πολλά κοιτάσματα τύπου υφαλοκρηπίδας έχουν στενή ανάπτυξη και "βλέπουν" την ανοικτή θάλασσα. Οι περιοχές αυτές είναι ευάλωτες σε μεγάλα κύμματα, ισχυρούς ανέμους και ισχυρά υποθαλάσσια ρεύματα. Είναι φανερό ότι τέτοιες περιοχές προκαλούν επίσης υψηλό κόστος.

Επί πλέον η αύξηση της απόστασης μεταξύ της περιοχής υπό εκμετάλλευση και της κοντινής ακτής - όπου βρίσκονται όλες οι αναγκαίες υποδομής - συνεπάγεται σημαντική αύξηση του κόστους σε ότι αφορά την μεταφορά, εγκατάσταση και συντήρηση του κάθε είδους εξοπλισμού.

Ο σχεδιασμός εγκαταστάσεων για εκμετάλλευση υποθαλασσίων φωσφοριτών πρέπει επιπλέον να λάβει υπ'όψη τους δύο σημαντικούς παράγοντες. Ο πρώτος συνδέεται με το περιβάλλον. Ο δεύτερος συνδέεται με θέματα φυσικής και υγεινής ασφάλειας. Οι περιβαλλοντικοί σχεδιασμοί πρέπει να περιλαμβάνουν ειδικές βιολογικές προδιαγραφές ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ρύπανση του γύρω θαλασσίου και υποθαλασσίου περιβάλλοντος.

Ο σχεδιασμός του περιλαμβάνει θέματα ασφαλείας αναφέρεται σε όλο τον εξοπλισμό ενώ το θέμα της υγείας έχει σχέση με τον έλεγχο και περιεκτικότητας ενδεχόμενα τοξικών ουσιών που αποβάλλονται στη διάρκεια της υποθαλάσσιας εξόρυξης ή επεξεργασίας. Τέτοιες ουσίες μπορεί π.χ. να είναι το φθόριο, το κάδμιο και το ουράνιο.

Οι μελλοντικές εξελίξεις σε ότι αφορά την εκμετάλλευση των υποθαλασσίων φωσφοριτών εξαρτάται φυσικά από τις συνθήκες της αγοράς. Παραδοσιακά η τιμή του P και P_2O_5 ανεβοκατεβαίνει στην παγκόσμια αγορά με κύκλους μέσου όρου 6 ή 7 χρόνια. Σήμερα υπάρχει μια υπερπροσφορά P και P_2O_5 στην διεθνή αγορά.

Από την άλλη πλευρά η μακροπρόθεσμη τάση αύξησης της χρήσης λιπασμάτων είναι γραμμική και αυξανόμενη με αρκετά υψηλό ρυθμό. Ενώ η τάση αυτή ευννοεί σχεδιασμό για εκμετάλλευση υποθαλασσίων φωσφοριτών εν τουτοις η μεγάλη διακύμανση των τιμών δυνατόν να επηρεάσει σοβαρά σχέδια για τέτοια επιχείρηση η οποία άλλωστε και επιπλέον θα πραγματοποιηθεί για πρώτη φορά. Η ζήτηση όμως αυξάνει ενώ τα υπό εκμετάλλευση κοιτάσματα στην ξηρά εξαντλούνται. Αυτό δυνατό να οδηγήσει μεταλλευτικές επιχειρήσεις στον σχεδιασμό μελλοντικής εκμετάλλευσης υποθαλασσίων φωσφοριτών. Η υιοθέτηση της Αποκλειστικής Οικονομικής Ζώνης [(Exclusive Economic Zones (EEZ)] από πολλές χώρες μπορεί να σημαίνει μεγαλύτερη βοήθεια και ασφάλεια που θα είναι διαθέσιμη στις επιχειρήσεις οι οποίες θα προχωρήσουν σε υποθαλάσσια εξόρυξη. Αυτό φυσικά με την προϋπόθεση ότι το νομικό και θεσμικό πλαίσιο για παραχωρήσεις, σωστή επιχειρησιακή λειτουργία είναι δεδομένο και σταθερό. Στις περιπτώσεις αυτές μικρά κοιτάσματα φωσφοριτών , στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας και κοντά στην ξηρά δυνατόν να είναι οικονομικά συμφέρον να αξιοποιηθούν. Αυτό θα βοηθήσει αναπτυσσόμενες χώρες που θέλουν να είναι αυτάρκεις σε λιπάσματα ειδικά για τις περιπτώσεις της απ'ευθείας χρήσεις μή επεξεργασμένων φωσφοριτών στις καλλιεργούμενες γαίες.

Σε ότι αφορά την υπάρχουσα τεχνολογία προς το παρόν για την υποθαλάσσια εξόρυξη χρησιμοποιούνται μέθοδοι και τεχνικές που δεν είναι τίποτε άλλο παρά επέκταση και μετατροπή των αντιστοίχων τεχνολογιών που χρησιμοποιούνται στην ξηρά ώστε να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στο θαλάσσιο περιβάλλον.

ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ-

ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΦΩΣΦΩΡΙΤΩΝ

i. Σε ότι αφορά την εμφάνιση - έρευνα φωσφοριτών.

Η δυνατόν καλύτερη έρευνα και μελέτη της γέννεσης των φωσφοριτών μεταξύ των άλλων απαιτεί :

α) Πλήρη κατανόηση των ανοδικών ρευμμάτων των ωκεανών ιδίως στις περιοχές γέννεσης των φωσφοριτών.
β) Ανάπτυξη ολοκληρομένων μοντέλλων σε ότι αφορά την ισορροπία των στοιχείων που σχετίζονται με την διαγέννεση - δημιουργία των φωσφοριτών, τα εσωτερικά νερά των πόρων των ιζημάτων τα συνοδεύοντα αυτογενώς δημιουργούμενα ορυκτά (π.χ. Γλαυκοφανή, δολομίτης, οξείδια Fe-Mn).
γ) Βελτίωση των μεθόδων χρονολόγησης σε όλα τα είδη των φωσφοριτών είτε μέσω της βιοστρωματογραφίας είτε μέσω της ραδιοχρονολόγησης (π.χ. U-He, Nd-Sm, Sr81-Sr86, Be10, κ.λ.π.).
δ) Προσδιορισμό της σχέσης της οργανικής ύλης με τον σχηματισμό των φωσφοριτών καθώς και τον πιθανό ρόλο στον σχηματισμό αυτό των μικροοργανισμών.
ε) Λεπτομερέστερη μελέτη της διαγεννετικης εξαλλοίωσης, ανακινητοποίησης και μεταφοράς φωσφοριτών που είχαν σχηματισθεί παλαιότερα.
στ) Λεπτομερέστερη μελέτη της διαδικασίας σχηματισμού των διαφόρων τύπων κόκκων φωσφοριτών και την σχέση τους με τους μηχανισμούς διαγέννεσης.

ii. Σε ότι αφορά την Ερευνα-Εκτίμηση Αξίας του Κοιτάσματος

α) Ανάπτυξη μεθοδολογίας συσχετισμού των κοιτασμάτων φωσφοριτών με γεωλογικές, φυσικές και χημικές παραμέτρους οι οποίες ελέγχουν την φωσφορογέννεση σε ευρύτερη χωρικά βάση (regional basis).
β) Λεπτομερεστέρη μελέτη των περιοχών στις οποίες δημιουργήθηκαν οι φωσφορίτες του τριτογενούς και του Ολοκαίνου (Μοντέρνοι), και οι οποίες θεωρούνται οι πλέον ενδιαφέρουσες σε ότι αφορά την καταννόηση των μηχανιμών φωσφορογέννεσης π.χ. περιοχές υφαλοκρηπίδας Περού-Χιλή, Ναμίμπια, Ν.Α ΗΠΑ, Σενεγάλη-Μαυριτανία-Μαρόκο.
γ) Ολοκληρωμένη ποσοτικη μελέτη των γεωλογικών, γεωφυσικών,γεωχημικών και ωκεανογραφικών δεδομένων (χρησιμοποιώντας και τις νέες τεχνικές του (image analysis) ώστε να βελτιωθεί η αναγνώριση και ανάλυση των χαρακτηριστικών και τάσεων των δεδομένων αυτών.
δ) Βελτίωση της τεχνολογίας-έρευνας π.χ. γεωφυσικης καθώς και των τεχνικών δειγματοληψίας.

iii. Σε ότι αφορά την αξιολόγηση ευρεθέντος κοιτάσματος

α) Ανάλυση δεδομένων από γνωστά κοιτάσματα φωσφοριτών για την παρουσία συνοδευόντων ορυκτών ή ιχνοστοιχείων τα οποία δυνατόν να έχουν οικονομική αξία (π.χ. U) αυξάνονται έτσι την όλη οικονομικότητα του κοιτάσματος.

β) Σχεδιασμό και εκτέλεση της σωστής δειγματοληψίας ώστε να υπάρξει η δυνατόν καλύτερη γεωστατιστική μελέτη που θα δώσει το ακριβές αποθεματικό του κοιτάσματος, τις αναγκαίες οικονομοτεχνικές παραμέτρους οι οποίες θα επιτρέψουν τον σχεδιασμό και ανάπτυξη της υποθαλάσσιας μεταλλευτικής δραστηριότητας.

iv. Σε ότι αφορά την ανάπτυξη και αξιοποίηση του ευρεθέντος κοιτάσματος.

α) Να δοθεί μεγάλη έμφαση στην καταννόηση των οικοσυστημάτων και των ωκεανογραφικών συνθηκών στις περιοχές του ευρεθέντος κοιτάσματος. Στόχος η λήψη των αναγκαίων μέτρων προστασίας του περιβάλλοντος σε σχέση με τις τεχνικές και μεθόδους που θα χρησιμοποιηθούν για την υποθαλάσσια εξόρυξη του κοιτάσματος.

β) Μελέτη της αλληλοεπίδρασης προσφοράς και ζήτησης φωσφοριτών σε συσχετισμό ιδίως με τις νέες τεχνολογικές εξελίξεις και σαν συνάρτηση της δυνατότητας να βρεθούν τα καταλληλότερα από πλευράς οικονομικότητας κοιτάσματα, σε παγκόσμιο επίπεδο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Η

ΚΟΝΔΥΛΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΦΛΟΙΩΣΕΙΣ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ-ΣΙΔΗΡΟΥ

Η1. ΠΟΛΥΜΕΤΑΛΛΙΚΟΙ ΚΟΝΔΥΛΟΙ ΟΞΕΙΔΙΩΝ Mn-Fe

1 ΠΡΟΛΟΓΟΣ: Η ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΚΟΝΔΥΛΩΝ

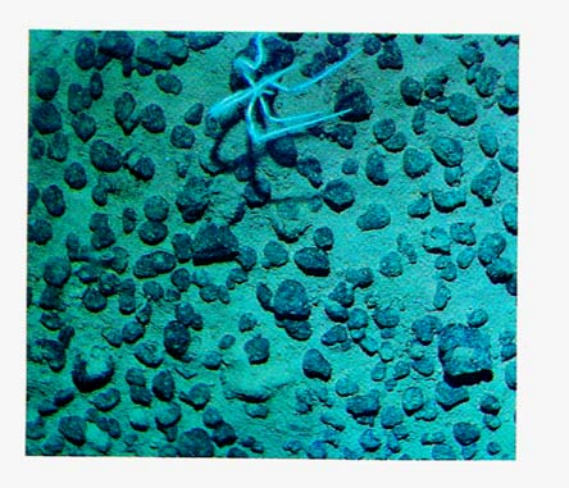
Οι πολυμεταλλικοί κόνδυλοι ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στο τέλος του 19^{ου} αιώνα στη θάλασσα Kara, στον αρκτικό ωκεανό έξω από τη Σιβηρία (1868). Κατά τη διάρκεια των επιστημονικών αποστολών του ερευνητικού σκάφους ¨H.M.S. Challenger¨μεταξύ 1872- 76, διαπυστώθηκε ότι οι σχηματισμοί αυτοί εμφανίζονται στους περισσότερους ωκεανούς του κόσμου.

Αυτά τα πλούσια μεταλλικά αποθέματα στον Θαλάσσιο βυθό (ΦΩΤ.Η1α,Η1β και Η1γ.) υπήρξαν θέμα συζήτησης μεταξύ των γεωλόγων της υποθαλάσσιας γεωλογίας από την ανακάλυψη των πρώτων κονδύλων μαγγανίου από τοChallenger Expedition πριν από ένα αιώνα και την διαπίστωση ότι ήταν πλούσιοι σε χαλκό, κοβάλτιο, νικέλιο και άλλα βαρειά μέταλλα.

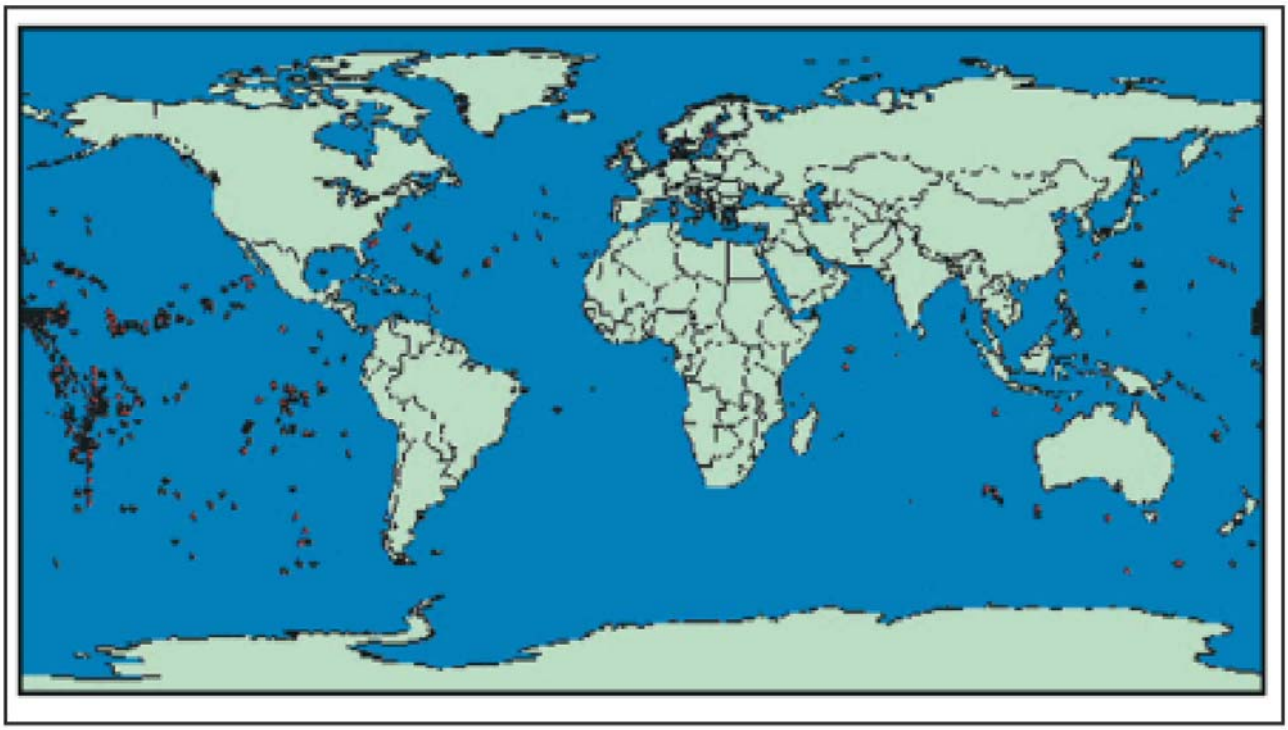
Οι πολυμεταλλικοί κόνδυλοι, αποκαλούμενοι επίσης κονδύλους μαγγάνιου, είναι συγκρίματα πετρωμάτων που αποτελούνται από ομόκεντρα στρώματα υδροξειδίων σιδήρου και μαγγάνιου γύρω από έναν πυρήνα. Ο πυρήνας μπορεί να είναι μικροσκοπικά μικρός και μερικές φορές εντελώς μετασχηματίζεται σε ορυκτά του μαγγάνιου εξ' αιτίας της ανακρυστάλλωσης. Όταν ο πυρήνας είναι ορατός με γυμνό μάτι, μπορεί να διαπιστώσουμε ότι είναι ένα μικροαπολίθωμα (ραδιολαρίτης ή φοραμινίφερα), φωσφωριομένο δόντι από καρχαρία, θραύσματ από υποθαλάσσιους βασάλτες ή ακόμα και τμήματα των προηγούμενων κονδύλων. Το πάχος και η κανονικότητα των ομόκεντρων στρωμάτων καθορίζονται από τα διαδοχικά στάδια της αύξησης. Σε μερικούς κονδύλους είναι ασυνεχείς, και με αξιοπρόσεχτες διαφορές μεταξύ των δύο πλευρών. Οι κόνδυλοι ποικίλλουν στο μέγεθος από μικροσκοπικούς κόκκους ορατούς μόνο κάτω από το μικροσκόπιο έως μεγάλα σφαιρίδια διαμέτρου πάνω από 20 εκατοστόμετρα.

Πάντως οι περισσότεροι κόνδυλοι παρουσιάζουν διάμετρο μεταξύ 5 και 10 εκατ. περίπου στο μέγεθος που έχουν οι πατάτες.. Η επιφάνειά τους είναι γενικά ομαλή, μερικές φορές όμως είναι τραχύς, (με κόμβους) ή ειδάλλως ανώμαλη. Η κάτω πλευρά η οποία θάβεται στο ίζημα, είναι γενικά τραχύτερη από την άνω πλευρά που βρίσκεται συχνά σε επαφή με το θαλασσινό νερό.

Οι κόνδυλοι βρίσκονται στην επαφή θαλασσινού νερού και της ανώτερης στιβάδας των υποθαλασσίων ιζημάτων συχνά θαμμένοι κατά το ήμισυ μέσα σε αυτά. Μερικοί κόνδυλοι καλύπτονται εντελώς από το ίζημα και, σε μερικές περιοχές, οι κόνδυλοι έχουν συλλεχθεί ακόμη και αν ήταν αρχικά μη ορατοί στις φωτογραφίες. Ποικίλλουν πολύ στην αφθονία. Σε μερικές περιοχές καλύπτουν περισσότερο από 70% του βυθού. Σε γενικές γραμμές για να θεωρηθεί ότι παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον , η αφθονία τους πρέπει να υπερβαίνει τα 10 χιλιόγραμμα ανά τετραγωνικό μέτρο, με έναν μέσο όρο 15 kgr/m^2 σε μια έκταση της τάξης κάποιων δεκάδων τετραγωνικών χιλιομέτρων. Μπορούν να εμφανιστούν σε οποιοδήποτε βάθος, αλλά οι υψηλότερες συγκεντρώσεις έχουν βρεθεί μεταξύ 4.000 και 6,000m.



Polymetallic nodules.



ΦΩΤ. Η1α Η1β. και Η1γ.Μορφές και εμφάνισεις κονδύλων στον θαλάσσιο βυθό

Οι κονδυλοι Μn καλυπτουν ιδιως σε ωρισμενες περιοχες μεγαλα τμηματα του Ωκεανειου βυθου. (Φωτ.Η1γ) Κατανεμονται κατα μηκος ολης της ιζηματογενους στηλης κυριωτατα ομως εχουν τις υψηλοτερες συγκεντρωσεις τους στην επιφανεια του πυθμενα,οπου δυνατον να καλυπτουν εκτεταμενες περιοχες π.χ το 50% των επιφανειακων ιζηματων στον Δ.Ειρηνικο εχει

ενα καλυμμα απο κονδυλους.Σημερα πια ειναι τεκμηριωμενο χαρις στην δουλεια του CRONAN(1977) αλλα και αλλων ερευνητων οτι δυο κυριως παραγοντες ελεγχουν το ποσοστο αφθονιας των κονδυλων στον θαλασσιο βυθο:

α)Το ταχος ιζηματογεννεσης των ιζηματων τα οποια "φιλοξενουν" τους κονδυλους.

Η μεγαλη αφθονια κονδυλων συνδεεται με ιζηματα που εχουν χαμηλο ταχος ιζηματογεννεσης δηλ. λιγα mm/1000 χρονια π.χ σε λεπτοκοκκα πελαγικα ιζηματα αποτελουμενα απο αργιλλοπυριτικα ορυκτα η οργ ανικη πυριτικη ιλυ. Σε ωρισμενες περιπτωσεις υψηλες συγκεντρωσεις κονδυλων δυνατον να υπαρξουν και σε περιοχες οπου η ιζηματογεννεση παρεμποδιζεται απο την δραση των θαλασσιων ρευματων π.χ στα υψηλοτερα σημεια των υποθαλασσιων ορεων.

β) Η υπαρξη του καταλληλου πυρηνα για την εναρξη και συνεχιση κατακαθισης περιξ αυτου των οξειδιων Mn–Fe .

Σχηματισμός

Διάφορες θεωρίες έχουν προταθεί για να εξηγήσουν το σχηματισμό των διαφορετικών τύπων κονδύλων. Δύο από τους δημοφιλέστερους είναι:

- Σχηματισμός μέσω μιας υδρογενούς διαδικασίας στην διάρκεια της οποίας οι σχηματισμοί αυτοί σχηματίζονται από την αργή καθίζηση των μεταλλικών συστατικών από το νερό της θάλασσας. Ο μηχανισμός αυτός θεωρείται ότι δημιουργεί κονδύλους με παρόμοια περιεκτικότητα σε σίδηρο και μαγγάνιο και σχετικά υψηλές περιεκτικότητες σε νικελίο, χαλκό και κοβάλτιο.
- Σχηματισμός μέσω μια διαγεννετικής διαδικασίας στην διάρκεια της οποίας τα ιόντα μαγγανίου (Mn^{+2}) ανακινητοποιούνται στη στήλη των ιζημάτων και καζιζάνουν ως οξείδια στην διεπαφή ιζημάτων/ύδατος λόγω της οξείδωσης του $Mn^{+2} \rightarrow Mn^{+4}$. Τέτοιοι κόνδυλοι είναι πλούσιοι στο μαγγάνιο αλλά φτωχοί σε σίδηρο, νικέλιο, χαλκό και κοβάλτιο.

Άλλοι προτεινόμενοι μηχανισμοί

- Σχηματισμός μέσω μιας υδροθερμικής διαδικασίας, στην οποία τα μέταλλα προέρχονται από τα υδροθερμικά διαλύμματα που συνδέονται με την υποθαλάσσια ηφαιστειακή δραστηριότητα
- Σχηματισμός μέσω μιας αλμυρολυτικής διαδικασίας , κατά την οποία τα μεταλλικά συστατικά προέρχονται από την αργή αποσάθρωση των βασαλτικών κορρημάτων συντριμμιών από το νερό της θάλασσας σε συνθήκες χαμηλών θερμοκτασιών και υψηλής υδροστατικής πίεσης.
- Σχηματισμός μέσω μιας βιογενούς διαδικασίας, στην οποία η δραστηριότητα των μικροοργανισμών δρα ως καταλύτης για την οξειδωτική διαδικασία και τον σχηματισμό των υδροξειδίων μετάλλων.

Κοινοί παράγοντες απαραίτητητοι για τον σχηματισμό κονδύλων

Αρκετές από τους παραπάνω προτεινόμενους μηχανισμούς μπορούν να λειτουργήσουν ταυτόχρονα ή μπορούν να ακολουθήσουν ο ένας τον άλλο κατά τη διάρκεια του σχηματισμού ενός κονδύλου. Ανεξάρτητα όμως από το ποιος ή ποιοι μηχανισμοί είναι ενεργοί σε διαφορετρικές περιπτώσεις, υπάρχουν κάποιοι κοινοί παράγοντες που πρέπει να συνυπάρχουν για να έχουμε σχηματισμό κονδύλων. Αυτοί είναι:

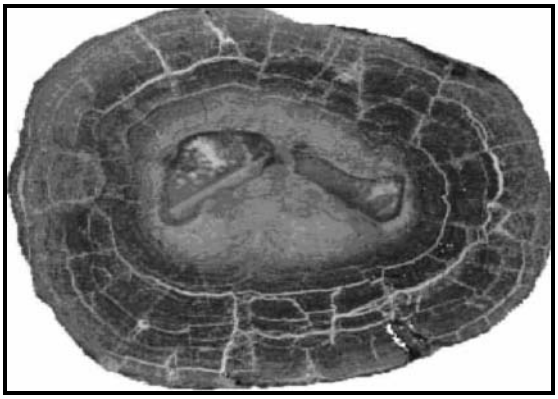
1.Ο σχηματισμός κονδύλων απαιτεί ένα χαμηλό τάχος ιζηματογένεσης ή κάποια διαδικασία για την μετακίνηση του ιζήματος προτού να συσσωρευθεί. Αυτό επιτρέπει στα κονδυλοειδή συγκρίματα να αυξηθούν προτού να θαφτούν από στρώματα ιζημάτων ,οπότε θα εστερούντο των συνθηκών που τα επιτρέπουν να αναπτυχθούν. (π.χ οξειδωτικές συνθήκες)

2. Υψηλή βιολογική δράση δηλαδή ύπαρξη πλαγκτόν το οποίο συγκεντρώνει ιχνοστοιχεία όπως ο χαλκός και το νικέλιο στα κελύφη του.Η οργανική ύλη η οποία καταβυθίζεται στον πυθμένα της θάλασσας όταν πεθαίνουν αυτοί οι οργανισμοί φαίνεται ότι είναι μια σημαντική πηγή μετάλλων που ενσωματώνονται στους κονδύλους μέσω του φαινομένου της προσρόφησης.

3. Το μαγγάνιο στο νερό της θάλασσας προέρχεται κυρίως από τις υδροθερμικές διεξόδους (από υδροθερμικά διαλύματα) όπου υφίσταται έκπλυση από τα υποκείμενα βασαλτικά πετρώματα καθώς τα υπέρθερμα υδροθερμικά ρευστά όντας πολύ όξινα εκπλύουν τον ωκεάνιο φλοιό (κυρίως βασαλτικής σύστασης) καθώς ανεβάινουν προς τα άνω.

4. Οι συμπήξεις των κονδύλων βοηθούνται και από τη δραστηριότητα των μικροοργανισμών.

Θραύονται εύκολα πράγμα που διευκολύνει την διαδικασία επεξεργασίας τους και την χημική εξαγωγή των μετάλλων. Κόβοντας τους κόνδυλους παρατηρούμε ομόκεντρη δομή (**ΦΩΤ.Η2**).



ΦΩΤ.Η2.Εγκάρσια τομή πολυμεταλλικού κονδύλου όπου φαίνεται ο πυρήνας και οι ομόκεντροι κύκλοι ανάπτυξης

2. Φύση των αποθεμάτων Κονδύλων και Επιφλοιώσεις Mn-Fe

Η αύξηση κονδύλων είναι ένα από τα πλέον αργά γεωλογικά φαινόμενα - της τάξεως ενός εκατοστόμετρου ανά κάποια εκατομμύρια χρόνια. Επομένως η ηλικία των κονδύλων του Ειρηνικού ωκεανού είναι της τάξης 2 έως 3 εκατομμυρίων ετών. Υψηλότερους ρυθμούς σχηματισμού κονδύλων έχουμε μόνο αν υπάρξουν υδροθερμικές ή ακόμα και αλμυρολυτικές διαδικασίες .

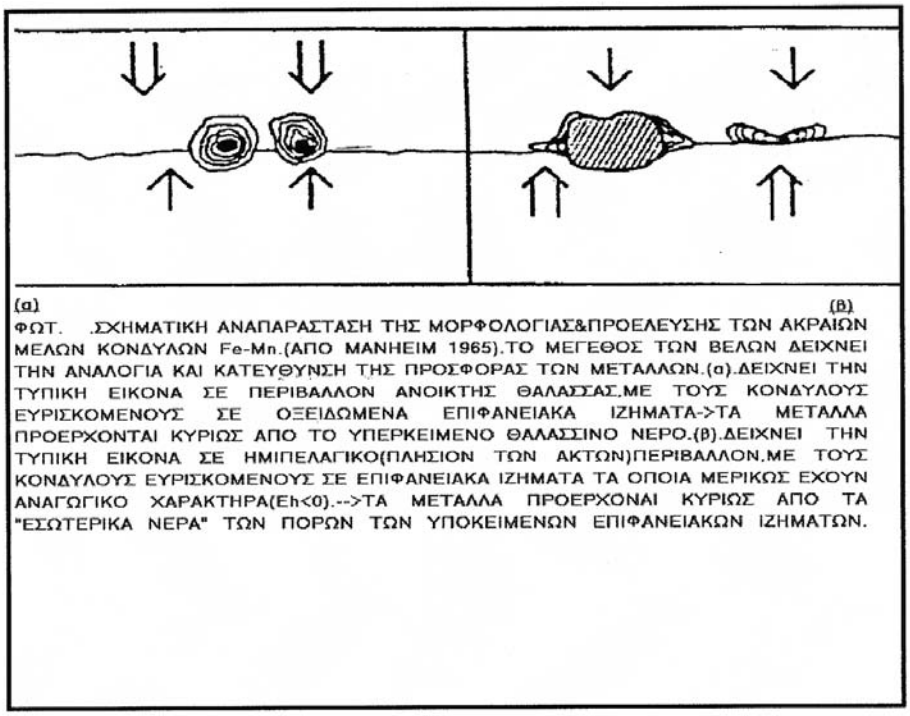
Ένας άλλος θέμα που απαιτεί εξήγηση είναι γιατί οι κόνδυλοι παραμένουν στην επιφάνεια του βυθού αφού η ταχύτητα ιζηματογένεσης είναι πολύ υψηλότερη από την ταχύτητα αύξησης των κονδύλων. Ακόμη και για την υλή ραδιολαριτών , το μέσο ποσοστό ιζηματογένεσης είναι της τάξεως διάφορων χιλιοστόμετρων ανά χίλια έτη. Συνεπώς, οι κόνδυλοι θα έπρεπε να έχουν θαφτεί κάτω από ιζήματα πάχους διαφόρων μέτρων.

Μια εξήγηση αυτού του φαινομένου είναι ότι οι βενθικοί οργανισμοί που συνεισφέρουν στην ανάπτυξη των κονδύλων σύμφωνα με αυτά που προαναφέραμε (π.χ πολύχαιτοι σκωληκοειδείς οργανισμοί) απομακρύνουν τα πρόσφατα καταβυθισθέντα ιζήματα πάνω στους κόνδυλος και τα εκτυνάσσουν πλευρικά ή ακόμα και κάτω από τους κόνδυλος, αποτρέποντας κατά συνέπεια τον ενταφιασμό τους.

3.Μορφολογία

Οί κόνδυλοι έχουν μία ευρεία ποικιλία σχημάτων καί μεγεθών.Σέ γενικές γραμμές τούς διακρίνουμε σέ ΜΑΚΡΟΚΟΝΔΥΛΟΥΣ καί ΜΙΚΡΟΚΟΝΔΥΛΟΥΣ.Οί μακροκόνδυλοι έχουν διάμετρο γύρω στό 1cm.η καί μεγαλύτερη ενώ οί μικροκόνδυλοι γύρω στά λίγα χιλιοστά.Τό πλέον

ενδιαφέρον σημείο είναι όμως ότι ενώ οί μακροκόνδυλοι μπορούν νά θεωρηθούν σάν ξέχωρα ″ξένα σώματα″ στήν επιφάνεια η εντός τών ιζημάτων,οί μικροκόνδυλοι οι οποίοι βρίσκονται διασκορπισμένοι σ'όλη τήν μάζα τού ιζήματος,μπορούν νά θεωρηθούν ότι περισσότερο συνδέονται μέ τά συστατικά τών ιζημάτων αυτών καθ'εαυτών,είναι δηλα δή ουσιαστικά μέρος αυτών.Επί πλέον συνηθέστατα οι μικροκόνδυλοι δέν έχουν πυρήνα καί αποτελούνται από οξείδια πού κατακάθινται κατ'ευθείαν από τήν στήλη τού νερού η στά πλαίσια διαγεννετι !ών αντιδράσεων στά ″εσωτερικά″ νερά τών πόρων τών ιζημάτων.Μερικοί τυπικοί μακροκόνδυλοι φαίνονται στή ΦΩΤ.Η1 καί παρουσιάζουν διάφορα σχήματα καί μορφές.Οί κυριώτεροι τύποι σέ ότι αφορά τήν μορφολογία τους είναι κάτι μεταξύ δισκοειδούς-ελλειπτικής-σφαιρικής μορφής.'Εχει πιά εξακριβωθεί ότι τό τελικό σχήμα πού παίρνει ένας μακροκόνδυλος έχει σχέση μέ τόν τρόπο ανάπτυξης του καί ιδιαίτερα μέ τό άν τά βασικά του στοιχεία (Fe-Mn) ενσωματώθηκαν(υπό μορφή οξειδίων)σ'αυτόν είτε από τό υπερκείμενο θαλασσινό νερό είτε από τά υποκείμενα ″εσωτερικά″ νερά τών πόρων τών ιζημάτων.Σύμφωνα μέ τόν MANHEIM(1965) οί δύο κύριοι μορφολογικοί τύποι κονδύλων πού δημιουργούνται από τούς διαφορερετικούς μηχανισμούς προσφοράς τών κυρίων στοιχείων τους(Fe-Mn) φαίνονται στίς ΦΩΤ.(Η3).



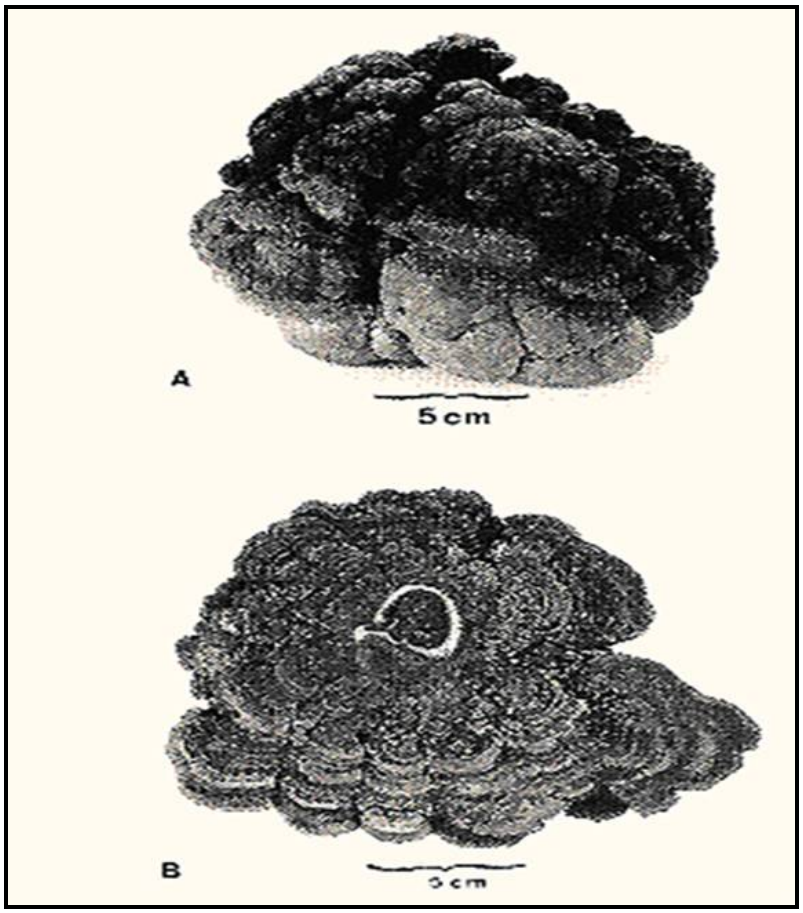
ΦΩΤ. .ΣΧΗΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑΣ&ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΜΕΛΩΝ ΚΟΝΔΥΛΩΝ Fe-Mn.(ΑΠΟ MANHEIM 1965).ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΒΕΛΩΝ ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗΝ ΑΝΑΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΦΟΡΑΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.(α).ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗΝ ΤΥΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΣΕ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ,ΜΕ ΤΟΥΣ ΚΟΝΔΥΛΟΥΣ ΕΥΡΙΣΚΟΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΟΞΕΙΔΩΜΕΝΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ->ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΚΥΡΙΩΣ ΑΠΟ ΤΟ ΥΠΕΡΚΕΙΜΕΝΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ.(β).ΔΕΙΧΝΕΙ ΤΗΝ ΤΥΠΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ ΣΕ ΗΜΙΠΕΛΑΓΙΚΟ(ΠΛΗΣΙΟΝ ΤΩΝ ΑΚΤΩΝ)ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.ΜΕ ΤΟΥΣ ΚΟΝΔΥΛΟΥΣ ΕΥΡΙΣΚΟΜΕΝΟΥΣ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΤΑ ΟΠΟΙΑ ΜΕΡΙΚΩΣ ΕΧΟΥΝ ΑΝΑΓΩΓΙΚΟ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑ(Eh<0).-->ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΠΡΟΕΡΧΟΝΑΙ ΚΥΡΙΩΣ ΑΠΟ ΤΑ "ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΝΕΡΑ" ΤΩΝ ΠΟΡΩΝ ΤΩΝ ΥΠΟΚΕΙΜΕΝΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ.

ΦΩΤ.Η3(α και β) Σχηματική αναπαράσταση μορφολογίας και προέλευσης των ακραίων μελών κονδύλων Fe-Mn (Από Manheim 1985)

Στήν ΦΩΤ.(Η3α)ο κόνδυλος πού σχηματίζεται σ'ένα έντονα οξειδωμένο υπόστρωμα η στήν επιφάνεια τού ιζήματος έχει λάβει τά περισσότερα από τά κύρια χημικά στοιχεία του από τό υπερκείμενο θαλασσινό νερό καί ελάχιστες ποσότητες από τό υποκείμενο διάλυμμα,πού στήν ουσία αποτελείται από τά ″εσωτερικά″ νερά τών πόρων τών ιζημάτων. 'Ετσι ο κόνδυλος αναπτύσσεται αργά,μέ ελάχιστες μετακινήσεις μάλλον ομοιόμορφα, λαμβάνοντας σέ γενικές γραμμές ένα σφαιρικό σχήμα. Ο μορφολογικός τρόπος τής ανάπτυξης αυτής παρατηρείται στίς ανοικτές θάλασσες.

Στήν ΦΩΤ.(Η3β)τά πλείστα τών κυριωτέρων στοιχείων προσφέρονται στόν κόνδυλο από ταά υποκείμενα ″εσωτερικά″νερά τών πόρων τών ιζημάτων στήν διάρκεια τής διαγεννετικής ανακινητοποίησης τών ιόντων Fe^{+2} ,Mn^{+2} μεταξύ αναγωγικής& οξειδωτικής στήλης.Τά οξείδια

Mn-Fe τά οποία κατακάθονται λόγω εντόνου οξειδωτικού περιβάλλοντος στά υψηλότερα σημεία τής στήλης τού ιζήματος μερικώς ″θάβονται″ από τά φιλοξενούντα ιζήματα.Καθώς τό φαινόμενο καθίζησης τών οξειδίων συνεχίζεται,οι πλευρές τού κονδύλου πού βρίσκονται πλησιέστερα στήν πηγή προσφοράς στοιχείων(δηλ.οι κάτω πλευρές) θά έχουν τό παχύτερο στρώμα τών οξειδίων,ενώ οί πάνω πλευρές έχουν μειωμένο πάχος καθώς η προσφορά στοιχείων από τό υπερκείμενο θαλασσινό νερό είναι περιορισμένη.Έτσι οί κόνδυλοι αυτοί παρουσιάζουν μιά πεπλατυσμένη-δισκοειδή μορφή (ΦΩΤ.Η4).



ΦΩΤ. Η4. (Α)Μεγάλου μεγέθους κόνδυλος με ομαλή σχετικά υφή στο κάτω μέρος και τραχεία υφή στην επάνω πλευρά βάρους 25 κιλών σε βάθος 4170μ. Στη φωτ. Β έχουμε εγκάρσια τομή κονδύλου όπου εμφανίζεται ο πυρήνας και οι ασύμετρες ζώνες ανάπτυξης του. Από τον βυθό της λεκάνης του Ειρηνικού ωκεανού κοντά στο Περού (Cronan 2000).

Οί μορφολογικοί αυτοί τύποι καί ο τρόπος ανάπτυξης τους συνδέονται μέ περιβάλλοντα πού βρίσκονται πλησιέστερα στήν ξηρά ,σέ ημιπελαγικές περιοχές,όπου οι συνθήκες μερικές φορές είναι μερικώς αναγωγικές καί τό τάχος ιζηματογέννεσης υψηλότερο σέ σχέση μέ αυτό τών περιοχών ανοικτών πελαγικών περιβαλλόντων.

Φυσικά μεταξύ τών αυτών τών δύο ακραίων περιπτώσεων έχουμε καί ενδιάμεσες περιπτώσεις κονδύλων στούς οποίους η προσφορά στοιχείων είναι καί από τίς δύο κύριες πηγές.Γενικά μπορούμε νά πούμε ότι οι επάνω πλευρές τών κονδύλων λαμβάνουν τήν πλειονότητα τών στοιχείων τους από τό υπερκείμενο θαλασσινό νερό είναι δηλ.υδρογενούς προέλευσης,ενώ οί

κάτω πλευρές λαμβάνουν τήν πλειονότ ητα τών στοιχείων τους από τά εσωτερικά νερά τών υποκειμένων χαλαρών ιζημάτων είναι δηλ.διαγεννετικής προέλευσης.Τό φαινόμενο αυτό οδηγεί σέ μορφολογικές διαφορές μεταξύ άνω καί κάτω πλευρ άς στόν ίδιο κόνδυλο.Έτσι η άνω πλευρά είναι ομαλή, λεία,χαρακτηριστική προέλευσης από τό θαλάσσιο νερό, ενώ η κάτω πλευρά είναι τραχειά,ακανόνιστη,χαρακτηριστική διαγεννετικής προέλευσης. Μέ βάση τά παραπάνω είναι φανερό ότι είναι δυνατόν,στά πλαίσια μιάς πρώτης προσέγγισης,νά καθορίσουμε σέ μιά σειρά σχηματισμού κονδύλων τό περιβάλλον η τίς αλλαγές περιβάλλοντος σχηματισμού των μελετώντας προσεκτικά τό σχήμα τους.Φυσικά ο πλήρης καθορισμός τού περιβάλλοντος καί συνθηκών σχηματισμού τών κονδύλων θά γίνει αφού μελετηθεί η ορυκτολογική-γεωχημική σύσταση τών κονδύλων.

4.Τάχος Ανάπτυξης

Τό τάχος μέ τό οποίο οί κόνδυλοι Fe-Mn,αναπτύσσονται είναι άμεσα εξαρτώμενο μέ τό περιβάλλον εντός τού οποίου σχηματίζονται.Έτσι :

α)τό χαμηλότερο τάχος σχηματισμού καί ανάπτυξης ,τής τάξης τών ολίγων $mm/10^6$ έτη,παρατηρείται στούς κονδύλους πού έχουν υδρογενή προέλευση

β)Ενδιάμεσο τάχος ανάπτυξης,τής τάξης τών ολίγων εκατοντάδων $mm/10^6$ έτη,παρατηρείται στούς κονδύλους διαγεννετικής προέλευσης.

γ)Τό υψηλότερο τάχος ανάπτυξης,τής τάξης τών ολίγων χιλιάδων $mm/10^6$ έτη,παρατηρείται σέ σχηματισμούς οξειδίων Fe-Mn(π.χ επιφλοιώσεις η κόνδυλοι) οί οποίοι έχουν υδροθερμική προέλευση.

Στό σημείο αυτό πρέπει νά τονίσουμε ότι ιδίως γιά τούς κονδύλους υδρογενούς προέλευσης υπάρχουν κάποια ερωτήματα σχετικά μέ τό πόσο γρήγορα αναπτύσσονται στήν πραγματικότητα.Έτσι αν λάβουμε υπ'όψη μας ότι οί υδρογενούς προέλευσης κόνδυλοι σέ καθαρά πελαγικό(ανοικτής θάλασσας)περιβάλλον αναπτύσσονται μέ ένα τάχος τής τάξης τών ολίγων $mm/10^6$ έτη,τάχος σαφώς μικρότερο τού τάχους ιζηματογέννεσης τών πελαγικών ιζημάτων(πού είναι τής τάξης τών ολίγων mm/10^3έτη),τότε προβάλλει τό εξής ερώτημα:Ποιός μηχανισμός εμποδίζει τό θάψιμο τών κονδύλων από τά γρηγορότερα καθιζάνοντα πελαγικά ιζήματα; Διάφοροι ερευνητές πρότειναν διάφορους μηχανισμούς γιά νά εξηγήσουν τό φαινόμενο αυτό όπως π.χ:i)Δραστηριότητα πλαγκτονικών οργανισμών οί οποίοι μετακινούν συνεχώς τούς κονδύλους διά μέσω τών ιζημάτων πρός τά επάνω ii)Ο εκλεκτικός διαχωρισμός ο οποίος συμβαίνει στά επιφανειακά ιζήματα τού πυθμένα μέσω τής δράσης ρευμάτων η καί σπανιώτερα iii)Μέσω τής δράσης σ εισμικής δραστηριότητας.

5. Πηγές τών Χημικών Στοιχείων

Για πολλά χρόνια υπηρχε διαφωνία μεταξύ αυτών που ακολουθούσαν την άποψη του J.Murray (Murray & Renard) οι οποίοι θεωρούσαν ότι τα στοιχεία στους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις προήλθαν κυρίως από προϊόντα υποθαλάσσιας ηφαιστειακότητας, και εκείνων που ακολουθούσαν την θεωρία του A. Renard (Murray & Renard,1891), ο οποίος υποστήριζε ότι προήλθαν κατά μεγάλο μέρος από ηπειρωτική απορροή. Στα 1950 και 1960, όμως, οι απόψεις άρχισαν να στρέφονται προς την ιδέα ότι οι κόνδυλοι θα μπορούσαν να λαμβάνουν μέταλλα τόσο απο ηφαιστειακες όσο και από ηπειρωτικές πηγές (Skornyakoua και άλ. 1962, Arrhenius 1964, Cronan, 1967), κα θώς και πιθανά από κοσμικές πηγές (Petterson, 1959) και από διαγενεντική ανακύκλωση των στοιχείων μέσω της στήλης ιζημάτων (Lynn & Bonatti, 1965).Αυτό οδήγησε τον Cronan (1967) να συμπεράνει ότι στοιχεία από οποιαδ ήποτε πηγή είναι δυνατό να περιέχονται στους κονδύλους μαγγανίου και

γι'αυτό το πρόβλημα δεν είναι να αποδείξουμε μία μόνο πηγή για τα στοιχεία στους κονδύλους, αλλά να κάνουμε τη διαφοροποίηση μεταξύ κονδύλων που περιέχουν στοιχεία από διάφορες πηγές.

Ο Bonatti κ.α (1972) επιχείρησαν μία ποιοτική ταξινόμηση αποθέσεων σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων με βάση διάφορες πιθανές πηγές στοιχείων, που τις διαιρούν σε ΥΔΡΟΓΕΝΕΙΣ, ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΕΣ, ΑΛΜΥΡΟΛΥΤΙΚΕΣ και ΔΙΑΓΕΝΝΕΤΙΚΕΣ ποικιλίες. Οι υδρογενείς αποθέσεις ορίζονται σαν αυτές που τα συστατικά τους προέρχονται από αργό αποχωρισμό των στοιχείων από κοινό θαλάσσιο νερό (ιζηματογενες Fe και Mn) (ΦΩΤ.Η4α).Οι υδροθερμικές αποθέσεις ορίζονται σαν αυτές στις οποίες τα στοιχεία παρέχονται στο θαλάσσιο πυθμένα, από υδροθερμική δράση, σε περιοχές υψηλής θερμικής ροής που συνδέονται με την ηφαιστειότητα, μηχανισμός που προτάθηκε για πρωτη φορά, από τον Gumbel (1878). Οι αλμυρολυτικές αποθέσεις ορίζονται σαν αυτές στις οποίες τα στοιχεία πορέρχονται, τουλάχιστον ″εν μέρει″, από υποθαλάσσια εξαλλοίωση (αλμυρόλυση) βασαλτικού υλικού στο θαλάσσιο δάπεδο(προτιμώμενος μηχανισμός σχηματισμού κονδύλων του Murray). Σαν διαγεννετικές αποθέσεις ορίζονται εκείνες στις οποίες τα στοιχεία παρέχονται ″εν μέρει″ από ανακατανομή μέσα στη στήλη του ιζήματος μετά την απόθεση, μηχανισμός που προτάθηκε για πρώτη φορά απο τους Murray και Jevine (1894).

Η ταξινόμηση του Bonatti κ.α. (1972) ενώ είναι χρήσιμη στον εστιασμό της προσοχής στα ″ακραία μέλη″ των ποικιλιών κονδύλων και αποθέσεων Mn-Fe, δεν θα πρέπει να εφαρμοσθεί πολύ αυστηρά γιατί στις περισσότερες από τις αποθέσεις τα μέταλλά τους προέρχονται από περισσότερες της μίας πιθανές πηγές και αποθέσεις που σχηματίζονται με διάφορους τρόπους, π.χ. οι υδροθερμικές και διαγεννετικές, μπορούν να έχουν όμοιες συνθέσεις, επιπλέον, δεν είναι, σε πολλές περιπτώσεις δυνατό να γίνει διάκριση μεταξύ στοιχείων από που προέρχονται, για παράδειγμα, από αλμυρόλυση ή ηπειρωτική εξαλλοίωση, γιατί στοιχεία από την κάθε μία ανακυκλούνται μέσω κοινού θαλάσσιου νερού. Η σχετική σημασία διαφόρων πηγών στοιχείων σε κονδύλους και επιφλοιώσεις έχει πιθανότητες να ποικίλει ανάλογα με την θέση αυτών των σχηματισμών σε σχέση με τις πηγές αυτές, και έτσι η εξέταση των αποθέσεων σε σχέση με το περιβάλλον του σχηματισμού είναι σημαντική αν πρόκειται να κατανοηθεί η γέννεση τους.Στοιχεία διάσπαρτα σε κοινό θαλάσσιο νερό, τα οποία προήλθαν από τις ηπείρους τόσο σε διάλυση όσο και φάσεις μικροσκοπικών σωματειδίων καθώς επίσης και από τις περισσότερο διαδεδομένες υποθαλάσσιες ηφαιστειακές διαδικασίες όπως η αλμυρόλυση είναι πιθανά οι πιό σημαντικές πηγές στοιχείων για το σχηματισμό κονδύλων μαγγανίου και επιφλοιώσεων. Ο χρόνος παραμονής στο θαλάσσιο νερό των περισσοτέρων από τα σημαντικά στοιχεία στους κονδύλους είναι αρκετά μεγάλος (Goldberg & Arrhenius 1958,Murray & Brewer, 1977) ώστε να αναμειγνύονται καλά στους ωκεανούς εξασφαλίζοντας έτσι τη σχετικά ομοιόμορφη παροχή (που επιτρέπουν οι εξαγωγικοί μηχανισμοί) στο θαλάσσιο πυθμένα μέσω των διαφόρων διαδικασιών που θα παρουσιασθούν πιό κάτω. Μερικά στοιχεία όμως που παρέχονται σε αφθονία από τις ηπείρους και έχουν σχετικά σύντομους χρόνους παραμονής στο θαλάσσιο νερό όπως, για παράδειγμα, ο σίδηρος μπορεί να εμπλουτισθεί σε αποθέσεις που σχηματίζονται κοντά στα περιθώρια των ηπείρων (Mero, 1965, Gronan, 1967) ή σε περιοχές όπου υπάρχει μεγάλη εισροή χερσογενών αλλουβιακών αποθέσεων (Gronan, 1975).Κοσμικές πηγές στοιχείων, ιδιάιτερα νικελίου, αν και γενικά θεωρούνται ασήμαντες (Smales & Wiseman, 1955), παρέχονται σχετικά ομοιόμορφα στους κονδύλους πάνω στο θαλάσσιο πυθμένα λόγω της σταθερής ροής κοσμικού υλικού στους ωκεανούς. Οι διαγεννετικές πηγές μετάλλων, που είναι στην πραγματικότητα μέταλλα που παρέχονται στο θαλάσσιο πυθμένα από διάφορες πηγές και διαγεννετικά ακινητοποιούνται μέσα στη στήλη ιζήματος,έχουν την πιθανότητα να είναι εξαιρετικά σημαντικές όπου υπάρχουν ισχυρές χημικές διαβαθμίσεις και κατάλληλες φυσικοχημικές συνθήκες εντός των ιζημάτων. Ενα από τα καλύτερα παραδείγματα αυτής της διαδικασίας, είναι η διαγεννετική ανακινητοποίηση του μαγγανίου (Lynn & Bonatti, 1965, Li κ.α.1969). Είναι πολύ γνωστό ότι σε περιοχές όπου επικρατούν αναγωγικές συνθήκες κάτω από την διαχωριστική ε πιφάνεια ιζήματος νερού, ιόντα Mn^{+4} στο διοξείδιο μαγγανίου ανάγονται κατά τη διάρκεια κάλυψης των ιζημάτων

σε δισθενές μαγγάνιο(Mn^{+2}) που περνάει σε διάλυση μέσα στα διάμεσα ύδατα των ιζημάτων μετακινείται κατόπιν προς τα επάνω για να επανοξειδωθεί στα ανώτερα ιζήματα όπου επικρατούν οξειδωτικές συνθήκες σαν διοξείδιο μαγγανίου. Αυτή είναι μία κυκλική διαδικασία, που οδηγεί στον συνεχή εμπλουτισμό του μαγγανίου στα ανώτερα μέρη της στήλης ιζήματος, σε πολλές λίμνες και περιοχές ηπειρωτικού περιθωρίου όπου αναγωγικές συνθήκες συναντώνται σε μικρά βάθη. Ο Elderfield (1976) όμως έχει υπολογίσει ότι η διαγεννετική ανακινητοποίηση του μαγγανίου από θαμένα ιζήματα έχει μόνο πιθανότητα να είναι σημαντική παρέχοντας μαγγάνιο στην επιφάνεια αν τα ιζήματα στα οποία επικρατούν αναγωγικές συνθήκες βρίσκονται κάτω από οξειδωμένα ιζήματα που το πάχος τους δεν ξεπερνά τα 20-30 cm. Ο Bender(1971) μελετώντας το σημαντικό πάχος του οξειδωμενου ιζήματος που υπάρχει σε περιοχές βαθειάς θάλασσας - που συμβάλλει σημαντικά στη συσσώρευση του μαγγανίου στην επιφάνεια διαχωρισμού νερού-ιζήματος κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η προς τα επάνω διάχυση του μαγγανίου από βαθειά θαμένα ιζήματα δεν φαίνεται να είναι ένας σημαντικός δρόμος παροχής για το στοιχείο αυτό σε κονδύλους βαθειάς θάλασσας, αλλά υπάρχει πιθανότητα να είναι σημαντικής σημασίας στην παροχή μαγγανίου σε επιφλοιώσεις Mn όπου σχηματίζονται σε ηπειρωτικά περιθώρια,πλησίον της ακτής και σε λιμναίες περιοχές.

Ο ρόλος της ηφαιστειακής δράσης στην παροχή μετάλλων σε κονδύλους και επιφλοιώσεις είναι ακόμα πηγή πολλών αντιφατικών απόψεων. Οπως αναφέρθηκε προηγούμενα δεν υπάρχει μία αλλά τουλάχιστον τρείς πιθανές πηγές γι'αυτό.Πρώτη, υπαρχει άμεση υδροθερμική παροχή στοιχείων στο θαλάσσιο δάπεδο από υποθαλάσσιες θερμές πηγές. Τα στοιχεία είτε προέρχονται από μαγματικές πηγές ή από αλληλεπίδραση υψηλής θερμοκρασίας θαλάσσιου νερου και υπό στερεοποίηση λάβας(Bostrom κ.α. 1969, Corliss, 1971). Δεύτερη, υπάρχει εξαλλοίωση χαμηλής θερμοκρασίας του βασάλτη (αλμυρόλυση), στο θαλάσσιο πυθμένα (Varentsou, 1970).Φυσικά, υπάρχουν όλες οι διαβαθμίσεις ανάμεσα σε αυτές τις δύο διαδικασίες με πιθανές μεταβολές στην αναλογία και τη φύση της παροχής στοιχείων στο θαλάσσιο πυθμένα. Τρίτη, υπάρχ ει εκτίναξη ηφαιστεικών θραυσμάτων κορημάτων από σχηματιζόμενους κονδύλους που επικρατούν σε περιοχές υποθαλάσσιας ηφαιστειοκλαστικής απόθεσης και είναι σημαντική για τον εμπλουτισμό ορισμένων μετάλλων όπως το χρώμιο και το πυρίτιο στις αποθέσεις αυτές (Cronan & Tooms, 1967).Ο καθορισμός αναλογιών των περιεχομένων στις αποθέσεις στοιχείων που συσσωρεύονται από τις διάφορες αυτές η φαιστειακές πηγές είναι πραγματικά πολύ δύσκολος.

Η ποσοτική σημασία της αλμυρόλυσης στην παροχή μετάλλων στους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις δεν μπορεί πλήρως να αξιολογηθεί αν και ο Varentsou (1970) έχει υπολογίσει με βάση πειράματα απόπλυσης ηφαιστειακού υλικού ότι αυτή δεν είναι λιγότερο σημαντική από την ηπειρωτική απορροή.

Ο ρόλος της υποθαλάσσιας υδροθερμικής δράσης στην παροχή στοιχείων για σχηματισμό κονδύλων και επιφλοιώσεων είναι μάλλον λιγότερο δύσκολο να καθορισθεί ποσοτικά. Τα συγκεντρωμένα αποδεικτικά στοιχεία σήμερα δείχνουν ότι ο ρόλος της μπορεί να είναι μάλλον περιορισμένος και κύρια συμβάλλει στην αύξηση τουπεριεχομένου στο θαλάσσιο νερό μαγγάνιο (Lyle, 1976). Τα εξετασθέντα δεδομένα δείχουν ότι σίδηρος και μαγγάνιο υδροθερμικής προέλευσης είναι τα τελικά προϊόντα κατακάθησης σε μία επιλεκτική υδροθερμική διαδικασία κλασμάτωσης στην οποία τα περισσότερα από τα άλλα στοιχεία έχουν ήδη διαχωριστεί.Σε αντίθεση με τους κονδύλους και επιφλοιώσεις Fe-Mn από άλλες περιοχές των ωκεανών οι αντίστοιχοι σχηματισμοί που συνδέονται με υδροθερμική δράση, βρίσκονται κοντά σε ενεργές μεσο-ωκεάνειες ράχεις, και συνήθως είναι διάσπαρτοι, παρουσιάζουν σαφώς μικρότερο εμπλουτισμό σε δευτερεύοντα στοιχεία όπως Ni,Co, Zn, Pb, κλπ.Το γεγονός οφείλεται στο ότι τα στοιχεία αυτά έχουν στο μεγαλύτερο μέρος τους ενσωματωθεί ήδη σε άλλες ορυκτές φάσεις στην διαδικασία του όλου υδροθερμικού φαινομένου.

Ο σχηματισμός κονδύλων Mn εξαρτάται κυρίως από 4 παραγοντες.

ι)Ο πρώτος παράγοντας είναι η παρουσία ενός πυρήνα γύρω από τον οποίο θα αρχίσει η ανάπτυξη του κονδύλου σταδιακά στρώμα προς στρώμα είναι απαραίτητος. Τα σωματίδια που κάνουν χρήση πυρήνα διαφέρουν από μέρος σε μέρος. Συχνότερα είναι αδρομερή τεμάχια

βιογενούς προέλευσης.

ιι)Ένας δεύτερος παράγοντας που απαιτείται για την έναρξη ανάπτυξης κονδύλων καί μάλιστα με δυνατότητα οικονομικής σημασίας, όπως π.χ. αυτοί που αναπτύσσονται στην περιοχή Clarion-Clipperton του Ειρηνικού ωκεανού είναι η υψηλή βιολογική παραγωγικότητα στα επιφανειακά νερά. Αυτό βοηθά τη διαγεννετική ενσωμάτωση μετάλλων στην επιφάνεια των ιζηματογενών σχηματισμών που βρίσκονται σε επαφή με το θαλασσινό νερό.

ιιι) Τρίτος παράγοντας που απαιτείται είναι να έχουμε βάθος της θάλασσας πλησίον ή κάτω από το βάθος αντισταθμίσματος του CaCO3 (CCD).

ιιιι) Τέταρτος παράγοντας (με λίγες εξαιρέσεις) είναι το υψηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής (έντονες οξειδωτικές συνθήκες στα νερά και επιφανειακά ιζήματα) καθώς και το χαμηλό τάχος ιζηματογέννεσης.

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι όπου δεν επικρατούν οι παραπάνω παράγοντες δεν έχουν βρεθεί κοιτάσματα κονδύλων Mn με οικονομικές προοπτικές. Οι παράγοντες αυτοί συνυπάροχυν λίγο ως πολύ στον Κεντρικό Ειρηνικό (περιοχή Clarion Clipperton) καθώς και στην λεκάνη ανοικτά του Περού (Ν.Δ. Ειρηνικός Ωκεανός) και στον Κεντρικό Ινδικό ωκεανό.

Οι συνθήκες που έχουν οδηγήσει στον σχηματισμό κονδύλων με οικονομική προοπτική δεν είναι ομοιόμορφες. Αντιθέτως δυνατόν να διαφέρουν σημαντικά ακόμα και σε μικρή έκταση στην ίδια ωκεάνεια λεκάνη. Οι διαφοροποιήσεις αυτές προκαλούνται μεταξύ των άλλων από μικρής έκτασης τοπικές διαφοροποιήσεις του περιβάλλοντος εναπόθεσης καθώς και από άλλους παράγοντες,κύρια ωκεανογραφικ cς και χημικής φύσης οι οποίοι δυνατόν να μεταβληθούν κατά την περίοδο ανάπτυξης των κονδύλων. Οι διαφοροποιήσεις στο περιβάλλον εναπόθεσης αντανακλώνται στην σύσταση των ιζημάτων που συνδέονται με τους κονδύλους.Είναι αναγκαίο επομένως να μελετηθούν τα ιζήματα αυτά ώστε να είμαστε σε θέση να αναπαραγάγουμε, να μελετήσουμε τη φύση και συνθήκες του παλαιοπεριβαλλοντος το οποί & ευνόησε τις περιόδους ανάπτυξης κονδύλων.

Ενα άλλο πρόβλημα που δεν έχει ακόμη ξεκαθαρισθεί είναι το πώς άρχισε η ανάπτυξη των κονδύλων. Δεν είναι εύκολο άλλωστε να συνθέσουμε τις διάφορες παραλλαγές στις συνθήκες εναπόθεσης των στ οιχείων με τους μηχανισμούς ανάπτυξης των πυρήνων που παρουσιάζουν σημειωτέον επίσης αρκετές παραλλαγές.Η πληρέστερη κατανόηση των παραγόντων που ελέγχουν τις διάφορες παραλλαγές στην ανάπτυξη και εμφάνιση των κονδύλων μπορεί να οδηγήσει σε μοντέλα έρευνας που βασίζονται στους μηχανισμούς και συνθήκες γέννεσης των κονδύλων. Η χρήση τέτοιων μοντέλων μπορεί να οδηγήσει στον επιλεκτικό αποκλεισμό περιοχών που εμφανίζουν περιορισμένο οικονομικό ενδιαφέρον και επομένως στήν εξοικονόμηση χρόνου και χρημάτων. Φυσικά πρέπει να γίνει αντιληπτό ότι η εκμετάλλευση μεγάλης έκτασης περιοχής με τηνδυνατόν καλύτερη χημική σύσταση κονδύλων Mn είναι αδύνατη. Το πιθανότερο είναι ότι θα έχουμε την βέλτιστη ανάμειξη κονδύλων με υψηλότερες και χαμηλότερες χημικές συνθέσεις ώστε να κάνουν ένα αποδεκτό από πλευράς οικονομικότητας μείγμα. Και τούτο γιατί τεχνολογικά είναι αδύνατη η εκλεκτική εξόρυξη των καλύτερων κονδύλων και μάλιστα σε βάθη θάλασσας εκατοντάδων και χιλιάδων μέτρων.

Οι επιφλοιώσεις οξειδίων Fe-Mn είναι ακετά εκτεταμένες στον ωκεάνειο πυθμένα και συχνότερα συναντώνται στις πλαγιές των υποθαλάσσιων ορέων σε ζώνες όπου το βάθος της θάλασσας κυμαίνεται από 200-2000 m. Οι επιφλοιώσεις των οξειδίων δημιουργούνται από καθαρά υδρογενή φαινόμενα καθιζάνοντας από την στήλη του νερού. Είναι φανερό λοιπόν ότι η μελέτη της γεωχημείας του θαλασσινού νερού ε εναι κρίσιμη για να αντιληφθούμε τους μηχανισμούς γέννεσης των επιφλοιώσεων αυτών.Εκείνο δε που είναι ιδιαίτερα απαραίτητο είναι οι μελέτες της χημικής αλληλοεπίδρασης των δημιουργουμένων επιφλοιώσεων με το θαλασσινό νερό. Οι επιφανειακές χημικές αντιδράσεις στις επιφλοιώσεις και κύρια το φαινόμενο της προσρόφησης είναι μεγάλης σημασίας για την τελική διαμόρφωση της χημικής σύνθεσης των επιφλοιώσεων αυτών.

Είναι ακόμη πρόωρο να εκτιμησουμε το οικονομικό δυναμικό των επιφλοιώσεων Mn που είναι πλούσιοι σε Co. Προς το παρόν σχηματισμοί επιφλοιώσεων που περιέχουν Co πάνω από 1%

θεωρούνται ότι έχουν ’ροοπτικά οικονομικό ενδιαφέρον.
Οι επιφλοιώσεις αυτές είναι μάλλον μικρού πάχους 1-2 (m). Το πάχος τους μεταβάλλεται ακόμη και σε μικρή ακτίνα χωρικά και το γεγονός αυτό ειναι φυσικό ότι επηρεά ζει την εκτίμηση της οικονομικής των αξίας. Πάντως σε γενικές γραμμές απαιτείται ακόμη πολύ μελέτη προκειμένου να εκτιμηθεί η δυνατότητα μελλοντικής αξιοποίησης τέτοιων επιφλοιώσεων.

Εχει παρατηρηθεί συχνά ότι οι υποθαλάσσιοι φωσφορίτες συνδέονται με επιφλοιώσεις Fe-Mn σαν αναμείξεις. Η γεννετική και παλαιοωκεανογραφική σημασία αυτής της σύνθεσης μελετάται ήδη συστηματι κά γιατί είναι σημαντική στην κατανόηση της προέλευσης και των δύο σχηματισμών. Από την οικονομική πλευρά πρέπει να αναπτυχθεί μέθοδος (οικονομική) αποχωρισμού του φωσφορίτη από επιφλοιώσεις πλούσεις σε Co δεδομένου ότι ο P και το P_2O_5 θεωρούνται"δηλητήρια". Δημιουργούν προβλήματα στην επεξεργασία τέτοιων επιφλοιώσεων καθώς και στα τελικά προϊόντα.

6. Μηχανισμοί εξαγωγής καί μεταφοράς

Οποιαδήποτε και αν είναι η πηγή των διαφόρων συστατικών των κονδύλων και επιφλοιώσεων, απαιτείται ορισμένος μηχανισμός για να τα μεταφέρει σε θέσεις όπου μπορούν να ενσωματωθούν μέσα στα σχ ηματιζόμενα σιδηρομαγγανιούχα οξείδια.Οσο για τις πηγές των στοιχείων αυτό είναι ένα μέρος του πιό γενικού προβλήματος της παροχής στοιχείων στο θαλάσσιο πυθμένα που έχει, σε γενικές γραμμ bς, ήδη εξετασθεί. Ορισμένοι ειδικοί μηχανισμοί όμως που έχουν προταθεί για τη μεταφορά στοιχείων για σχηματισμό αποθέσεων σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων θα εξετασθούν εδώ.Ο πιό εμφανής μηχανισμός με τον οποίο το μαγγάνιο και τα σχετικά στοιχεία μπορούν να μεταφερθούν στην επιφάνεια διαχωρισμού ιζήματος-νερού είναι, με τις συνήθεις διαδικασίες ωκεάνειας κυκλοφορίας και μείξης.Εχει γίνει φανερό στα τελευταία χρόνια ότι διάφορες μάζες θαλάσσιου νερού έχουν σαφώς διαφορετικές ιδιοτητες. Αυτές μπορούν να επιδρούν στη σύνθεση των κονδύλων και των επιφλοιώσεων που καθιζάνουν από αυτές. Τα οξείδια σιδηρομαγγανίου που σχηματίζονται σε περιοχές που είναι απαλλαγμένες κατά κάποιο τρόπο από ιζήματα βυθού εξ’αιτίας δυνατών ρευμάτων, όπως οι κορυφές ορισμένων θαλάσσιων ορέων για παράδειγμα, είναι μεταξύ των αποθέσεων που έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να πάρουν τα συστατικά τους βασικά από χημική αφαίρεση από το θαλάσσιο νερό.

Σύμφωνα με τους Murray και Brewer (1977), η αφαίρεση σιδήρου και μαγγανίου από θαλάσσιο νερό εξαρτάται από τις μορφές στις οποίες υπάρχουν τα μέταλλα αυτά στους ωκεανούς. Και τα δύο στοιχεία μπορούν ν α εμφανισθούν σαν κολλοειδή ή συνδεόμενα με λεπτόκοκκα αργιλλοπυριτικά ορυκτά ή σαν διάφορα σύμπλοκα ιόντων σε διάλυμμα.Το μικρό μέγεθος των κολλοειδών και των λεπτόκοκκων φάσεων εξασφαλίζει το γεγονός ότι παραμένουν αιωρούμενα για μακρές περιόδους εκτός αν συσσωματωθούν σε μεγαλύτερα μόρια ή πάρουν μέρος σε βιολογικές διαδικασίες όπως ο σχηματισμός περιττωματικών σφαιριδίων μικριτικής μάζας. Προσρόφηση οργανικής ύλης μπορεί να επηρεάσει τη σταθερότητα των κολλοειδών ποικιλιών σιδήρου και Μαγγανίου.Ο σίδηρος σε οξυγονωμένο θαλάσσιο νερό είναι +3 κατάσταση οξείδωσης και είναι πολύ αδιάλυτος. Περισσότερος σίδηρος φαίνεται όμως, να βρίσκεται στους ωκεανούς από ότι θα αναμενόταν με βάση τους παράγοντες διαλυτότητας μόνο,δείχνοντας ότι το μεγαλύτερο μέρος του είναι σε μορφή πολύ λεπτών κόκκων που δεν διακρίνονται από τον διαλυτό σιδηρο με τις συνηθισμένες τεχνικές φίλτρων.

Ο Murray και ο Brewer επίσης παρατηρούν ότι οι θερμοδυναμικές μέλετες οδηγούν στην πρόβλεψη ότι το μαγγάνιο πρέπει να υπάρχει στο θαλάσσιο νερό με σθένος 4+ της κατάστασης οξείδωσης, και έτσι σαν MnO_2, θα ήταν πολύ αδιάλυτο. Αναφέρουν όμως ότι η πειραματική εργασία τείνει να δείξει ότι το μαγγάνιο είναι κυρίως σε Mn^{2+} στο θαλάσσιο νερό το ανωτερο όριο της διαλυτιτότητας τους οποίου μπορεί να ελέγχει με το σχηματισμό του $MnCO_3$.

Η προσρόφηση είναι μηχανισμός που προτείνεται συνήθως για την εξαγωγή ιχνοστοιχείων

από το θαλάσσιο νερό για τον σχηματισμό οξειδίων σιδηρομαγγανίου (Crerar & Barnes, 1974) συχνά με βάση συσχετισμο gς μεταξύ ορισμένων στοιχείων, ή ομάδων στοιχείων είτε με μαγγάνιο είτε με σίδηρο.Ο Goldberg (1954) υποστήριξε ότι τα στοιχεία προσροφήθηκαν σε μοριακές φάσεις σιδήρου ή μαγγανίου, εξαρτώμενες απο τη σχέση μεταξύ της πυκνότητας φόρτωσης της προσροφούσης επιφάνειας και αυτής του προσροφημένου ιόντος.Τα αντίθετα φορτία ως γνωστόν έλκονται έτσι το αρνητικά φορτισμένο MnO_2 θα προσήλκυε θετικά φορτισμένα ιόντα και αντίθετα για θετικά φορτισμένα οξείδια Fe. Οι Murray και Brewer (1977) αναφέρουν πειραματικά δεδομένα, που δείχνουν ότι τα οξείδια μαγγανίου και σιδήρου μπορούν να αφαιρέσου ν σημαντικές ποσότητες δευτερευόντων μετάλλων από το θαλάσσιο νερό, ενώ το MnO_2 θα είναι σχετικά δύο ή τρείς φορές περισσότερο αποτελεσματικό από τα οξείδια του σιδήρου.Οι πρόσφατες εκτιμήσεις όμως για τις φορτίσεις στα οξείδια μαγγανίου και σιδήρου στο θαλάσσιο περιβάλλον από τους Calvert και Price (1977), μεταξύ άλλων, έχουν δείξει ότι οι φορτίσεις ποικίλλουν ανάλογα με τη φύση του περιβάλλοντος απόθεσης και αυτό μπορεί να επηρεάσει αξιοσημείωματα τις ιδιότητες προσρόφησης των οξειδίων.

Αλλος μηχανισμός εξαγωγής μετάλλων από το θαλάσσιο πυθμένα είναι αυτός της βιολογικής αφαίρεσης. Ο Corrys (1971) υποστήριξε ότι το μαγγάνιο θα μπορούσε να εξαχθεί έμμεσα από το θαλάσσιο νερό με τρηματοφόρα, μεταφερόμ τά μέταλλα τά οποία είναι απαραίτητα γιά τόν σχηματισμό επιφλοιώσεων καί κονδύλων Mn-Fe.Τό δίδυμο αυτό είναι υπεύθυνο γιά ολά άλλα μεταλλα επίσης είναι γνωστό ότι είναι εμπλουτισμένα στο πλανγκτόν και έτσι μπορούν να προσφερθούν στο θαλάσσιο πυθμένα όταν οι πλανγκτονικοί οργανισμοί πεθαίνουν. Αυτός ο μηχανισμός φαίνεται να είναι μεγάλης σημασίας σε ότι αφορά τον εμπλουτισμό κονδύλων σε ορισμένα μεταλλα κύρια σε περιοχές υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας και δράσης.

7.Μηχανισμοί Απόθεσης

Μιά λεπτομερής εξέταση των μηχανισμών καθίζησης σε κονδύλους μαγγανίου είναι πέρα από τους σκοπούς του μαθήματος αυτού, καί η συζήτηση, εδώ, θα περιορισθεί στην καταλυτική οξείδωση και των κυρίων στοιχείων, σιδήρου και μαγγανίου, και του πιθανού ρόλους που παιζουν οι οργανισμοί στην ανάπτυξη των κονδύλων. Οι χημικές διεργασίες που συμβαίνουν στην οξείδωση και την καθίζηση του σιδήρου και μαγγανίου σε φυσικά ύδατα έχει περιγραφεί από τους Sturum και Morgan (1970). Η οξείδωση Mn^{2+} σε MnO_2 καταλύεται από αντιδράσεις που συνδέονται με επιφανειακά φαινόμενα. Το MnO_2 αυτό μπορεί τότε να απορροφήσει πρόσθετο Mn^{2+} το οποίο με τη σειρά του οξειδώνεται. Το γεγονός ότι η οξείδωση και η καθίζηση μαγγανίου, για να σχηματίσει οξείδια σιδηρομαγγανίου, απαιτεί επιφάνεια, έχει αναγνωρισθεί από πολλούς ειδικούς. Εχει υποστηριχθεί από τους Goldberg και Arrhenius (1958) ότι το οξείδιο Fe^{+3} θα μπορούσε να δώσει μία τέτοια επιφάνεια πάνω στην οποία το μαγγάνιο θα οξειδωνόταν σύμφωνα με την εξίσωση $2OH^- + Mn^{2+} + 1/2O_2 = MnO_2 + H_2O$ Μελέτες από probe από τους Burus και Brown (1972) συμβάλλουν στην υποστήριξη της άποψης αυτής. Οι ερευνητές αυτοί έχουν βρεί ότι οξείδια σιδήρου έχουν αποτεθεί γύρω από τους πυρήνες κάποιων κονδύλων προ της εναπόθεσης των οξειδίων του μαγγανίου. Οι επιφάνειες αυτών των οξειδίων Fe θα δημιουργήσουν τις συνθήκες κατάλυσης για την οξείδωση και απόθεση οξειδίων Mn. Εχει προταθεί από τους Morgenstein και Felsher (1971) ότι σε κονδύλους με ηφαιστειακού πυρήνες ο σίδηρος, για την αρχική αντίδραση, μπορεί να παρασχεθεί από την αποσύνθεση του ηφαιστειακού υλικού. Η προέλευση του σιδηρου με αυτό τον τρόπο θα μπορούσε να βοηθήσει στην εξήγηση του λόγου για τον οποίο ηφαιστειακά πετρώματα με εκτεταμένη εξαλλοίωση έχουν παχύ στρώμα επιφλοιώσεων μαγγανίου ενώ άλλα που είναι λιγώτερο εξαλλοιωμένα έχουν πιό λεπτη επιφλοίωση.Ο Greenslate (1975) όμως έχει σημειώσει ότι τα οξείδια σιδηρομαγγανίου μπορούν να συσσωρευθούν μέσα και γύρω από τα περιβλήματα των οργανισμών στην περίπτωση που δεν έχουμε καθίζηση οξειδίων

σιδήρου, και οι Glasby και Andreus (1977) έχουν διαπιστώσει την έλλειψη υποστρώματος οξειδίου σιδήρου σε απόθεση σιδηρομαγγανιούχου οξείδιου σε ορισμένους φλοιούς, από το Αρχιπέλαγος της Χαβάης, πράγμα που δείχνει ότι επιφάνειες διάφορες των οξειδίων σιδήρου δεν εμποδίζουν την καθίζηση των σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων. Αφού αρχίσει η συσσώρευση σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων τα συσσωματώματα αυτά μπορεί να συνεχίσουν να αναπτύσσονται εφόσον υπάρχει επαρκής παροχή σιδήρου και μαγγανίου στην επιφάνεια αντίδρασης.Ο Burns (1977) σημειώνει ότι ορισμένα ζεύγη ορυκτών σιδήρου και μαγγανίου είτε έχουν όμοιες κρυσταλλικές δομές ή έχουν στρώματα ατόμων από κοινού σε ορισμένα κρυσταλλογραφικά επίπεδα. Επομένως στους κονδύλους υπάρχει η δυνατότητα για ενδιάμεσες epitaxial αναπτύξεις μίας φάσης πάνω στην άλλη. Για πράδειγμα, κρυσταλλίτες Ραμστελλίτη (MnO_2) έχουν παρατηρηθεί να αναπτύσσονται σε κρυσταλλογραφική συνέχεια με Γκετίτη, δύο από τις κυριώτερες φάσεις στους κονδύλους αποτελούμενοι από μικρούς κρυσταλλίτες σε αταξία, και αυτοί επίσης μπορούν να παρουσιάσουν epitaxial εσωτερική ανάπτυξη, που θα μπορούσε να διατηρήσει την ανάπτυξη των συσσωματωμάτων Mn.Ο ρόλος των οργανικών παραγόντων στην ανάπτυξη σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων ήταν το θέμα πολλών συζητήσεων και υποθεσεων. Το γεγονός ότι οργανισμοί ζούν σε κονδύλους και επιφλοιώσεις έχει σημειωθεί από πολλούς συγγραφείς (Murray και Renard, 1981 : Graham και Cooper, 1959 : Greenslate, 1975 : και άλλους) αλλά ο ρόλος τους στη συμβολή τους στην ανάπτυξη των κονδύλων δεν είναι σαφής. Σύμφωνα με τον Greenslate (1974) και άλλους, η αφθονία βιολογικών δομών μέσα και επάνω στους κονδύλους υποδηλώνει έντονα ότι η ανάπτυξη τους βοηθήθηκε από μικροοργανισμούς με την έννοια ότι οι τελευταίοι παρέχουν μία υποοδομή πάνω στην οποία τα οξείδια μπορούν να αναπτυχθούν και την οποία κατόπιν μπορούν να αντικαταστήσουν. Υπάρχει όμως μικρή απόδειξη ότι οι ίδιοι οι οργανισμοί εκκρύνουν σίδηρο και μαγγάνιο σαν μέρος της ζωϊκής τους διαδικασίας εξέλιξης. Οπως περιγράφηκε, πολλά από τα είδη των οργανισμών που βρέθηκαν σε κονδύλους μαγγανίου κατασκευάζουν τα περιβλήματά τους από βιογενή και άλλα κορήματα που ήταν ήδη παρόντα στα ιζήματα. Με την έννοια αυτή ενσωματώνουν μάλλον απλώς υπάρχον ιζηματογενές υλικό μέσα σε κονδύλους , παρά δημιουργούν νέες φάσεις.Ο Dugolinsky όμως (1976) έχει δείξει ότι ορισμένα είδη παρέχουν απόδειξη καθίζησης ιχνοστοιχείων μέσω οργανικών αντιδράσεων αλλά η σημασία τους είναι μάλλοά μικρή, σε σχέση με τη φυσική ενσωμάτωση υλικού από οργανισμούς μέσα στους αναπτυσσόμενους κονδύλους.Σύμφωνα με τους Calvert και Price (1977β), πειραματική εργασία από τον Ehrlich (1963, 1968) οδήγησε στην διαπίστωση ότι το βακτήριο με το όνομα Arthobacter αύξησε την προσρόφηση Mn^{2+} από καλλιέργειες και βοήθησε την οξείδωση του σε $Mn^{4+.}$ Τα πειράματα όμως, δεν διεξήχθησαν κάτω από φυσικές συνθήκες, και η εφαρμογή τους, σε φυσικά περιβάλλοντα, δεν είναι, γι'αυτό,σαφής. Ο Kranskopf (1967) έχει τονίσει ότι τα βακτηρίδια βοηθούν στην επιτάχυνση των αντιδράσεων που είναι θερμοδυναμικά πραγματοποιήσιμες και οι οποίες θα μπορούσαν να συμβούν οπουδήποτε αν δοθεί επαρκής χρόνος. Ο ρόλος τους, με άλλα λόγια δυνατόν να είναι ουσιαστικά καταλυτικός. Ο ίδιος ερευνητής πρότεινε ότι η γρήγορη καθίζηση των οξειδίων του μαγγανίου σε βάλτους και λίμνες σε σχέση με βαθειές θάλασσας μπορεί να επηρεασθεί από βακτηρίδια.

8. Ορυκτολογία Κονδύλων Mn-Fe καί Επιφλοιώσεων

Οι πρώτοι προσδιορισμοί των ορυκτών μαγγανίου σε κονδύλους έγινε από τους Buser και Gruitter (1956) οι οποίοι ανέφεραν τρείς φάσεις που ονόμασαν 7 A μαγγανίτη, 10 A μαγγανίτη και δ-MnO_2 στη βάση σύγκρισης με συνθετικά οξείδια τουμαγγανίου.Αλλοι ερευνητές υιοθέτησαν διαφορετική προσέγγιση και σύγκριναν τα σχεδιαγράμματα των ακτίνων Χ-των κονδύλων του μαγγανίου με αυτή των γνωστών ορυκτών μαγγανίου (e.g.Meinheim, 1965, Gronan & Tooms, 1969) και συμπέραναν ότι οι περισσότερο κοινές εμφανιζόμενες ανακλάσεις αποδίδονται στον todorokite (Yoshimura, 1934), birnessite (Jones & MIlne, 1956) και δ-MnO_2 και ότι αυτά είναι τα αντίστοιχα των ορυκτών του Buser και Guitter (1956). Σε μια πράγματι εμπεριστατωμένη εξέταση

της ορυκτολογίας των κονδύλων του μαγγανίου οι Burns και Burns (1977) συμπέραναν ότι η ορολογία todorokite, birnessite και δ-MnO_2 πρέπει να χρησιμοποιείται για τα τρία ορυκτά του μαγγανίου που εμφανίζονται συνήθως στους κονδύλους.Ορυκτά που βρίσκονται όχι πολύ συχνά στους κονδύλους περιλαμβάνουν pyrolusite, zamsdellilte, nsutite, cryptomelane και psilomelane C (Burns 1977).Πάντως δεν υπάρχουν πλήρεις πληροφορίες για τις κρυσταλλικές δομές των ορυκτών του μαγγανίου σε κονδύλους ή επιφλοιώσεις οξειδίων του σιδηρομαγγανίου. Η δομή του todorokite δεν προσδιορίστηκε πλήρως, αλλά οι Burns και Burns (1977, 1979), εξέτασαν ενδείξεις που υποδηλούν ότι μπορεί να συνδέεται με την δομή του psilomelane (Wadsley, 1953). Και τα δύο ορυκτά έχουν δομικές θέσεις όπου ειδικά φιλοξενούν το Mn^{2+} σε οχταεδρικό συντονισμό με οξυγόνο, και τα δισθενή κατιόντα είναι απαραίτητα για να σταθεροποιούν την δομή του ορυκτού. Ο Giovanoli et al πιστεύουν ότι η δομή του birnessite είναι παρόμοια με αυτή του chalcophamite, ο οποίος έχει μία στρωματώδη δομή αποτελούμενη από ένα Mn^{4+} -Ο οχταεδρικό φύλλο σε εναλλαγή με ένα φύλλο ιόντων Zn συντονισμένων με οξυγόνο και νερό. (Glover, 1977). Μερικά ιόντα Mn μπορεί να υπάρχουν σαν Mn^{2+} . Το δ-MnO_2 είναι μία ασθενής κρυσταλλική φάση, η οποία παρέχει μόνο μερικές ασθενείς διάχυτες ανακλάσεις ακτίνων Χ. Γενικά, ο βαθμός κρυσταλλικότητας αυτών των τριών ορυκτών σε κονδύλους μειώνεται από todorokite μέσω birnessite μέχρι του
δ-MnO_2 (Glover, 1977). Η ορυκτολογία των φάσεων σιδήρου σε κονδύλους δεν έχει μελετηθεί από τόσο κοντα όσο των φάσεων μαγγανίου. Οι Buser (1959), Arrhenius (1967), Andrushchnko και Skornyakova (1969),Glasby (1972) και Gronan και Moorby μεταξύ άλλων ανάφεραν τον goethite σαν σημαντική φάση σιδήρου στους κονδύλους.Επιπρόσθετα, οι Burns και Burns (1977) σημείωσαν εμφανίσεις lepidocrocite, magnemite, hematite και akaganeite σε μερικά δειγματα κονδύλων. Σπεκτροσκοπικές μέθοδοι έδειξαν ότι ο σίδηρος στους κονδύλους είναι κύρια παρών στη μορφή συμπλοκών Fe^{+3} και πιθανότατα έχουμε τις φάσεις σιδηρου από μορφή ″μίγματος″ γκετίτη και λεπιδοκροκίτη. Είναι γεγονός πάντως ότι το μεγαλύτερο ποσοστό οξειδίων Fe στους κονδύλους εμφανίζεται άμορφο πράγμα που σημαίνει κατά τους παραπάνω ερευνητές ότι η κυρίαρχη σιδηρούχος φάση σε πολλούς κονδύλους είναι ένα ένυδρο πολυμερές οξειυδροοξείδιο τρισθενούς σιδήρου.

9. ΑΛΛΗΛΟΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΙ ΟΡΥΚΤΩΝ ΜΑΓΓΑΝΙΟΥ

Ο Buser και ο Gruitter (1956) ήταν οι πρώτοι που εξήγησαν ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των ορυκτών του μαγγανίου σε κονδύλους βάσει της οποίας ο βαθμός αταξίας και οξείδωσης αυξάνει από τον 10 Α μαγγανίτη στον 7 Α μαγγανίτη και τελικά στο δ-MnO_2 .Αντίστοιχα υπάρχουν αρκετά στοιχεία για τις διαφορές οξείδωσης μεταξύ των φυσικώς εμφανιζόμενων todorokite και του δ-MnO_2 . Οι αναλογίες Ο:Mn του χερσαίας προέλευσης Τοντοροκίτη, ποικίλουν από 1.74 μέχρι 1.87 (Straczak και άλλοι 1960, Frondel) και άλλοι 1960) σε αντίθεση με την μέχρι 1.99 αναλογία για το δ-MnO_2 (Bricker, 1965). Ετσι ανεξάρτητα από το αν τα οξείδια του μαγγανίου έχουν συνθετική ή φυσική προέλευη, γεγονός είναι ότι υπάρχει μια σημαντική διαφορά οξείδωσης μεταξύ των δύο σημαντικώτερων ορυκτών του μαγγανίου στους κόνδυλους καί τίς επιφλοιώσεις. Λαμβάνοντας υπόψη την διαφορά οξείδωσης μεταξύ του Τοντοροκίτη και του δ-MnO_2, είναι πιθανόν η εμφάνισή τους σε κόνδυλους να καθορίζεται μερικως τουλάχιστον από τον βαθμό οξείδωσης (ενδεχόμενο Eh του περιβάλλοντος της απόθεσης (Cronan, 1967,Cronan και Tooms, Glasby, 1972, Calvert, 1978 και άλλοι). Κόνδυλοι ή επιφλοιώσεις προεχρόμενοι από ανοιχτά ωκεάνια περιβάλλοντα με έντονες οξειδωτικές συνθήκες απαλλαγμένα εντελώς από ιζήματα χάρη στα ρεύματα του βυθού, όπως οι κορυφές των κωνικών ορέων και των μεσο-ωκεάνειων ραχέων,συνήθως περιέχουν το πιό οξειδωμένο ορυκτό δ-MnO_2 , σαν την κύρια μαγγανιούχο φάση. Αντιθέτως, οι κόνδυλοι από περιοχές που συγκεντρώνονται ιζήματα περιέχοντα οργανικά υπολείμματα με σχετικά υψηλό

τάχος συσσώρευσης ιζημάτων και κατά συνέπεια με χαμηλότερες οξειδωτικές συνθήκες (π.χ. ηπειρωτικά περιθώρια) είναι περισσότερο πλούσιοι σε Τοντοροκίτη. Ο Μπιρνεσσίτης φαίνεται να καταλαμβάνει μία ενδιάμεση θέση μεταξύ των άλλων δύο ορυκτών. Συγκεκριμένα εμφανίζεται σε χαμηλές περιεκτικότητες σε κονδύλους που προέρχονται από περιβάλλοντα είτε με υψηλό ή με χαμηλό δυναμικό οξειδοαναγωγής.

Πάντως τα όρια των συνθηκών μετάβασης από τη μία ορυκτή φάση στην άλλη στους κονδύλους δεν είναι ξεκάθαρα, π.χ. κόνδυλοι από το blake Plateun συχνά περιέχουν Τοντοροκίτη αν και το περιβάλλον εναπόθεσής τους, πρέπει να είναι μάλλον παρόμοιο με αυτό των ωκεάνειων πλατώ όπου συνήθως υπάρχουν κόνδυλοι πλούσιοι σε δ-MnO_2.Αυτό δείχνει ότι απλώς και μόνο μία διαφοροποίηση όσον αφορά το δυναμικό οξειδοαναγωγής δεν είναι δυνατόν να αποτελεί τον μοναδικό παράγοντα που καθορίζει τις ορυκτολογικές διαφορές μεταξύ των κονδύλων. Αλλοι παράγοντες που δυνατόν να επηρεάζουν την ορυκτολογία των κονδύλων είναι τα χαρακτηριστικά των νερών κοντά στο βυθό όπου σχηματίζονται. Ο Addy (1978) αναφέρει ότι κόνδυλοι σε μία μικρή περιοχή του Β. Ατλαντικού περιέχουν Τοντοροκίτη στις περιοχές όπου ο βυθός υπόκειται των βαθέων νερών του Ανταρκτικού, ενώ περιέχει το δ-MnO_2 σε μικρότερα βάθη όπου ο βυθός καλύπτεται από τα βαθειά νερά του Βόρειου Ατλαντικού.Οι διαφορές που έχουν αναφερθεί στο Eh μεταξύ των υδάτινων μαζών μπορεί να προκαλούν τις ορυκτολογικές διαφορές μεταξύ των κονδύλων, αλλά και άλλα χαρακτηριστικά του νερού του βυθού μπορεί επίσης να παίζουν ρόλο στη διαμόρφωση της τελικής ορυκτολογικής σύστασης. Ο Lyle και άλλοι (1977) έστρεψαν την προσοχή τους στις χημικές διαδικασίες του σχηματισμού των οξειδίων του σιδηρομαγγανίου,για τον καθορισμό της ορυκτολογίας των συστατικών που βρέθηκαν στουςκονδύλουςκαι στις επιφλοιώσεις. Αναφέρουν π.χ. ότι ο σχηματισμός οξειδίων σιδηρομαγγανίου όταν υπάρχει ενεργό διοξειδιο του πυριτίου, όπως π.χ. σε μία περιοχή απόθεσης πυριτικού οργανικού ιζήματος μπορεί να οδηγήσει σε αντιδράσεις μεταξύ του σιδήρου και του διοξειδίου του πυριτίου και να δώσει πλούσιους σιδηρούχους σμηκτίτες αφήνοντας το υπόλοιπο μαγγανιο να κρυσταλλωθεί σε Τοντοροκίτη.Η διαδικασία αυτή θεωρήθηκε ανάλογη με την διαδικασία που λαμβάνει χώρα μεταξύ της υδροθερμικής φύσης φάσεων Fe/Mn οξει-υδροξειδίων και του βιογενούς SiO_2 που σχηματίζονται στη ράχη του Ανατολικού υψώματος (υβώματος) του Ειρηνικού (Heath και Dymond, 1977).Είναι δύσκολο πάντως να εκτιμηθεί η προτεινόμενη αντίδραση όταν δεν υπάρχουν πειραματικά στοιχεία. Ωπωσδήποτε ο μηχανισμός αυτός δεν μπορεί να εξηγήσει όλες τις εμφανίσεις του todorokite όπως π.χ. αποδεικνύεται από την ευρεία εμφάνιση του ορυκτού σε περιοχές όπου το βιογενούς προέλευσης διοξείδιο του πυριτίου είναι ανύπαρκτο ή σε χαμηλό βαθμό. Ωστόσο ο μηχανισμός αυτός θα μπορούσε να ισχύει για περιοχές που υπάρχει διοξείδιο του πυριτίου ή εκεί όπου μερικά άλλα ιόντα αντιδρούν με τον σίδηρο. Ο Burns και ο Burns (1977) ανέφεραν ότι όπου υπάρχουν διαθέσιμα σίδηρος και μαγγάνιο για να ενωθούν προς σχηματισμό οξειδίων του σιδηρομαγγανίου, μπορεί να έχουμε epitaxial ενδοανάπτυξη του δ-MnO_2 με $FeOOHH_2$ το οποίο εμποδίζει τον σχηματισμό άλλων ορυκτών του μαγγγανίου.Αντιθέτως όπου ο σίδηρος αφαιρείται από το διάλυμμα μέσω της αντίδρασης με κάποιο άλλο συστατικό, το διοξείδιο του πυριτίου επί παραδείγματι, δεν συμβαίνει epitaxial ενδοανάπτυξης και είναι δυνατόν να σχηματισθούν άλλα μαγγανιούχα ορυκτά όπως todorokite και ο μπιρνεσσίτης (birnessite).

10. Γεωχημεία

Η σύνθεση κοιτασμάτων οξειδίων σιδηρομαγγανίου είναι δυνατόν να αποδοθεί σε ένα συνδυασμό παραγόντων, όπως η παρουσία και η χημική συμπεριφορά των στοιχείων σε περιβάλλοντα θαλάσσιου και γλυκού νερού, οι προσροφητικές και κρυσταλλοχημικές ιδιότητες των αυτογενών φάσεων των οξειδίων, ο ρυθμός της συγκέντρωσης των και κατά συνέπεια ο χρόνος που είναι διαθέσιμος για την ενσωματωση των στοιχείων στις φάσεις αυτές καθώς επίσης η φυσικοχημική φύση του περιβάλλοντος της απόθεσης. Τα κοιτάσματα είναι συνήθως, χημικά

ετερογενή, τόσο μέσα σε μεμονωνμένους κονδύλους και σε μερικές αποστάσεις πάνω από το θαλάσσιο βυθό, όσο και σε παγκόσμια κλίμακα. Η μελέτη της χημεία τους έχει μεγάλη σημασία όχι μόνο από επιστημονικής πλευράς αλλά και γιατί μέταλλα σαν αυτά του Ni, Cu και Co μπορεί να εμπλουτισθούν, σε μερικά κοιτάσματα, σε βαθμό μεταλλεύματος. Η γνώση των μηχανισμών μέσα από τους οποίους πραγματοποιούνται οι εμπλουτισμοί αυτοί θα απλοποιήσει την διαδικασία του εντοπισμού αυτών των κοιτασμάτων σε άλλα σημεία του θαλάσσιου βυθού.

Περιεκτικότητα στοιχείων

Τα στοιχεία που αφορούν την σύνθεση των κονδύλων μαγγανίου και των επιφλοιώσεων, συνοψίζονται στον **Π**ίνακα **Η1**. όπου φαίνεται η κατά μέσον όρο σύνθεση των κοιτασμάτων από τους τρείς μεγαλύτερους ωκεανούς και από επιλεγμένα αβαθή θαλάσσια και λιμναία περιβάλλοντα.

ΠΙΝΑΚΑΣ . Η1. Συγκεντρώσεις των κυριωτέρων χημικών στοιχείων (μετάλλων) στους κονδύλους και επιφλοιώσεις οξειδίων Mn-Fe από διάφορες περιοχές των ωκεανών και σε διάφορα βάθη.(Περιεκτικότητες % επι ξηρού). (Από EARNEY 1990).

	Κόνδυλοι		Επιφλοιώσεις			
Metal	*World Oceans*[b] *(Mean)*[d]	*Clarion-Clipperton Zone*[c] *(Mean)*[e]	*World Oceans (Mean)*[f]	*Pacific Ocean (Mean)*[g]	*Atlantic Ocean (Mean)*[h]	*Indian Ocean (Mean)*[i]
Al	2.7	2.9	1.19	1.06	1.27	1.31
Fe	13.6	6.9	16.48	16.09	18.56	16.46
Mn	17.4	25.4	21.62	23.06	20.07	18.04
Co	0.27	0.24	0.63	0.73	0.53	0.38
Ni	0.55	1.28	0.45	0.47	0.40	0.39
Cu	0.34	1.02	0.14	0.16	0.11	0.13
Pb	0.093	0.040	0.158	0.163	0.163	0.150
Zn	0.120	0.140	0.068	0.073	0.080	0.056

Πηγές a. After F. T. Manheim 'Marine cobalt resources', *Science*, vol. 232, no. 4750 (1986), p. 603 With permission. Copyright 1986 by the AAAS; b. V. E. McKelvey, N. A. Wright, and R. W. Bowen, *Analysis of the World Distribution of Metal-Rich Subsea Manganese Nodules*, USGS Circular 886 (USGS, Arlington, VA, 1983), various pages; c. M. R. Scott *et al.*, 'Rapidly accumulating manganese deposits from the Median Valley of the Mid-Atlantic Ridge', *Geophysical Research Letters*, vol. 1, no. 8 (1974), p. 355.
Notes:d. N=1979(Mg and Fe); e. N=234(Al) and 2237 (Ni); f. N=1005 (Mn); g. N=803(Mn); h. N=75(Mn, Fe, Co, Ni, and Cu); i. N=127(Mn, Co, and Cu).

Ωστόσο, η περιεκτικότητα των στοιχείων επισκιάζει τις μεγάλες συνθετικές ποικιλίες που απαντώνται στα κοιτάσματα διοξειδίου του σιδηρομαγγανίου. Π.χ. οι μεγαλύτερες και οι μικρότερες συγκεντρώσεις, μεταξύ άλλων όπως Mn, Fe, Ni, Co και Cu, στους κονδύλους βαθέων θαλασσίων, πέντε από τα οικονομικά πιό σημαντικα στοιχεία, διαφέρουν πολύ σε παγκόσμια κλίμακα και διαφέρουν ακόμη περισσότερο αν στις συγκρίσεις περιλαμβάνονται επιφλοιώσεις

οξειδίων Fe-Mn από λιμναία και αβαθή θαλάσσια περιβάλλοντα. Θα πρέπει, όμως, να τονισθεί ότι οι κατά μέσο όρο εκτιμήσεις που αφορούν συσσωματώματα οξειδίων Fe-Mn από αβαθή και λιμναία περιβάλλοντα βασίζονται σε αναλύσεις, σχετικά, λίγων ομάδων (Calvert & Price, 1976) και μπορεί να μην αντιπροσωπεύουν τα κοιτάσματα αυτά σαν σύνολο. Χρησιμεύουν μόνον για να τονίζουν τις γενικές διαφορές μεταξύ των κοιτασμάτων και των συσσωματωμάτων από βαθειά νερά. Αλλα στοιχεία τα οποία διαφέρουν σημαντικα στους κονδύλους από βαθειά νερά συμπεριλαμβάνουν K, Si, Ti, Ga, Zr, Mo και Pd (Mero, 1965),Zn (Gronan) 1965c), V (Gronan & Tooms, 1969). Ενα από τα πιό εντυπωσιακά χαρακτηριστικά που εμφανίζουν τα χημικά στοιχεία που αφορούν τους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις είναι ο εμπλουτισμός πολλών στοιχείων στα οξείδια σιδηρομαγγανίου πέρα και πάνω από τις συγκεντρώσεις τους σε άλλα συσσωματωματα και σε σχέση με τις μέσες περιεκτικότητές τους στο γήινο φύλλο. Συγκρίνοντας τήν γεωχημική σύσταση τών κονδύλων μέ τήν μέση σύσταση τού φλοιού διακρίνουμε σύμφωνα μέ τόν CRONAN(1976) τρείς ομάδες στοιχείων: α)Τά στοιχεία τά οποία είναι εμπλουτισμένα στούς κονδύλους. Αυτά διαιρούνται σέ 4 υπό-ομάδες μέ βάση τόν βαθμό εμπλουτισμού.Συγκεκριμένα(i)Mn,Co,Mo,Th πού είναι εμπλουτισμένα σέ μιά τάξη μεγέθους 100 η περισσότερο (ii)Ni,Ag,Ir,Pb πού είναι εμπλουτισμένα σέ μιά τάξη μεγέθους 50-100,(iii)B,Cu,Zn,Cd,Yb,W,Bi πού είναι εμπλουτισμένα σέ μιά τάξη μεγέθους 10-50,(iv)P,V,Fe,Sr,Y,Zr,Ba,La,Hg πού είναι εμπλουτισμένα σέ μιά τάξη μεγέθους λιγότερο τού 10(Πάντα σέ σχέση μέ τίς μέσες αντίστοιχες περιεκτικότητες τών στοιχείων στόν γήινο φλοιό) β)Τά στοιχεία τά οποία δέν εμφανίζουν ούτε εμπλουτισμό,ούτε υστέρηση σέ σχέση μέ τίς αντίστοιχες περιεκτικότητες στόν γήινο φλοιό όπως:Na,Mg,Ca,Sn,Ti,Ga,Au,Pd. γ)Τά στοιχεία τά οποία εμφανίζουν ελαφρά μόνο υστέρηση σέ σχέση μέ τίς μέσες περιεκτικότητες στόν γήινο φλοιό όπως:Al,Si,K,Sc,Cr. Ο **Π**ίνακας Η**1** δείχνει τό ευρύ φάσμα τής χημικής σύστασης τών κονδύλων από ωκεανό σέ ωκεανό αλλά ακόμη καί μέσα στόν ίδιο ωκεανό σέ διαφορετικές περιοχέςΠ.χ στόν Ειρηνικό σύμφωνα μέ τόν MERO(1962) ταξινομούνται περιοχές έχοντας κονδύλους ιδιαίτερα πλουσίους σέ Mn,Cu,Ni,Fe&Co.Σέ σημαντικό βαθμό τό ευρύ αυτό φάσμα τών περιεκτικοτήτων συνδέεται μέ τήν ορυκτολογική τους σύσταση η οποία μέ τήν σειρά της συνδέεται μέ τό περιβάλλον καί τίς φυσικοχημικές συνθήκες σχηματισμού.

Συμπεριφορά κυρίων στοιχείων Το μαγγάνιο είναι το κυριώτερο συστατικό των κονδύλων και επιφλοιώσεων. Η μεγάλη του συγκέντρωση οφείλεται στην κλασμάτωση και τον διαχωρισμό του, από τα κύρια στοιχεία που περιέχονται στα πετρώματα στο φυσικό περιβάλλον κατά την αποσάθρωση (εξαλλοίωση), μεταφορά, απόθεση, διαγέννεση και καταβύθιση. Ενα από τα πιό σημαντικά χημικά χαρακτηριστικά των κονδύλων είναι ο μεγαλύτερος εμπλουτισμός τους σε μαγγάνιο παρά σε σίδηρο, σε σχέση μετις μέσες περιεκτικότητες των δύο αυτών στοιχείων στο φλοιό. Ο διαχωρισμός των στοιχείων αυτών σε υδάτινα περιβάλλοντα είναι κύρια συνάρτηση του Ph και του Eh. Η αύξηση μιάς των δύο αυτών παραμέτρων οδηγεί στην καθίζηση του σιδήρου, από διάλυμα, πριν απότο μαγγάνιο. Αλλα ιόντα στο διάλυμμα, όπως τα φωσφορικά, π.χ., ή οργανικά συμπλέγματα μπορούν να μεταβάλλουν τα πεδία σταθερότητας του σιδήρου και μαγγανίου που εξαρτώνται μόνο από το Ph και Eh (Stumm & Morgan, 1970). Παρά την επίδραση των οργανικών συμπλεγμάτων και των διαλυμένων ειδών από ιόντα στα πεδία σταθερότητας του σιδήρου και μαγγανίου σε διάλυμμα, το δυναμικό οξειδοαναγωγής και το pH φαίνεται ότι ασκούν την μεγαλύτερη επίδραση στην εκλεκτική καθίζηση των οξειδίων σιδήρου και μαγγανίου, σε φυσικά περιβάλλοντα. Τα δυναμικά οξειδοαναγωγής και τι pH γενικά αυξάνουν καθώς πηγαίνουμε από περιβάλλοντα λιμναία σε παράκτια και κατόπιν μέχρι βαθέων θαλασσών.Ο σίδηρος έτσι απομακρύνεται εκλεκτικά από το διάλυμμα στο πρώτο περιβάλλον αφήνοντας το μαγγάνιο να εμπλουτισθεί στο δεύτερο. Η διαδικασία αυτή φαίνεται καλά από την πλούσια σε σίδηρο φύση και το υψηλό ποσοστό Fe/Mn πολλών Κονδύλων και επιφλοιώσεων,σε μικρές λίμνες οι οποίες δέχονται την εισροή τους σε μέταλλα από την άμεσα γειτονική περιοχή (Deau και Gliosh, 1980), το ενδιάμεσο και μάλλον μεταβλητό Fe/Mn συσσωματωμάτων σε μεγάλες λίμνες και σε παραθαλάσσια περιβάλλοντα (Mauheim, 1965, Gronan και Thomas, 1970, Calvert και Price, 1977β), και η γενικά χαμηλή σχέση Fe/Mn σε κονδύλους βαθειάς θάλασσας. Το μαγγάνιο όμως δεν είναι

πάντοτε εμπλουτισμένο σε σχέση με τον σίδηρο σε κονδύλους βαθειάς θάλασσας. Κόνδυλοι που σχηματίζονται σε περιοχές που δέχονται μεγάλη προσφορά χερσογεννών υλικών πλουσίων σε Fe ή σχηματίζονται κοντά σε υποθαλάσσιες ηφαιστειακές πηγές έχουν συχνά σχέση Fe/Mn μεγαλύτερη της μονάδος. Τα υπάρχοντα δεδομένα δείχνουν μία κλασμάτωση μαγγανίου και σιδήρου μεταξύ των δύο μεγάλων ορυκτολογικών τύπων των κονδύλων. Ετσι το μαγγάνιο είναι εμπλουτισμένο σε κονδύλους που είναι πλούσιοι σε Todorokite ενώ ο σίδηρος σε κονδύλους και επιφλοιώσεις που είναι πλούσιοι σε δ-MnO_2 (Πίνακας Η2).

Οι αιτίες της διαφοροποίησης αυτής δεν είναι απόλυτα αντιληπτές. Ο εμπλουτισμός μαγγανίου σε κονδύλους με άφθονο todorokite μπορεί να οφείλεται σε διαδιδασίες χημικού διαχωρισμού σαν αυτές που προτείνονται από τον Lyle και αναφέρθηκαν παραπάνω(διαγενετική ανακινητοποίηση Mn στη στήλη του ιζήματος).Η μεγαλύτερη διαγεννετικη κινητικότητα του μαγγανίου σε σχέση με τον σίδηρο κάτω από ελαφρά οξειδωτικές συνθήκες θα μπορούσε εναλλακτικά να οδηγήσει στον εμπλουτισμό του Mn στον todorokite ο σχηματισμός του οποίου οπως προαναφέρθηκε,εμφανίζεται να ευνοείται από λιγότερο οξειδωτικές συνθήκες από αυτές που απαιτούνται για τον σχηματισμό δ-MnO_2. Ο εμπλουτισμός του σιδήρου σε κονδύλους πλούσιου σε δ-MnO2 είναι δύσκολο να εξηγηθεί δεδομένου ότι ο σίδηρος δεν είναι συστατικό αυτής της φάσης. Μπορεί να συσχετισθεί λόγω πιθανής ανάγκης για ενδιάμεση ανάπτυξη μεταξύ δ-MnO_2 και FeOOH H_20 για να σταθεροποιηθεί το δ-MnO_2. Το δ-MnO_2 φθάνει τη μεγαλύτερη αφθονία του σε κονδύλους και επιφλοιώσεις, πού συνδέονται μέ εμφανισεις πετρωμάτων σε περιοχές θαλάσσιων ορέων και μεσοωκεάνειων ράχεων οι οποίες μπορεί να δεχθούν σίδηρο τόσο από ηφαιστειακές πηγές όσο και από θαλάσσιο νερό ενώ αντίστοιχα δεν λαμβάνουν Mn από τα εσωτερικά νερά των πόρων ιζημάτων,όπως συμβαίνει με τους κονδύλους και επιφλοιώσεις που αναπτύσσονται περισσότερο διαγεννετικά.

Συμπεριφορά Δευτερευόντων Στοιχείων

Σημαντικής σημασίας για τη συμπεριφορά των δευτερευόντων στοιχείων στους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις είναι η φύση των κύριων στοιχείων με την οποία συνδεονται τα μικροστοιχεία και η χημική συμπεριφορά των ίδιων των μικροστοιχείων σε θαλάσσια και λιμναία περιβάλλοντα.Η ορυκτολογική φύση των φάσεων κύριων στοιχείων σε κονδύλους βαθείας θάλασσας και επιφλοιώσεις φαίνεται να ασκεί σημαντική επίδραση στη σύνθεση των δευτερευόντων στοιχείων τους.Ανεξάρτητες έρευνες βασισμένες σε μεγάλο αριθμό χημικών αναλύσεων και στους τρείς μεγαλύτερους ωκεανούς έχουν δείξει κονδύλους πλούσιους σε τοντοροκίτη να είναι εμπλουτισμένοι σε νικέλιο, χαλκό και ψευδάργυρο ενώ αυτοί που είναι εμπλουτισμένοι σε δ-MnO_2 είναι εμπλουτισμένοι σε κοβάλτιο και μόλυβδο (ΠίνακαςΗ2). Τα ευρήματα αυτά έχουν υποστηριχθεί από μελέτες με μικροαναλυτή σε μεμονωμένους κονδύλους (Burns & Fuerstenau,1966, Sano & Matsuraba, 1970).

Οι αιτιες καταμερισμού των στοιχείων μεταξύ δύο κυρίων τύπων κονδύλων βαθείας θάλασσας και επιφλοιώσεων δεν είναι απολύτως σαφείς. Το ερώτημα είναι :

Οφείλονται σε ενσωματωση των στοιχείων αυτών στις διαφορετικές ορυκτολογικες φάσεις ή οφείλονται στις συνθήκες κάτω από τις οποίες τα διάφορα ορυκτά των κονδύλων σχηματίζονται ανεξάρτητα, επηρεάζοντας τη σύνθεση των δευτερευόντων στοιχείων των αποθέσεων ;

Κάθε μία από τις δύο εναλλακτικές αυτές απόψεις μπορεί να έχει εφαρμογή σε περιπτώσεις ορισμένων στοιχείων.Οπως έχει ήδη αναφερθεί η δομή του τοντοροκίτη δεν είναι πλήρως γνωστή, αλλά το ορυ,κτό φαίνεται να περιέχει πράγματι ιόντα Mn^{2+} τα οποία με βάση το μέγεθος των ακτίνων ιόντων μπορούν να υποκατασταθούν από δισθενή κατιόντα όπως το Zn^{2+},Ni^{2+} και Cu^{2+}. Οι Burns και Burns (1978) έχουν πράγματι υποστηρίξει ότι ποσοστό νικελίου και χαλκού βάρους μέχρι 8% θα μπορούσε να περιέχεται σε κονδύλους βαθέων θαλασσών πλούσιους σε τοντοροκίτη. Αυτό θα εξηγούσε εν μέρει τον εμπλουτισμό των κονδύλων βαθειάς θάλασσας πλουσίων σε

τοντοροκίτη στα στοιχεία αυτά, και τις χαμηλώτερες συγκεντρώσεις, σ'αυτούς που το δ-MnO_2 υπάρχει σε αφθονία το οποίο περιέχει τετρασθενές μαγγάνιο για το οποίο υπάρχει μικρότερη πιθανότητας υποκατάστασης λόγω διαφορετικού μεγεθους ακτίνας ιόντος.

Ο Moorby (1978) έχει δείξει μετά από πειράματα με εκλεκτική απόπλυση με υδροχλωρική υδροξυλαμίνη ότι οι κόνδυλοι με αφθονία τοντοροκίτου περιέχουν το περισσότερο από το νικέλιο,χαλκό και ψευδάργυρο στις αναγώγιμες φάσεις του μαγγανίου,υποστηρίζοντας με έμφαση την άποψη ότι τα στοιχεία αυτά παίζουν ρόλο υποκατάστασης τουλάχιστον εν μέρει μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα του τοντοροκίτη. Παρόμοιο συμπέρασμα εξάγεται από τον Arrhenius και άλλους (1979). Ο M. Kenzie (1971) έχει δείξει ότι συνθετικά παρασκευάσματα τοντοροκίτη μπορούν να δεχθούν μεγάλες συγκεντρώσεις νικελίου και χαλκού. Ορισμένοι κόνδυλοι που παρουσιάζουν αφθονία τοντοροκίτη όπως από περιβάλλοντα ηπειρωτικού περιθωρίου δεν εμπλουτίζονται σε νικέλιο και χαλκό, σε αντίθεση με τις ποικιλίες βαθείας θάλασσας (Grill κ.α. 1968, Grouou & Tooms 1969, Calvert &Price, 1970). Αυτό αποδεικνύει ότι η ορυκτολογία των κονδύλων δεν είναι μόνος παράγοντας που καθορίζει τη συνθεση των κονδύλων.

Οι κόνδυλοι του τύπου αυτού έχουν πιθανά σχηματισθεί με μεγάλη ταχύτητα μετά από καταβύθιση διαγεννετικά ανακινητοποιημένου μαγγανίου που έχει αποχωρισθεί από τα συνήθως συνδεόμενα με αυτ ό, στοιχεία αφήνοντας τα να περιέχονται σε άλλες φάσεις. Ο παράγοντας αυτός, πιθανά σε συνδυασμό με την ανεπάρκεια του περιεχομένου, για ανάληψη σημαντικών δευτερευόντων στοιχείων,χρόνου εξαιτίας του γρήγορου ρυθμού ανάπτυξης των κονδυλίων αυτών μπορεί να είναι ο λόγος που οδηγεί στη χαμηλή περιεκτικότά τους σε νικέλιο και χαλκό. Παρόμοιοι παράγοντες μπορεί να είναι η αιτία για την χαμηλή περιεκτικότητα σε νικέλιο και χαλκό μερικών λιμναίων κονδύλων που περιέχουν τοντοροκίτη.

Ο εμπλουτισμός σε κοβάλτιο, σε κονδυλίους πλουσίους σε δ-MnO_2 ,μπορεί να οφείλεται στην ικανότητα του στοιχείου αυτού όταν βρίσκεται στην υψηλότερή του κατασταση οξείδωσης να υποκαταστήσει το Mn4+ (Goldberg, 1961b, Silleu 1961, Burns &Burns, 1977, Arrhenius κ.α. 1979). Σε αυτή την περίπτωση προϋπόθεση για τον εμπλουτισμό του κοβάλτιου σε κονδύλους θα είναι η οξείδωση του από το συνήθες Co^{2+} του θαλάσσιου νερού σε ιόντα Co^{3+} τα οποία θα ευνοηθούν λόγω της υψηλής οξείδωσης συνθηκών οι οποίες πιστεύεται ότι ευνοούν τον σχηματισμό δ-MnO_2 . Ο εμπλουτισμός μολύβδου σε κονδύλους με αφθονία δ-MnO_2 όπως έχει υποστηριχθεί οφείλεται επίσης στην υποκατάσταση του Mn^{4+} στο δ-MnO_2 από Pb^{+4} (και εδώ ο μόλυβδος πρέπει να βρίσκεται στο υψηλότερο οξειδωτικό του σθένος) (Burns & Burns,1977).Το γεγονός όμως της σημαντικής διαφοράς στο μέγεθος της ακτίνας ιόντων μεταξύ των δύο αυτών ιόντων (Pb^{+4} 0.775 και Mn^{+4} 0.540 αντίστοιχα) φαίνεται να περιορίζει αυτή την δυνατότητα και η προσρόφηση μολύβδου σε δ-MnO_2 μπορεί να είναι μία πιθα νότερη εξήγηση. Ενα τέτοις συμπερασμα εξάγεται από τους Van der Weijeu και Kruissiuk (1977) με βάση πειράματα προσρόφησης.

Ο ρόλος της προσρόφησης στον εμπλουτισμό μετάλλων σε κονδύλους δεν είναι πολύ καλά κατανοητός. Είναι αρκετά γνωστό ότι τα ένυδρα οξείδια του μαγγανίου και σιδήρου από υψηλά ενεργές ειδικές επιφάνειες και έτσι είναι ικανά για ισχυρές αντιδράσεις με κατιόντα σε διαλύμματα. Οι Stumm & Morgan (1970) θεωρούν ότι η προσρόφηση του Cu, Ni, Zn και Pb στα οξείδια αυτά μπορεί να εξηγήσει την αρχική απουσ ία των μετάλλων σε κονδύλους ενώ ο Krauskopf (1956) έχει αναφέρει πειράματα στα οποία αρκετά στοιχεία αφαιρέθηκαν γρήγορα από το θαλάσσιο νερό και μεταφέρθηκαν μέσω προσρόφησης σε οξείδια μαγγανίου.Οι Murray και Brewer (1977) έχουν εξετάσει λεπτομερώς το ρόλο της προσρόφησης στην αφαίρεση μετάλλων από θαλάσσιο νερό και μεταφοράς τους σε σιδηρομαγγανιούχα οξείδια ορυκτών. Πειράματα εκλεκτικής απόπλυσης των κονδύλων που έχουν περιογραφεία πό τους Fuerstenau κ.α. (1973) και Fuerstenau και Hau (1977) έχουν δείξει ότι είναι δυνατό να εξαχθεί το πλείστον από το νικέλιο και τον χαλκό των κονδύλων και το μισό περίπου από το κοβάλτιο τους χωρίς να χρειάζεται να διαλυτοποιηθούν τα κύρια ορυκτολογικά συστατικά του. Τα δεδομένα αυτά είναι σημαντικά από άποψη εμπορικού εμπλουτισμού των κονδύλων και είναι λογικό να υποθέσουμε ότι αυτό θα

σήμαινε ότι το νικέλιο και ο χαλκός και σε μικρότερη έκταση το κοβάλτιο δεν εμφανίζονται στα πλέγματα των ορυκτών στα εξεταζόμενα δείγματα αλλά προσροφώνται στις επιφάνειες τους.Ο Fuerstenau κ.α. (1973) χρησιμοποίησαν κύρια το συμπέρασμα αυτό για το νικέλιιο και τον χαλκό σε κονδύλους πλούσιους σε σίδηρο. Οι μεγαλύτεροι βαθμοί εμπλουτισμού όμως σε νικέλιο και χαλκό εμφανίζονται σε κόνδυλους πλούσιους σε μαγγάνιο και φτωχούς σε σίδηρο που περιέχουν τοντοροκίτη και σε τέτοιες περιπτώσεις οι μηχανισμοί της υποκατάστασης μέσα στο πλέγμα του ορυκτού καθώς και της προσρόφησης είναι εξ ίσου δυνατοί.

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι τα διαθέσιμα δεδομένα δεν μας επιτρέπουν να πούμε κατηγορηματικά ότι όσον αφορά την πρόσληψη δευτερευόντων στοιχείων από τους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις ο ένας ή ο άλλος μηχανισμός είναι ο κυρίαρχος.Πιστεύουμε ότι και οι δύο περιπτώσεις είναι πιθανότατα εξίσου σημαντικές κατά περιπτώσεις.Η προσρόφηση μπορεί πιθανά να είναι υπεύθυνη για τις χαμηλές μέχρι ενδιάμεσες συγκεντρώσεις των περισσοτέρων δευτερευόντων στοιχείων που βρίσκονται στουςκονδύλους εκείνους που ταξινομούνται στην κατηγορία των ″αμόρφων″ αλλά ο σημαντικός εμπλουτισμός νικελίου και χαλκού σε ορισμένους κονδύλους με άφθονο τοντοροκίτη και κοβάλτιο, σε ορισμένους κονδύλους με άφθονο δ-MnO_2, πιθανά πράγματι προέρχεται από την υποκατάστασή τους στα πλέγματα των ορυκτών αυτών.

11. Η σημασία τής Γεωχημείας στήν έρευνα τών κονδύλων&επιφλοιώσεων

Σαν μία πρώτη εκτίμηση τονίζεται οτι η εφαρμοσμένη γεωχημική έρευνα παίζει σημαντικότατο ρόλο στην έρευνα αξιολόγηση των κονδύλων Mn και κύρια στον προσδιορισμό στην σε μέταλλα περιεχόμενη αξία. Η γεωχημική έρευνα γίνεται από μεγάλα ωκεανογραφικά σκάφη και η δειγματοληψία με μεγάλους πυρηνολήπτες βαρύτητας ή free-fall grab. Αμέσως ακολουθεί η ανάλυση των δειγμάτων των κονδύλων στο πλοίο κύρια με την μέθοδο X-R-F. Οι κόνδυλοι γεωχημικά και από πλευρας οικονομικής αξίας ταξινομούνται με βάση το διάγραμμα Mn/Fe v Ni+Cu όπως θα δούμε πιό κάτω.

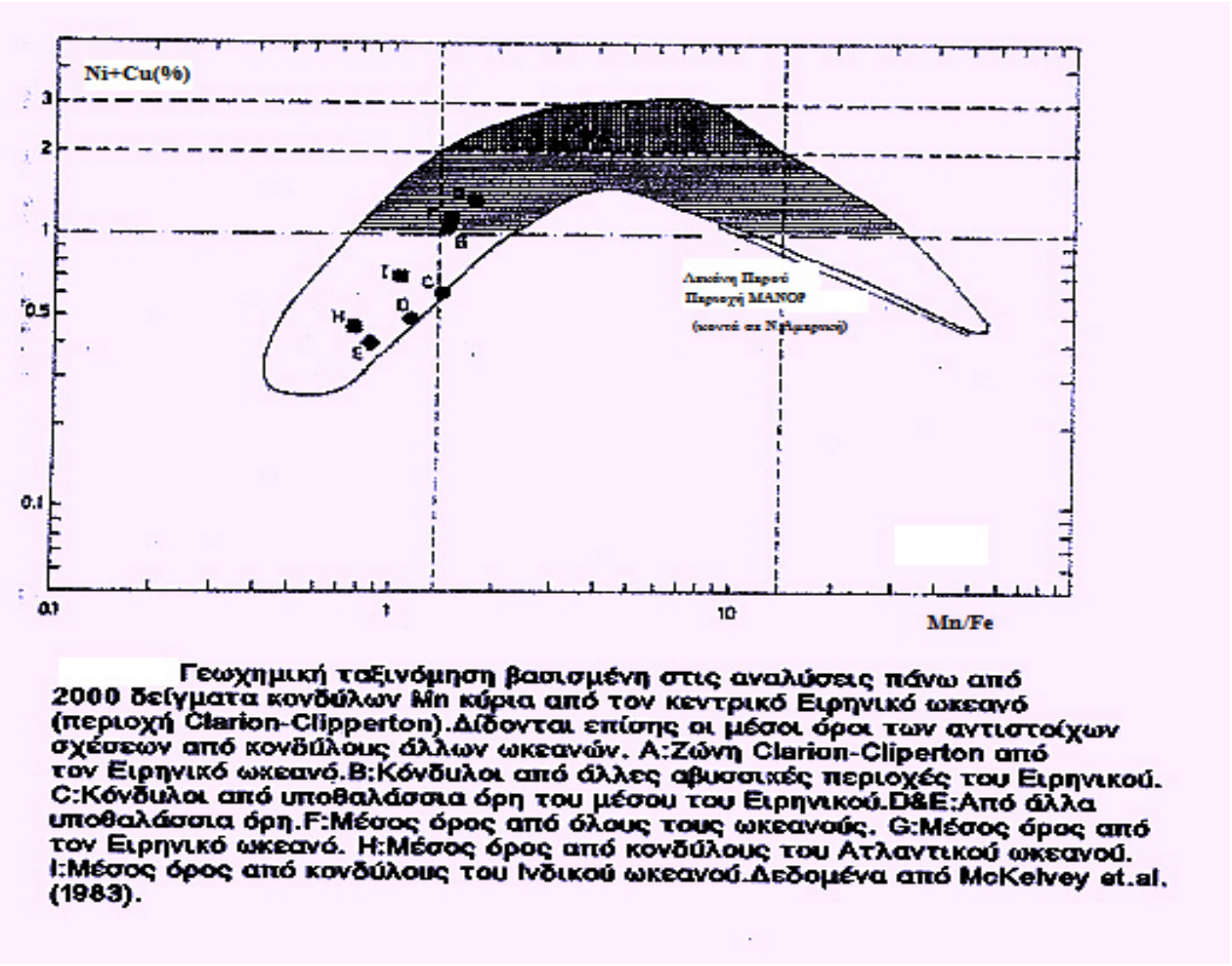
Ετσι περιοχές που έχουν χαμηλό μεταλλοντικό δυναμικό μπορούν να εξαιρεθούν της περαιτέρω έρευνας. Εμφαση στην ανάλυση και αξιολόγηση δίδεται φυσικά κύρια για τα στοιχεία Ni, Cu, Co,Mn και Fe. Περιλαμβάνονται όμως και άλλα στοιχεία εφ'όσον διευκλύνουν στην διελεύκανση της γέννεσης και ανάπτυξης των κονδύλων.

11α.ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΟΝΔΥΛΩΝ

Οπως τονίσθηκε ήδη παραπάνω τα πλέον σημαντικά μέταλλα στους κονδύλους Mn είναι Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn και Po. Σε ότι αφορά την προέλευση των κονδύλων ο Bonaati κ.α (1972) πρότειναν ένα χαρακτηριστικό τριγωνικό διάγραμμα που στις κορυφές του προβάλλονται τα στοιχεία(Mn),(Fe),(Ni+Cu+Co) (ΦΩΤ.Η5.).Στο διάγραμμα αυτό διαχωρίζονται αρκετά καλά πεδία κονδύλων αναλόγως της προέλευσής τους ήτοι : υδροθερμικής, υδρογενούς διαγεννετικής.Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι η μεγάλη πλειοψηφία των κονδύλων Mn από τις ανοικτές θάλασσες συμπεριλαμβάνονται στο πεδίο υδρογενούς προέλευσης.

Σε ότι αφορά την έρυενα και εκτίμηση της οικονομικής αξίας των κονδύλων τέσσερα είναι τα στοιχεία ″κλειδιά″, δηλ. Mn, Fe, Ni,Cu. Τα τέσσερα αυτά στοιχεία προβάλλονται στο κλασσικό πιά διάγραμμα του KUNZENDORF (1987) όπου ο λόγος Mn/Fe προβάλλεται εναντι του αθροίσματος Ni+Cu (Mn/Fe v Ni+Cu). Το άθροισμα Ni+Cu σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να επεκταθεί και να συμπεριλάβει το Co ή τον Zn.Η χρήση της σχέσης Mn/Fe έ χει το πλεονέκτημα ότι μειώνει τα υπάρχοντα συστηματικά σφάλματα ενώ δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν αναλυτικά δεδομένα για Mn και Fe που προέρχονται από διαφορετικές αναλυτικές συσκευές. Στη

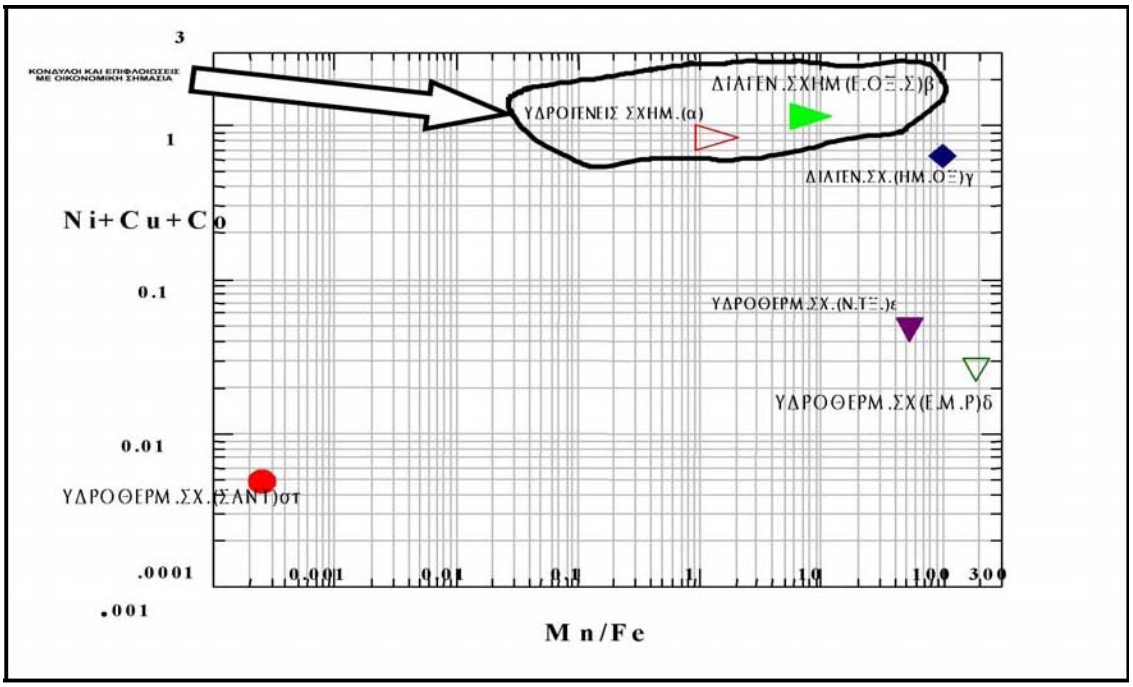
ΦΩΤ.Η**6.**δίδεται το διάγραμμα αυτό οπου προβάλλονται αναλυτικά δεδομένα πάνω από 2000 δείγματα κονδύλων προερχόμενα κύρια από τον Ειρηνικό Ωκεανό αλλά και από αλλους ωκεανούς επίσης.



ΦΩΤ.Η5. Γεωχημική ταξινόμηση κονδύλων Mn σε σχέση με το οικονομικό τους ενδιαφέρον(Από Kunzendorf 1987)

Τα πλείστα των δειγμάτων αυτών προβάλλονται στο πεδίο που φαίνεται στη ΦΩΤ.Η5.

Κόνδυλοι κα;ι επιφλοιώσεις από διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα προέλευσης προβάλλονται επίσης σε παρόμοιο διάγραμμα στη ΦΩΤ.Η6 , όπου σημειώνονται οι περιοχές των σχηματισμών με οικονομικό ενδιαφέρον.



ΦΩΤ.Η6. Προβολή κονδύλων και επιφλοιώσεων από διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα στο διάγραμμα Kunzendorf (Βλέπε ΦΩΤ.Η6).

Σύμφωνα με τον KUNZENDORF (1987) και άλλους εξερευνητές (Ronan, 1980) κόνδυλοι Mn με οικονομική σημασία θεωρούνται αυτοί που προβάλλονται πάνω από τη γραμμή που αντιπροσωπεύει το άθροισμα Ni+Cu›2%. Τέτοιοι κόνδυλοι συνηθέστατα έχουν και σχετικά υψηλές σχέσεις Mn/Fe (5-10). Αρα κόνδυλοι με περιεκτικότητες Ni+Cu › 2% και Mn/Fe›5 θεωρούνται ότι παρουσιάζουν κατ'αρχήν οικονομικό ενδιαφέρον εφ'οσον φυσικά καταλαμβάνουν σημαντική έκταση. Αν και το διάγραμμα αυτό είναι λίγο ως πολύ εμπειρικό, και πιθανώς να τροποοποιηθεί στο μέλλον, αντανακλά αρκετά καλά τις ορυκτολογικές διαφοροποιήσεις των κονδύλων. Ως γνωστόν τα κυριώτερα ορυκτά των κονδύλων Mn είναι το άμορφο (δ-MnO2) (γνωστό και ως βερναδίτης), ο τοντοροκίτης (10 Α μαγγ ανίτης), ο μπιρσενίτης (7 Α μαγγανίτης), καθώς και άμορφα οξείδια του Fe. Ετσι στο διάγραμμα της ΦΩΤ. Η6 τα δείγματα που προβάλλονται στο κάτω αριστερά τμήμα του πεδίου δηλ. σχετικά χαμηλές περιεκτικότητες Ni+Cu (0.4-0.8) και σχέσεις Mn/Fe‹1, αντιπροσωπεύουν εμφανίσεις κονδύλων που δημιουργήθηκαν κυρίως από το θαλασσινό νερό και η ανάπτυξή τους τερματίσθηκε στην φάση δ-MnO_2 (βερναδίτης) που τα ,τόχρονα είναι πλούσια και σε Fe. Κόνδυλοι με υψηλές περιεκτικότητες Ni+Cu προερχονται κύρια από περιοχές όπου τα επιφανειακά νετά τους εμφανίζουν υψηλή βιολογική παραγωγικότητα (κύρια πλαγκτόν). Οι πλανγκτονικοί αυτοί οργανισμοί- έχει ήδη αποδειχθεί θεωρητικά (BOSTROM,1976) αλλά καί εργαστηριακά ότι- μπορούν να αποδώσουν μετά τον θάνατό τους μέσω διαγεννετικών διεργασιών σημαντικές ποσότητες Cu, Ni (αλλά και Mn).Οι κόνδυλοι αυτοί είναι ιδιαίτερα πλούσιοι σε τοντοροκίτη (με το τμήμα του πεδίου της ΦΩΤ.Η6.)

Αντίθετα στους κονδύλους που έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε Mn (σχέση Mn/Fe πολύ υψηλή συνήθως ›15) και υψηλούς ρυθμούς αναπτύξης η κυρίαρχη ορυκτολογική φάση είναι ο μπιρσενίτης. Οι κόνδυλοι αυτοί σχηματίζονται συνήθως κοντά στις ηπείρους (π.χ.οι κόνδυλοι κοντά στην υφαλοκρηπίδα του Περού) και έχουν χαμηλότερες περιεκτικότητες σε Ni+Cu (συνήθως ‹1) και προβάλλονται στο άκρο δεξιά τμήμα του πεδίου της ΦΩΤ.Η5 και Η6. Είναι ενδιαφέρον να σημειώσουμε ότι από την ΦΩΤ.Η4. προκύπτει επίσης ότι λίγοι κόνδυλοι Mn εμφανίζουν περιεκτικότητες Ni+Cu> 3 που πρακτικά είναι οι πλέον ενδιαφέροντες από οικονομική άποψη.

Αν και υπάρχει υπερπροσφορά ιόντων Ni και Cu στό περιβάλλον εναπόθεσης κονδύλων σε περιοχές με υψηλή βιολογική παραγωγικότητα (π.χ. Κεντρικός Ειρηνικός) έχει αποδειχθεί ότι το πλέγμα του τοντοροκίτη δεν μπορεί να συμπεριλάβει Ni+Cu πάνω από 4% (KUNZENDORF, 1987).

Τα υψηλά μεγέθη της σχέσης Mn/Fe στους κονδύλους με οικονομικό ενδιαφέρον πλούσιους σε τοντοροκίτη έχουν όπως τονίσθηκε πιό πάνω μία διαγεννετική προέλευση σε αντίθεση με τους κονδύλους με χαμηλή Mn/Fe σχέση (πλούσιους σε δ-MnO_2) που έχουν κυρίως υδρογεννετική προέλευση. Οι υψηλές αυτές σχέσεις Mn/Fe σε περιοχές υψηλής βιολογικής δραστηριότητας οφείλονται στον παρακάτω λόγο. Οι πλαγκτονικοί οργανισμοί πεθαίνοντας καθιζάνουν με υψηλούς ρυθμούς στον θαλάσσιο πυθμένα. Αυτό έχει ένα διπλό αποτέλεσμα. αφ'ενός μεν αποσυντηθέμενοι απελευθερώνουν στοιχεία όπως Cu, Ni ή Zn που βρίσκονται σε σημαντικές ποσότητες στα κελύφη τους, αφ'ετέρου δε δημιουργούν πλούσια οργανική ύλη. Το υψηλό ποσοστό όμως της οργανικής ύλης δημιουργεί αναγωγικές συνθήκες ελάττωση του δυναμικού οξειδοαναγωγής στα ανώτατα τμήματα των ιζημάτων του πυθμένα(πάχους λιγων εκατοστών).Αυτό οδηγεί στην αναγωγή διαλυτοποίηση και διαγεννετική κινητοποίηση των ιόντων Mn^{+2}, Cu^{+}, Ni^{+2} που μεταναστεύοντας στην επιφάνεια των ιζημάτων βρίσκουν οξειδωτικές συνθήκες (λόγω της επαφής με το θαλασσινό νερό). Εκεί οξειδώνονται ως εξής :

$Mn^{+2} \rightarrow Mn^{+4}$ (οξείδιο MnO_2)

$Cu^{+} \rightarrow Cu^{+2}$ (οξείδιο CuO)

$Ni^{+2} \rightarrow Ni^{+3}$ (οξείδιο Ni_2O_3)

Ετσι σχηματίζεται ο τοντοροκίτης (MnO_2) που φυσικό είναι να είναι εμπλουτισμένος σε Ni+Cu αφ'ενός μεν γιατί συνκαθιζάνουν οξειδωμένες φάσεις Ni+Cu, αφ'ετέρου δε γιατί ελεύθερα ιόντα Ni+Cu προσροφώντα από την υψηλής επιφανειακής ενέργειας επιφάνεια του τοντοροκίτη.

Η γεωχημική ταξινόμηση των κονδύλων βασίζεται στις περιεκτικότητες τους σε Mn και Fe. Ετσι έχουμε βασικά δύο φάσεις οξειδίων Fe-Mn. Μία πλούσια σε Mn και μία πλούσια σε Fe. με κάθε μία από τις δύο φάσ εις υπάρχει σύνδεση άλλων στοιχείων. Η σύνθεση αυτή όπως τονίσθηκε πιό πάνω οφείλεται κύρια σε λόγους λειτουργίας οξειδωτικών φαινομένων προσρόφησης και υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας.

Στον ΠΙΝ.Η2.εμφανίζονται τα κυριώτερα στοιχεία των κονδύλων Mn που ταξινομούνται στις δύο κύριες ορυκτολογικές φάσεις οξειδίων Fe-Mn (KUNZENDORF, 1987).

ΠίνακαςΗ2.Τα κυριώτερα στοιχεία απαντώμενα στους κονδύλους Mn που συνδέονται με τις δύο κύριες ορυκτολογικές φάσεις οξειδίων Fe-Mn.Στοιχεία που είναι μέσα σε παρένθεση δεν μπορούν με βεβαιότητα να συνδεθούν με τις δύο φάσεις. (KUNZENDORF, 1987).

ΤΥΠΟΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΦΑΣΗ ΟΞΕΙΔΙΩΝ Fe-Mn ΠΛΟΥΣΙΑ ΣΕ Mn	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΦΑΣΗ ΟΞΕΙΔΙΩΝ Fe-Mn ΠΛΟΥΣΙΑ ΣΕ Fe	ΑΛΛΕΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ
ΜΕΤΑΛΛΑ ΑΜΕΣΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΟΥ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ	Ni, Cu, Zn,(Co), (V,Mo),(Mg, Ca, Na)	Co, (V)	
ΚΥΡΙΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		Ti, Ca	Al,Ca,Mg,K,Si, (Ti)
ΙΧΝΟΣΤΟΙΧΕΙΑ		Zr, Sr	Sr, Ba
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	Cd, (Ba)	As,Pb,(Hg)	(Se,Cr)
ΣΠΑΝΙΑ ΚΑΙ ΠΟΛΥΤΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ		ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ (Ce,La, κ.λ.π.)	(Au, ΜΕΤΑΛΛΑ ΤΗΣ ΟΜΑΔΑΣ Pt, ΣΠΑΝΙΕΣ ΓΑΙΕΣ)
ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		U, Th	(Th)

Συνοψίζοντας μπορούμε νά πούμε ότι οι κόνδυλοι Mn-Fe μπορούν νά περιγραφούν,σέ ότι αφορά τήν προέλευσή τους- σ'ένα φάσμα τό οποίο έχει 2 ακραία μέλη σέ ότι αφορά τήν προέλευση τους:

ι)Προέλευση διαγεννετική

ιι)Προέλευση από τό θαλάσσιο νερό

Είναι γνωστό ότι στόν θαλάσσιο πυθμένα καί σέ σχέση μέ τά περιβάλλοντα διαγέννεσης υπάρχει μιά βαθμιαία μεταβολή από ελαφρά αναγωγικά(sub-oxic) τά οποία βρίσκονται στά ηπειρωτικά περιθώρια σέ ο ξειδωτικά(oxic) τά οποία συναντώνται στήν ανοικτή θάλασσα, δηλ. σέ καθαρά πελαγικά περιβάλλοντα.Αυτή η βαθμιαία μεταβολή τού περιβάλλοντος διαγέννεσης καί κατ'επέκταση τού δυναμικού οξειδοαναγωγής(Eh),ελέγχει σέ σημαντικότατο βαθμό τόν τύπο τών σχηματιζομένων κονδύλων.'Ετσι γιά παράδειγμα οι PRICE&CALVERT(1970) αναφέρουν 'ότι οι κόνδυλοι τού Ειρηνικού ωκεανού αποτελούν μιά συνεχή σειρά ορυκτολογικής καί χημικής μεταβολής πού εκτείνεται μεταξύ τών δύο παραπάνω ακραίων μελών.

Πολύ συνοπτικά θά μπορούσαμε νά χαρακτηρίσουμε ώς εξής τά δύο ακραία μέλη τών κονδύλων καί επιφλοιώσεων Mn-Fe:

Ι.ΚΟΝΔΥΛΟΙ ΗΠΕΙΡΩΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΘΩΡΙΩΝ:Παρουσιάζουν δισκοειδή έως ελλειπτική

μορφή.Γεωχημικά χαρακτηρίζονται από υψηλές σχέσεις Mn/Fe(›7) καί είναι σχετικά εμπλουτισμένοι σέ Mn,Cu,Ni,& Zn.Ορυκτολογικά συνίστανται κύρια από Τοντοροκίτη καί δ-MnO2 κατά δεύτερο λόγο.Μερικές φορές κάποιες ποικιλίες περιέχουν καί Μπιρνεσσίτη.Οί κόνδυλοι αυτού τού τύπου συναντώνται σέ ηπειρωτικά περιθώρια,συνδέονται μέ ηπι-πελαγικά ιζήματα καί είναι κυρίως ΔΙΑΓΕΝΝΕΤΙΚΗΣ προέλευσης σέ ότι αφορά τήν απόληψη τών κυρίων στοιχείων τους.Τό Eh είναι σχετικά χαμηλό γεγονός πού συνεπάγεται συνθήκες οξειδωτικές έως ελαφρά αναγωγεικές.

ΙΙ.ΚΟΝΔΥΛΟΙ ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΗΣ:Παρουσιάζουν μορφολογικούς τύπους κύρια σφαιρικούς έως σφαιροειδείς.Γεωχημικά χαρακτηρίζονται από χαμηλές σχέσεις Mn/Fe(1-1.5) καί είναι σχετικά εμπλουτισμένοι σέ Fe,Co,Pb.Ορυκτολογικά συνίστανται κύρια η σχεδόν αποκλειστικά από δ-MnO2.Οί κόνδυλοι η καί επιφλοιώσεις τού τύπου αυτού συναντώνται σέ ανοικτές θάλασσες,κορυφές υποθαλασσίων ορέων,συνδέονται μέ καθαρά πελαγικά ιζήματα καί λαμβάνουν τά κύρια στοιχεία τους από τό θαλασσινό νερό είναι δηλ.ΑΝΟΙΚΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ προέλευσης.Τό Eh είναι υψηλό γεγονός πού συνεπάγεται συνθήκες λίγο ώς πολύ οξειδωτικές.

12.Σχηματισμός Κονδύλων& Επιφλοιώσων Mn-Fe

Οί δύο ακραίοι αλλά καί κύριοι τύποι τών κονδύλων καί επιφλοιώσεων σχηματίζονται κατ'αντιστοιχία από δύο κυρίαρχα ακραία φαινόμενα.Συγκεκριμένα όπως ήδη έχει πιό πάνω αναφερθεί οί κόνδυλοι ηπειρωτικών περιθωρίων παραλαμβάνουν τά πλείστα από τά περιεχόμενα σ'αυτούς μέταλλα από τά ″εσωτερικά νερά″ τών πόρων τών ιζημάτων μέ τά οποία συνδέονται,μέσω δηλ.διαγεννετικών φαινομένων(Διαγεννετικοί κόνδυλοι) Από τήν άλλη πλευρά οί κόνδυλοι ανοικτής θάλασσας ενσωματώνουν τά πλείστα τών περιεχομένων σ'αυτούς μέταλλα από τό υπερκείμενο θαλασσινό νερό(Κόνδυλοι προέλευσης από θαλασσινό νερό).Στό σημείο αυτό πρέπει νά υπογραμμισθεί ότι στην πραγματικότητα υφίσταται ένα συνεχές φάσμα κονδύλων καί επιφλοιώσεων Mn-Fe τό οποίο βρίσκεται μεταξύ αυτών τών δύο ακραίων τύπων.'Ετσι μπορούμενά πούμε ότι η σύσταση τών σχηματισμών αυτών ανταποκρίνεται καί αντιστοιχεί πλήρως στό συγκεκριμένο περιβάλλον καί τίς φυσικιχημικές συνθήκες τού θαλασσίου πυθμένα στόν οποίο σχηματίζονται.Τό γεγονός αυτό αποδεικνύεται από πολυάριθμες παρατηρήσεις οί οποίες έδειξαν ότι πολλοί κόνδυλοι Mn-Fe,κυρίως ανοικτών θαλασσών παρουσιάζουν καί τούς δύο μηχανισμούς προέλευσης π.χ από θαλάσσιο νερό στήν επάνω επιφάνεια καί διαγεννετική στήν κάτω επιφάνεια.'Ετσι συχνά ακόμη καί μέσα στόν ίδιο κόνδυλο έχουμε διαφοροποίηση σέ ότι αφορά τήν σύσταση του σέ αντιστοιχία τής πλευράς πού βλέπει είτε στό υπερκείμενο θαλασσινό νερό η τό υποκείμενο ίζημα.Πιό κάτω θά αναφερθούμε στούς μηχανισμούς σχηματισμού τών δύο ακραίων μελών τού συνεχούς φάσματος τώ ν κονδύλων καί επιφλοιώσεων Mn-Fe.

Α.ΚΟΝΔΥΛΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΦΛΟΙΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟ ΘΑΛΑΣΣΙΝΟ ΝΕΡΟ(ΥΔΡΟΓΕΝΕΙΣ)

Οί σχηματισμοί Mn-Fe αυτού τού τύπου δημιουργούνται από τήν απ'ευθείας καθίζηση οξειδίων μετάλλων, σέ κολλοειδή μορφή,από τό θαλασσινό νερό στήν περιοχή ανάπτυξης.Τό φαινόμενο αυτό συνοδεύεται καί από τήν ανάπτυξη στήν επιφάνεια καθίζησης τών αιωρουμένων μικροοξειδίων Mn-Fe πού σχηματίζονται στή στήλη τού νερού.Παράδειγμα δημιουργίας ακραιφνών τύπων σχηματισμών υδρογενούς προέλευσης είναι οι επιφλοιώσεις κοντά στά νησιά Islands(Κεντρικό Ειρηνικό)πού μελετήθηκαν από τούς APLIN&CRONAN(1985α).Οί επιφλοιώσεις αυτές έχουν σχετικά χαμηλές σχέσεις Mn/Fe καί οί κυριώτερες ορυκτές φάσεις είναι τό δ-MnO2 καί άμορφο FeOOH.nH2O.Από τά δύο αυτά ορυκτά τό δ-MnO2 είναι αυτό πού περιέχει τά ενδιαφέροντα ιχνοστοιχεία συγκεκριμένα:Co,Mo,Ni,Zn,&Cd ενώ τό Ba περιέχεται κύρια στή φάση τών αμόρφων υδρο-οξειδίων.Οί παραπάνω ερευνητές συνεπέραναν ότι οί επιφλοιώσεις αυτές σχηματίσθηκαν στήν διάρκεια τής απ'ευθείας καί μέ αργό τάχος,καθίζηση οξειδίων, εμπλουτισμένων σέ ιχνοστοιχεία,από τό υπερκείμενο θαλασσινό νερό.Ο εμπλουτισμός σέ

ιχνοστοιχεία κύρια στή φάση τού δ-MnO2,αποδίδεται διαφορική συμπεριφορά τών οξειδίων Mn & Fe στό θαλασσινό νερό σέ ότι αφορά τήν ενσωμάτωση ιχνοστοιχε ίων από τό θαλασσινό νερό.Η ανάπτυξη αυτών τών σχηματισμών είναι συνάρτηση τής συγκέντρωσης τών ιόντων Mn+2 καί τής κινητικής τών σχετικών αντιδράσεων οξείδωσης σέ θαλάσσιο περιβάλλον.Σύμφωνα μέ τούς PIPER κ.ά(1984) τό πρωτοσχηματιζόμενο οξείδιο Mn,είναι πιθανότατα ένας τύπος χαουσμανίτη,σχετικά ασταθούς σέ ότι αφορά τήν χημική ισσοροπία(ΔGo αντιδράσεως›/0) πού στή συνέχεια μεταπίπτει στήν σταθερότερη φάση δ-MnO2 από αυτοοξειδοαναγωγή σύμφωνα μέ τίς αντιδράσεις:

$$3H_2O+1/2O_2+3Mn^{+2} \rightarrow Mn_3O_4+6H^+$$

$$Mn_3O_4+4H^+ \rightarrow \delta\text{-}MnO_2+2Mn^{+2}+2H_2O$$

Οί παρατηρήσεις στή φύση αλλά καί εργαστηριακές εργασίες δείχνουν πλέον χωρίς καμμιά αμφιβολία ότι σέ pH μεταξύ 7.6-8.3,πού συνηθέστατα υπάρχει στό θαλάσσιο νερό,καί οξειδωτικές συνθήκες,δηλ.Eh›0 ,σχηματίζεται πρώτα ο λιγώτερο οξειδωμένος τύπος οξειδίου Mn τύπου Τοντοροκίτη.Μέ τήν αύξηση τού Eh περίπου στό 0.7-0.8(volts)πού συνήθως εμφανίζουν τά νερά τών ωκεανών πού βρίσκονται μακριά τών ακτών,στήν ανοικτή θάλασσα,τά σχετικά αυτά ασταθή οξείδια Mn μεταπίπτουν σέ οξείδια υψηλότερης οξειδωτικής κατάστασης δηλ.σέ δ-MnO2. Η αντίδραση αυτή από πλευράς κινητικής είναι αργή. Ο συνδυασμός όλων τών παραπάνω στοιχείων εξηγεί έτσι γιατί οι κόνδυλοι καί επιφλοιώσεις Mn-Fe από ανοικτούς ωκεανούς μέ τάχος ανάπτυξης χαμηλότερο τών αντιστοίχων κονδύλων καί επιφλοιώσεων πού προέρχονται από τά περιθώρια τών ωκεανών,από σχετικά παράκτια περιβάλλοντα,είναι πλούσιοι σέ MnO_2(δ-MnO_2) σέ αντίθεση μέ τούς τελευταίους οι οποίοι είναι πλούσιοι σέ Τοντοροκίτη.Είναι έτσι φανερό ότι τό pH καί τό Eh ελέγχουν όχι μόνο τήν καταβύθιση τών οξειδίων Mn από τό θαλάσσιο νερό η τά εσωτερικά νερά τών πόρων τών ιζημάτων αλλά καί τήν χημική/ορυκτολογική σύσταση τών σχηματιζομένων οξειδ ίων καί κατ'επέκταση τών κονδύλων ή επιφλοιώσεων.

Ως γνωστό τό Mn στό θαλασσινό νερό βρίσκεται μέ τήν μορφή δισθενούς ιόντος,ενώ στούς κονδύλους καί επιφλοιώσεις μέ τήν μορφή Mn^{+4}(τετρασθενούς) ιόντος. Σύμφωνα μέ τούς GOLDBERG & ARRHENIUS(1958) τά οξείδια τρισθενούς σιδήρου δυνατόν νά δρούν ώς καταλύτες στήν επιφάνεια τών οποίων αρχίζει η οξείδωση $Mn^{+2} \rightarrow MnO_2$ προκαλώντας έτσι τήν αρχή σχηματισμού κονδύλων.'Ετσι έχουμε τήν έναρξη τού φαινομένου τής ανάπτυξης κονδύλου γύρω από έναν τέτοιο πυρήνα η οποία καί θά συνεχισθεί.Τό πόσο θά συνεχισθεί είναι συνάρτηση δύο παραγόντων.Πρώτο από τό χρονικό διάστημα πού αυτή η επιφάνεια- καταλύτης(δηλ. ο πυρήνας) είναι εκτεθειμένος στό θαλασσινό νερό.Δεύτερο από τό τάχος πού τά διάφορα στοιχεία προσφέρονται στόν σχηματιζόμενο κόνδυλο.Σύμφωνα μέ τόν DYMOND κ.ά(1984) τό μέγεθος τής ροής τών διαλελυμένων ιόντων Mn^{+2} στήν περιοχή πού γίνεται τό φαινόμενο τής οξείδωσης δηλ.στόν πυρήνα προσδιορίζει καί τό τάχος ανάπτυξης τών κονδύλων Mn-Fe.Δεδομένου δέ ότι τό Mn είναι τό κυρίαρχο στοιχείο ε εναι φυσικό ότι τό μέγεθος τής ροής τών ιόντων Mn^{+2} σέ σχέση μέ άλλα ιόντα θά προσδιορίσει κατά μεγάλο ποσοστό καί τήν χημική σύσταση αυτών τών σχηματισμών.Η δημιουργία υδρογενών σχηματισμών Mn-Fe είναι ένα φαινόμενο πού προχωρεί πολύ αργά.'Ετσι π.χ ο DYMOND κ.ά(1984)προσδιόρισαν ότι τό τάχος ανάπτυξης τέτοιων σχηματισμών ήταν μεταξύ 1-2mm/10^6 έτη. Οί πλέον "καθαρές" περιπτώσεις σχηματισμών υδρογενών οξειδίων Mn-Fe είναι σέ επιφλοιώσεις οί οποίες σχηματίζονται κατ'ευθείαν πάνω στίς επιφάνειες πετρωμάτων πού είναι εκτεθειμένες στό θαλασσινό νερό.Είναι όμως γεγονός ότι αυτός ο μηχανισμός ανάπτυξης συμμετέχει στήν πάνω επιφάνεια όλων τών κονδύλων οι οποίοι είναι εκτεθειμένοι στό θαλασσινό νερό,ενώ υπάρχουν κόνδυλοι,όπως ήδη ειπώθηκε,όπου τό υδρογενές στοιχείο σχηματισμού των είναι τό επικρατέστερο.Πρέπει όμως νά τονισθεί καί τό εξής.Από τή στιγμή πού ιζήματα έστω καί μερικώς καλύπτουν κονδύλους η επιφλοιώσεις οι συνθήκες σχηματισμού οξειδίων Mn-Fe αλλάζουν σημαντικά.Οί μισοκαλυμμένοι π.χ από ιζήματα κόνδυλοι αρχίζουν νά λαμβάνουν διαλελυμμένα στοιχεία διαγεννετικά(από τά εσωτερικά νερά τών πόρων τών ιζημάτων).'Ετσι φθάνουμε στήν περίπτωση τής σαφούς διαφοροποίησης τής χημικής σύστασης

κονδύλων μεταξύ άνω καί κάτω μέρους όπως ήδη αναφέρθηκε σέ προηγούμενο κεφάλαιο.Συγκεκριμένα έχουμε επικράτηση τού "υδρογενούς" στοιχείου στίς επάνω επιφάνειες τών κονδύλων(πού είναι σέ επαφή μέ τό θαλασσινό νερό)καί επικράτηση τού "διαγεννετικού" στοιχείου στίς κάτω επιφάνειες(εκεί πο ύ βρίσκεται σέ επαφή η εντός τών ιζημάτων).Στήν πραγματικότητα λοιπόν-καί παρά τό γεγονός πού γιά λόγους δεοντολογικούς εξετάζουμε τίς δύο ακραίες περιπτώσεις ξεχωριστά-η μεγάλη πλειοψηφία τών κονδύλων αντιπροσωπεύει μικτούς τύπους όπου αλλού λιγότερο αλλού περισσότερο καί οι δύο "ακραίοι" μηχανισμοί έπαιξαν σημαντικό ρόλο στήν ανάπτυξη τους.

Β.ΚΟΝΔΥΛΟΙ ΚΑΙ ΕΠΙΦΛΟΙΩΣΕΙΣ ΔΙΑΓΕΝΝΕΤΙΚΗΣ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ

Γράφτηκε ήδη πιό πάνω ότι τό δίδυμο θαλασσινό νερό καί διαγέννεση προσφέρουν τά μέταλλα τά οποία είναι απαραίτητα γιά τόν σχηματισμό επιφλοιώσεων καί κονδύλων Mn-Fe.Τό δίδυμο αυτό είναι υπεύθυνο γιά τήν χημική διαφοροποίηση άνω καί κάτω τμήματος στούς σχηματισμούς αυτούς.Η διαφοροποίηση αυτή είναι ισχυρότερη όσο ισχυρότερα καί επί μακρότερο λειτουργεί τό φαινόμενο τής διαγέννεσης τό οποίο βασικά εξαρτάται από τό μέγεθος τής ροής ιόντων τού C πρός τά κάτω(κύρια οργανικός C προερχόμενος από τήν υπό αποσύνθεση οργανική ύλη) εντός τής στήλης τού ιζήματος.Τό μέγεθος τής ροής αυτής προσδιορίζει τό φυσικοχημικό περιβάλλον εναπόθεσης,κύρια τό δυναμικό οξειδοαναναγωγής Eh,τών στρωμάτων τών ιζημάτων,καθώς καί τίς αντιδράσεις πού λαμβάνουν χώρα στά "εσωτερικά νερά" τών πόρων τών ιζημάτων.Μέ βάση τήν αρχή αυτή οί κόνδυλοι καί επιφλοιώσεις διαγεννετικής προέλευσης δυνατόν νά σχηματισθούν στήν διάρκεια δύο ειδών μηχανισμών διαγέννεσης ήτοι:Διαγέννεσης σέ ελαφρά οξειδωτικές συνθήκες,καί διαγέννεσης σέ ημι-οξειδωτικές η ελαφρά αναγωγικές συνθήκες(DYMOND κ.ά.1984).

i)Διαγέννεση σέ ελαφρά οξειδωτικές συνθήκες

Στό είδος αυτό τής διαγέννεσης η υπό αποσύνθεση οργανική ύλη καταστρέφεται,οξειδούται από τό διαλελυμμένο στά "εσωτερικά νερά" τών πόρων τών ιζημάτων οξυγόνο(O_2),τό οποίο στήν περίπτωση αυτή είναι αρκετό.Έτσι τά πρωτοσχηματιζόμενα πολύ λεπτόκοκκα οξείδια MnO_2,δέν διασπώνται,δέν ανάγονται ώστε νά δώσουν περίσσεια O_2 γιά τήν οξείδωση τής οργανικής ύλης,γιατί τούτο δέν είναι αναγκαίο.Δέν υπάρχει αμφιβολία ότι κόνδυλοι καί επιφλοιώσεις πού σχηματίζονται σέ ιζήματα υπό οξειδωτικές συνθήκες λαμβάνουν ποσοστό μόνο τών μετάλλων τους από τό θαλασσινό νερό(υδρογενής προέλευση).Τό ερώτημα είναι πώς ενσωματώνονται στούς σχηματισμούς αυτούς τό Mn καθώς καί άλλα ιχνοστοιχεία,μή υδρογενούς προέλευσης,πού ελευθερώνονται στήν διάρκεια τής διαγέννεσης υπό ελαφρές οξ ειδωτικές συνθήκες,δεδομένου ότι τό MnO_2 δέν διαλύεται.Γιά νά εξηγηθεί τό φαινόμενο αυτό τρείς κυρίως μηχανισμοί έχουν προταθεί από διαφόρους ερευνητές:

(a).Απελευθέρωση μετάλλων από ασταθείς(υπό αποσύνθεση)οργανικούς φορείς.

Στή διάρκεια αυτού τού είδους τής διαγέννεσης η διάλυση τών ασταθών οργανικών φορέων απελευθερώνει στοιχεία στό διάλυμμα τά οποία ευρίσκοντο στούς σκελετούς πλαγκτονικών κυρίως οργανισμώ $.Μερικά από τά στοιχεία αυτά(κυρίως μέταλλα) μέσω τού φαινομένου τής διάχυσης χάνονται στά γύρω ιζήματα,αλλά σημαντικό ποσοστό παραμένει ώστε νά ενσωματωθεί στούς νεοσχηματιζομένους κονδύλους η επιφλοιώσεις.

(b).Αντιδράσεις προσρρόφησης-απορρόφησης που περιλαμβάνουν καί ιζήματα.

(c).Αντιδράσεις μεταξύ αμόρφων υδρο-οξειδίων Fe-Mn καί αυθυγενών πυριτικών ορυκτών.

Ο DYMOND κ.ά(1984) ανακάλυψαν δύο μηχανισμούς οι οποίοι δυνατόν νά αποδώσουν μέταλλα σέ νεοσχηματιζομένους κονδύλους καί επιφλοιώσεις εντός ιζημάτων σέ συνθήκες ελαφράς οξειδωτικής διαγέννεσης.Ο πρώτος από τούς μηχανισμούς αυτούς περιλαμβάνει μιά

χημική αντίδραση μεταξύ υδρο-οξειδίων καί διαλελυμμένου βιογενούς οπαλίου(SiO_2) πού έχει σάν αποτέλεσμα τόν σχηματισμό τού Νοντρονίτη(ορυκτό τής οικογένειας τού Σμηκτίτη).Στήν διάρκεια τής αντίδρασης αυτής τό SiO_2 καί Fe ενσωματώνονται στό πλέγμα τού Νοντρονίτη ενώ τό Mn καί στοιχεία όπως τό Ni,Cu,& Co απελευθερώνονται καί προσροφόνται στά νεοσχηματιζόμενα οξείδια Mn-Fe.Ο δεύτερος μηχανισμός προβλέπει τήν εξαλλοίωση αμόρφου κυρίως ηφαιστειακού υλικού(ηφαιστειακής υάλου)μέ αποτέλεσμα τόν σχηματισμό ζεολίθων χαμηλών θερμοκρασιών,κύρια Φιλλιπσίτη.Η αντίδραση αυτή αυξάνει τό τοπικό pH καί επιταχύνει τήν οξείδωση τού Mn^{+2} διευκολύνοντας έτσι τήν ανάπτυξη τών οξειδίων.

Συμπερασματικά μπορούμε νά πούμε ότι περισσότεροι τού ενός μηχανισμοί δυνατόν νά εξηγήσουν τό πώς τά κυριώτερα στοιχεία πού αποτελούν τούς κονδύλους καί επιφλοιώσεις Mn-Fe μπορούν νά ενσωματωθούν σ'αυτούς στήν διάρκεια τής δημιουργίας των υπό συνθήκες διαγέννεσης σέ ελαφρά οξειδωτικές συνθήκες.Σέ γενικές γραμμές μπορούμε νά πούμε ότι όταν υπάρχει υψηλή βιολογική δραστηριότητα σέ ωρισμένες ωκεάνειες περιοχές καί κατά συνέπεια υψηλή ροή βιολογικής προέλευσης χημικών στοιχείων τότε ο μηχανισμός (a)πού περιγράφτηκε πιό πάνω είναι πολύ σημαντικός.Αντίθετα σέ περιοχές χαμηλής βιολογικής δραστηριότητας οί μηχανισμοί (b)&(c) είναι οι επικρατέστεροι.

ii)Διαγέννεση σέ ημι-οξειδωτικές η ελαφρά αναγωγικές συνθήκες.

Στήν διάρκεια αυτού τού τύπου τής διαγέννεσης η όλη διαδικασία καθοδηγείται από τήν χρήση τών δευτερογενών ενώσεων πλουσίων σέ O2(δευτερογενής οξειδωτής) γιά τήν οξείδωση καί κατά συνέπεια Χποσύνθεση οργανικού άνθρακα.Αυτό συμβαίνει σέ κάποιο βάθος(έως λίγα μέτρα)εντός τών ιζημάτων.Τό MnO_2 λειτουργεί σάν ένας τέτοιος δευτερογενής οξειδωτής καί έτσι τά ιόντα Mn^{+2}(καθώς καί άλλα ιχν οστοιχεία πού συνδέονται μέ τά οξείδια MnO_2) ευρισκόμενα σέ ελαφρά αναγωγικό περιβάλλον(χαμηλό Eh) απελευθερώνονται στά ″εσωτερικά νερά″ τών πόρων τών ιζημάτων.Από εκεί μπορούν νά μεταναστεύσο ,ν πρός τούς ανωτέρους ορίζοντες τών ιζημάτων.Η πρός τά πάνω ανοδός των προκαλεί αύξηση τής συγκέντρωσης τών στοιχείων αυτών στά ″εσωτερικά νερά″ τών ιζημάτων τά οποία βρίσκονται στό ανώτερο σημείο τής στήλης,όπου συνήθως έχουμε τήν ζώνη οξείδωσης(υψηλό Eh).'Εκεί λαμβάνει χώρα οξείδωση τών ιόντων Mn^{+2} Mn^{+4},καί επανασχηματισμός MnO2.Είναι λοιπόν φανερό ότι τά στοιχεία πού συνεισφέρουν ουσιαστικά στην δημιουργία τών κονδύλων καί επιφλοιώσεων προσφέρονται από τά κάτω.Αυτή η περιοδική αποσύνθεση τής οργανικής ύλης υπό ελαφρές αναγωγικές συνθήκες,γεγονός πού συνεπάγεται καί περιοδική απελευθέρωση χημικών στοιχείων εμφανίζει τό εξής χαρακτηριστικό.Δέν απελευθερώνει σημαντικές ποσότητες Cu&Ni.'Ετσι σχηματίζεται Τοντοροκίτης πλούσιος σέ Mn.Αυτή η ποικιλία Τοντοροκίτη είναι λιγότερο σταθερή από τήν αντίστοιχη ποικιλία πού είναι πλούσια σέ Ni,Cu καί Zn καί μεταπίπτει σύντομα σέ Μπιρνεσσίτη μέ παράλληλη αφυδάτωση.

Αντιθέτως όπως τονίσθηκε ήδη πιό πάνω στή διάρκεια τής διαγέννεσης υπό ελαφρά οξειδωτικές συνθήκες η αποσύνθεση πλαγκτονικών οργανισμών μετά τόν θανατό τους(καί όχι λόγω οξείδωσης οργανικής ύλης)απελευθερώνει σχετικά σημαντικά ποσά Cu,Ni,Zn καί έχει σάν αποτέλεσμα τόν σχηματισμό Τοντοροκίτη καί μάλιστα συχνά ποικιλίας πού είναι πλούσια σέ Cu,Ni καί Zn.

13.Σχηματισμός Μεταλλευμάτων Κονδύλων Μαγγανίου

Τα κονδυλώδη μεταλλεύματα μαγγανίου τα οποία αντιπροσωπεύουν το τελευταίο διαγεννετικό μέλος της ήδη περιγραφείσης σειράς,αναγνωρίστηκαν αρχικά στον Ειρηνικό από τον Mero (1965).Περιέχουν Ni, Cu και Co ίσο ή και περισσότερο του 3%, είναι πλούσια σε μαγγάνιο, έχουν υψηλή αναλογία Mn/Fe, και περιέχουν Τοντοροκίτη σαν την κύρια ορυκτή φάση. Η έκτασή τους αναγνωρίσθηκε σαν σηματνική από μεταλλευτικές επιχειρήσεις και οι διάφορες έρευνες έδειξαν ότι καταλαμβάνουν μία εκτενή ζώνη του βορειο-ανατολικού Ειρηνικού. Βρίσκονται κάτω από το βόρειο περιθώριο της ζώνης του ισημερινού η οποία είναι υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας.Ετσι τα κοιτάσματα υπέρκεινται ενός εκτεταμένου πορώδους στρώματος πυριτικής ιλύος, βιογενούς κυρίως προέλευσης. Για τον σχηματισμό των αποθεμάτων αυτών, το βάθος τουθαλάσσιου βυθού είναι ζωτικής σημασίας σε σχέση με το βάθος αντισταθμίσματος του $CaCO_3$ (C.C.D). Τα περισσότερα υψηλών περιεκτικοτήτων αποθέματα στον βόρειο Ειρηνικό και σε μερικά μέρη επίσης του Νότιου Ειρηνικού (Paulot & Melguan,1979), βρίσκονται στο ή κάτω από το βάθος στο οποίο διαλύεται το ανθρακικό ασβέστιο και έτσι είναι ικανά να δεχθούν μέταλλα από την απ &σύνθεση βυθιζόμενων νεκρών βιολογικών οργανισμών.

Ο παράγοντας αυτός, μαζί με την διαγεννετική ανακτανομή των μετάλλων δια μέσου των ιζημάτων, πιστεύεται ότι είναι ο κύριος λόγος για την χαρακτηριστική σύνθεση των αποθεμάτων αυτών (Grennslate κ.α. 1973, Gronan, 1975a, Calvert & Price, 1977a και άλλοι). Παρακάτω δίνεται ένα απλουστευόμενο μοντέλο σχηματισμού κονδυλωδών μεταλλευμάτων στον Ειρηνικό με βάση τις εργασίες των Raab (1972), Horn και άλλοι (1973), Greenslate κ αι άλλοι (1973), Gronan (1975a), Marching και άλλοι (1976),Hartman & Muller (1976), Clvert & Price (1977a) και Burns &Burns (1978, 1979).

Οι οργανισμοί που περιέχουν μέταλλα τα οποία πήραν από το επιφανειακό θαλάσσιο νερό στην περιοχή υψηλής βιολογικής παραγωγικότητας στον Ειρηνικό, βυθίζονται μετά τον θάνατό τους στον ωκεάνειο βυθό. Και τα μαλακά και τα σκληρά μέρη τους είχαν αρχίσει να διαλύονται μέσα στη στήλη του νερού, κάποια τμήματα όμως από το μαλακό οργανικό υλικό φθάνει στο ωκεάνιο βυθό προστατευόμενο ίσως από εκτενή αποσύνθεση πάνω από το Λυσόκλινο από τα σκληρά μέρη. αυτά κατόπιν οξειδώνονται και διαλύονται μέσα στο ανώτατο τμήμα των ιζημάτων κάτω απότο Λυσόκλινο (βλ. Κεφ.Α). Επιπρόσθεται και άλλα μέταλλα μπορούν να παρθούν από το θαλάσσιο νερό με τη μορφή οργανικών συμπλοκών-κατιόντων και κύρια νικέλιο, χαλκός, ψευδάργυρος, καθώς βυθίζονται οι νεκροί οργανισμοί.

Η αποσύνθεση του βιογενούς υλικού στον βυθό και η αντίδραση του με φάσεις στο ίζημα καθώς και η ελευθέρωση των μετάλλων στα ενδιαμεσα νερά την ιζημάτων για τον σχηματισμό κονδύλων, προκαλεί μία τοπική μείωση τουδυναμικού οξειδοαναγωγής (Eh) των ανώτατων ιζημάτων γεγονός που προκαλεί διαγεννετική ανακατανομή των πιό κινητικών μετάλλων όπως το μαγγάνιο, και σχηματισμό κονδύλων πλουσίων σε todorokite. Αλλα μέταλλα όπως το νικέλιο και ο χαλκός διαχέονται μέσω των ανωτέρω τμηματων των ιζημάτων και έτσι ενσψματώνονται στον todorokite καθώς και στα θαμμένα τμήματα των κονδύλων μαγγανίου.

Η συγκέντρωση τέτοιων μετάλλων συνεχίζει να αυξάνει μέσω των κονδύλων όσο ο τοντοροκίτης συνεχίζει να σχηματίζεται σαν αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων που ακολουθούν τα φαινόμενα απόθεσης ενώ οι κόνδυλοι σαν σύνολο παραμένουν περατοί στα μεταλλοφόρα διαλύματα που κυκλοφορούν. Τα ανωτέρω τμήματα των κονδύλων δεχονται τα μέταλλά τους από το θαλάσσιο νερό. Οι υψηλές περιεκτικότητες σε Mn, Ni και Cu των κοιτασμάτων αυτών είναι έτσι 1) συνάρτηση ενός υψηλού τάχους προσφοράς των μετάλλων αυτών στα ιζήματα μέσω των βυθιζομένων νεκρών οργανισμών και της μετά την απόθεση ανακατανομής και 2) λόγω της παρουσίας στα κοιτάσματα αυτά της ορυκτής φάσης, todorokite, η οποία μπορεί να "φιλοξενήσει" εύκολα τα μέταλλα αυτά. Ο σχηματισμός κονδύλων κύρια σαν αποτέλεσμα "διάχυσης" των μετάλλων δια μέσω του ανωτέρω οξειδωμένου τμήματος των ιζημάτων από ανακινητοποίηση των μετάλλων από τα πιό βαθιά θαμμένα μη ιζήματα, όπου επικρατούν αναγωγικές συνθήκες όπως

πιστεύεται ότι είναι η περίπτωση των διαγεννετικών κονδύλων που σχηματίζονται στα ηπειρωτικά περιθώρια ίσως εν μέρει να επεξηγεί τις συνθετες διαφορές μεταξύ των δύο ποικιλιών. Στην τελευταία περίπτωση στοιχεία όπως το Ni, Cu, κ.α., μπορεί να παραμένουν πίσω, στην οργανική ύλη που διατηρείται μέσα στα σε αναγωγικές συνθήκες ευρισκόμενα ιζήματα. Στην περίπτωση των κονδυλωδών μεταλλευμάτων στονβορειο-ανατολικό Ειρηνικό κοντά στονΙσημερινό τα υποκείμενα ιζήματα, κάτω από βάθος λίγων εκατοστών είναι πολύ οξειδωμένα και περιέχουν λόγη ή καθόλου οργανική ύλη στην οποία τα παραπάνω ιχνοστοιχεία θυα μπορούσαν να ενσωματωθούν. Πρέπει επομένως στους κονδύλους ή μικροκονδύλους ή να διαχυθούν στο υπερκείμενο θαλασσινό νερό.

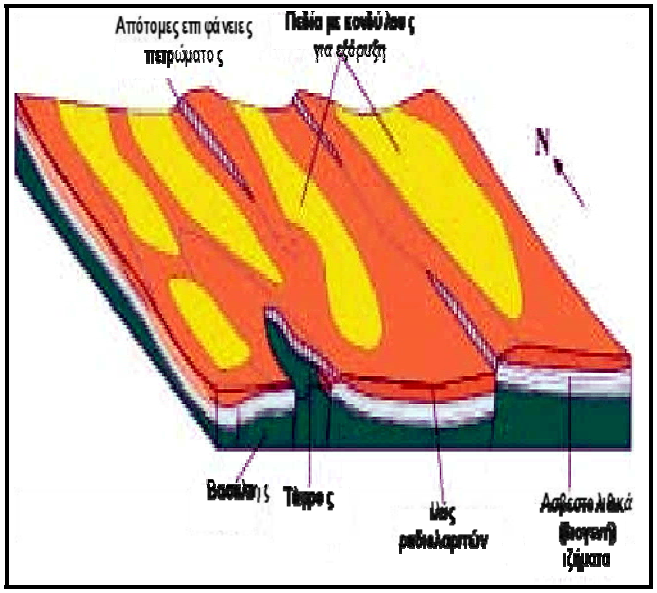
Σχετικά με αυτή την δεύτερη πιθανότητα ο Marching κ.α. (1976) παρατήρησαν ότι μερικά βασικά στοιχεία που είναι απαραίτητα για τον σχηματισμό κονδύλων, εμπλουτίζονται από το θαλασσινό νερό κοντά στο βυθό που υπέρκειται της ζώνης παρουσίας του μεταλλεύματος κονδύλου. Ετσι μέταλλα που ανακινητοποιούνται διαγεννετικά από ιζήματα στο θαλασσινό νερό μπορεί να συμβάλλουν στο κλάσμα των κονδύλων που καθιζάνουν απότο θαλασσινό νερό, καθώς και στο κλασμά που καθιζάνει εντός των ιζημάτων ή των κονδύλων στην επιφάνεια ιζήματος νερού.

14.Γεωγραφική κατανομή

Οι κόνδυλοι έχουν βρεθεί σε όλους τους ωκεανούς και ακόμη και σε λίμνες. Εντούτοις, οι κόνδυλοι οικονομικού συμφέροντος είναι εντοπισμένοι σε συγκεκριμένες περιοχές. Τρεις περιοχές έχουν επιλεχτεί από τις μεταλλευτικές εταιρείες : το κέντρο του βόρειου κεντρικού Ειρηνικού ωκεανού, την λεκάνη του Περού στον νοτιοανατολικό ειρηνικό ωκεανό και το κέντρο του βόρειου Ινδικού Ωκεανού.

Σε αυτές τις περιοχές, το βάθος του βυθού είναι 4.000 έως 5.000 μέτρα. Η τοπογραφία του βυθού διαμορφώνεται από αβυσσικούς λόφους,σε προέκταση Β-Ν σε συμφωνία με τα ίχνη του ωκεάνιου φλοιού. Τα ίχνη αντιστοιχούν στον τεμαχισμό του ωκεάνιου βασάλτη καθώς ο ωκεάνιος φλοιός επεκτείνεται εκατέρωθεν της μεσω-ωκεάνιας ράχης . Καθώς ο φλοιός απομακρύνεται από την μεσω-ωκεάνια ράχη καλύπτεται σταδιακά από τα ιζήματα.

Κατά συνέπεια, στο βόρειο Ειρηνικό, το πάχος των ιζημάτων αυξάνεται δυτικά από 50 σε 150 μ μεταξύ 120 και 155^{o} δυτικού γεωγραφικού μήκους. Στην (ΦΩΤ.Η7.) δίδεται μια συνθετική εικόνα για το πώς διαμορφώνεται το υποθαλάσσιο ανάγλυφο της περιοχής μαζί με το κοίτασμα των πολυμεταλλιών κονδύλων . Γεωστατιστική προσομοίωση βασισμένη στη συνεχή φωτογράφηση του βυθού παρουσιάζει τους τομείς που μπορεί να υποστούν εξόρυξη. Στις καλύτερες περιοχές, θα είναι 1 έως 5 χλμ. σε εύρος και 10 έως 18 χλμ. σε μήκος με έναν προσανατολισμό βορρά-νότου. Καλύπτουν περίπου το 35% του βυθού με μια μέση πυκνότητα κονδύλων 15 kgr./m ^{2} .



ΦΩΤ.Η7. Σκίτσο συνθετικής εικόνας για το πώς διαμορφώνεται το υποθαλάσσιο ανάγλυφο της περιοχής στον Β.Ειρηνικό μαζί με το κοίτασμα των πολυμεταλλιών κονδύλων.

Το συνολικό ποσό των πολυμεταλλικών κονδύλων που βρίσκεται στον πυθμένα θάλασσας υπολογίστηκε σε περισσότερους από 1,5 τρισεκατομμύριο τόνους από John Mero το 1965. Η εκτίμηση μειώθηκε σε 500 δισεκατομμύριο τόνους από A.A. Archer το 1981. Εντούτοις, δεν είναι όλες οι περιοχές με κονδύλους κατάλληλοι για τη μεταλλεία. Διάφορες προσπάθειες έγιναν για να υπολογισθούν τα πιθανά αποθέματα κονδύλων για μελλοντική ανάπτυξη. Αυτές οι προσεγγίσεις άρχισαν με τον καθορισμό του αριθμού των περιοχών εξόρυξης κονδύλων που οι παγκόσμιοι ωκεανοί θα μπορούσαν να διαθέτουν. Μια περιοχή εξόρυξης ορίστηκε ως ένα τμήμα του βυθού όπου μια εμπορική εκμετάλλευση θα μπορέσει να διατηρηθεί για 20-25 χρόνια με μια παραγωγή 1,5 έως 4 εκατομμύριο τόνων ετησίως των λεγομένων "καλών κονδύλων." Οι ¨καλοί κόνδυλοι¨ ορίστηκαν αυτοί που περιέχουν κατά μέσο όρο τουλάχιστον νικέλιο 1,25- 1,5%, χαλκό 1-1,4%, μαγγάνιο 27- 30% και 0,2- 0,25% κοβάλτιο. Η εκτίμηση του αριθμού των περιοχών ποίκιλε από 8 έως 225, το οποίο αντιστοιχεί σε έναν συνολικό δυνατό ύψος αποθεμάτων 480 έως 13.500 εκατομμυρίων τόνων. Οι περαιτέρω εκτιμήσεις, συμπεριλαμβανομένης της ικανότητας της παγκόσμιας αγοράς μετάλλων να απορροφήσει την παραγωγή κατά τη διάρκεια των πρώτων 20 ετών, και ορισμένες αυστηρότερες υποθέσεις εξόρυξης , μείωσαν αυτές τις περιοχές εξόρυξης σε 3- 10 με ένα αποθεματικό δυναμικό της τάξης των 100- 600 εκατομμυρίων τόνων. Οι υπολογισμοί αυτοί συνιστούν τα κατ’ εκτίμηση ¨δυνατά αποθέματα¨.

15.Τεχνολογίες Εξερεύνησης

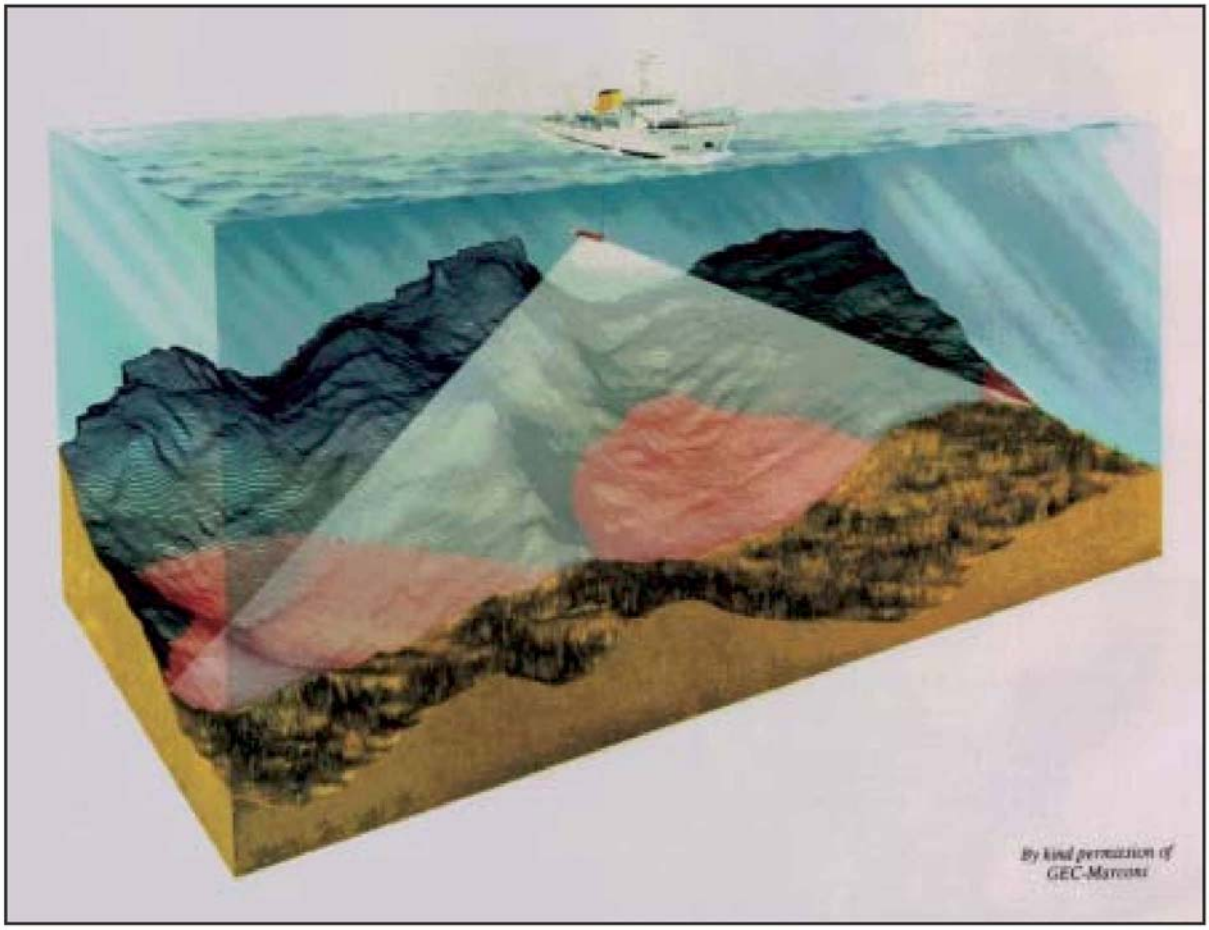
Διάφορες τεχνολογικές λύσεις έχουν επινοηθεί κατά τη διάρκεια της εξερεύνησης για τις πολυμεταλλικές αποθέσεις κονδύλων. Κατά τη διάρκεια αυτών των πολλών ετών έρευνας , σημαντικές βελτιώσεις έχουν γίνει στην τεχνολογία για τον εντοπισμό και τη δειγματοληψία αυτών των σχηματισμών.

Τοπογραφία του βυθού

Από τη δεκαετία του '30, Οι ηχητικές γεωφισικές μέθοδοι (ηχοβολιστικές μέθοδοι) (sonar) έχουν χρησιμοποιηθεί για να ερευνήσουν την τοπογραφία του ωκεάνιου βυθού. Οι συμβατικοί ηχοβολητές ηχού εκπέμπουν τα ηχιτικά κύματα σε έναν ευρυγώνιο κώνο (40 βαθμοί) που στέλνονται άμεσα κάτω από ένα σκάφος στον βυθό.Απο το χρονικό διάστημα που χωρίζει την εκπομπή ενός ηχητικού σήματος και την υποδοχή της ηχούς του από το βυθό, μπορεί να υπολογιστεί το βάθος, λαμβάνοντας υπόψη την ταχύτητα του ήχου στο νερό (περίπου 1.500 μέτρα ανά δευτερόλεπτο). Οι διαδοχικές αναγνώσεις βάθους, που μετριούνται καθώς το σκάφος μετακινείται , παρέχουν ένα σχεδιάγραμμα, ένα προφίλ, της τοπογραφίας κάτω από τη διαδρομή της. Για να χαρτογραφήσουν έναν συγκεκριμένο τμήμα του βυθού με ακρίβεια , ισοδιάστατες παράλληλες σειρές διαδρομών του πλοίου πρέπει να διανηθούν.

Στο τέλος της δεκαετίας του '70, η πολλαπλής δέσμης ηχοβολητές ηχούς έγιναν διαθέσιμοι. Αυτοί εκπέμπουν μια σειρά ακουστικών σημάτων σε χαμηλές συχνότητες σε ένα σχηματισμό όπως ένας ανεμιστήρας κάθετος στον άξονα του σκάφους. Κάθε εκπομπή οδηγεί σε ένα σύνολο μετρήσεων βάθους που αντιστοιχούν στα διαφορετικά σημεία κάτω από και στην πλευρά της διαδρομής του σκάφους. Σύγχρονα πολλαπλής δέσμης ηχοβολητές παράγουν περισσότερες από 150 μετρήσεις για κάθε προφίλ διαδρομής (υπολογίζοντας κατά μέσο όρο το κάθε προφίλ 130 μ), καλύπτωντας έτσι ένα πλάτος 20 χιλιομέτρων σε ένα βάθος 4.000 μ. Πολλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα μπορούν να προσδιοριστούν που ήταν προηγουμένως αόρατα. Ένας χάρτης παράγεται στο σκάφος μέσα σε ένα λεπτό, που καθιστά δυνατή την ανάγνωση σε πραγματικό χρόνο, την τοπογραφία μιας λουρίδας του βυθού σε κάθε διαδρομή.

Η σύνθεση των παρακείμενων λουρίδων γίνεται εύκολα από τον υπολογιστή. Με ένα προηγμένο σύστημα GPS που δίνει μια ακρίβεια 1 μέτρου , ο χάρτης που προκύπτει είναι τόσο ακριβής όσο οι καλύτεροι τοπογραφικοί χάρτες στην ξηρά σε μια κλίμακα 1 έως 25,000.(ΦΩΤ.Η8).



ΦΩΤ. Η8.Μοντέλο αποτύπωσης της τοπογραφίας του βυθού με ηχοβολιστή πολλαπλής δέσμης

Οι περισσότεροι εξερευνητές έχουν χρησιμοποιήσει τις συσκευές που λέγονται “εκσκαφείς με αρπάγη ελεύθερης πτώσης” “free-fall grabs” που μπορούν να κατεβούν στον βυθό να πάρουν δείγματα και φωτογραφίες, και επιστρέφουν στην επιφάνεια από μόνα τους. Σε κάθε κατάδυση οι συσκευές αυτές μπορούν να συλλέξουν μερικά κιλα κονδύλων από μια περιοχή 0,25 m^2 και να πάρουν φωτογραφίες που καλύπτουν 2 έως 4 m^2.

Με το συνδυασμό αυτών των πληροφοριών, μπορεί να υπολογιστεί η αφθονία κονδύλων στον βυθό σε κιλα ανά τετραγωνικό μέτρο.

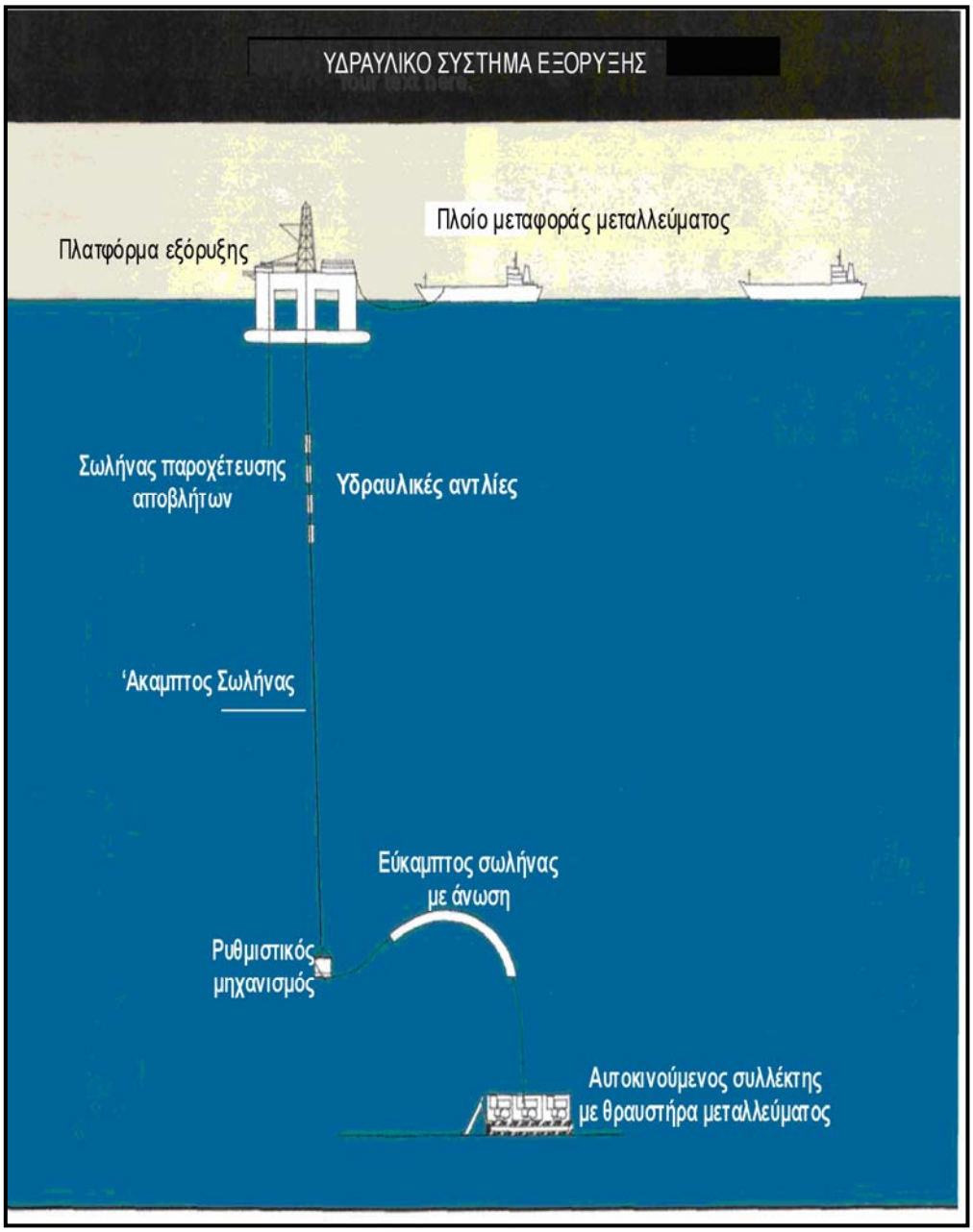
16.Τεχνολογίες Μεταλλείας

Οι τεχνολογίες που θα χρησιμοποιηθούν για την εξόρυξη και τον εμπλουτισμό θα καθορίσουν κατά ένα μεγάλο μέρος ποιες περιοχές είναι κατάλληλες για την εκμετάλλευση κονδύλων. Οι κόνδυλοι πρέπει να είναι αρκετά άφθονοι εάν πρόκειται να συλλεχθούν αποτελεσματικά από τις συσκευές μεταλλείας. Επίσης, πρέπει να είναι υψηλής περιεκτικότητας σε ότι αφορά τα επιθυμητά μέταλλα στο συνολικό όγκο, για τις μεταλλουργικές διαδικασίες ώστε να ανακτήσουν τα ζητούμενα προϊόντα οικονομικά.

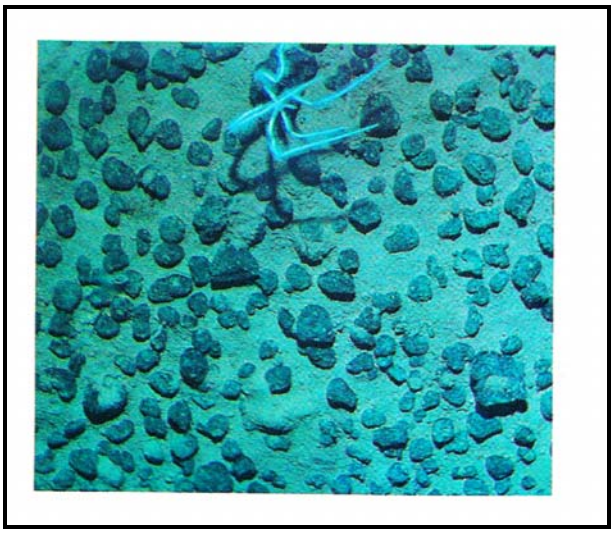
Ανάμεσα σε πολλές μεθόδους και συστήματα που δοκιμάσθηκαν διαδοχικά από την δεκαετία το ¨70 για την μεταλλεία των κονδύλων,τα περισσότερα απέτυχαν.

Τα υδραυλικά συστήματα που αναπτύχθηκαν πιο πρόσφατα φαίνονται τώρα να έχουν τη μέγιστη δυνατότητα για μια πιο ολοκληρωμένη προσπάθεια εξόρυξης των κονδύλων. Ένα τέτοιο σύστημα σχεδιάσθηκε από το 1988 από την Γαλλική εταιρεία GEMONOD και παρουσιάζεται στη **ΦΩΤ.Η9**. Αποτελείται από: μια ημικαταδυόμενη πλατφόρμα επιφάνειας, τύπου καταμαράν, έναν άκαμπτο σωλήνένα από χάλυβα μήκους 4,800m σειρά, και μια εύκαμπτη μάνικα(υδροσωλήνα), 600 μ μακριά και με μια εσωτερική διάμετρο 38-εκατοστόμετρων, που συνδέει το κατώτατο σημείο του άκαμπτου σωλήνα με έναν βυθοκόρο στο βυθό. Αυτή η υδροσωλήνα σχηματίζει ένα τόξο, που επιτρέπει στο βυθοκόρο να παρεκκλίνει από τη διαδρομή που

ακολουθείται με την πλατφόρμα επιφάνειας ώστε να αποφευχθούν τα εμπόδια. Η αυτοπροωθούμενη βυθοκόρος(συλλέκτης) θα έχει 18 μ. μήκος, 15 μ. πλάτος και 5 μ. ύψος, θα έχει βάρος 330 τόνους για μια πλευστότητα (άνωση) 78 τόνων.Η βαθυκόρος αυτή συρόμενη στον βυθό θα συλλέγει τους κονδύλους **(ΦΩΤ.Η10.)** και θα τους προωθεί για την άντληση μέσω του εύκαμπτου υδροσωλήνα.
Οι μεταφορείς μεταλλεύματος θα μεταφέρουν τους κονδύλους από το σκάφος μεταλλείας **(ΦΩΤ.Η11.)** στο λιμένα, όπου θα βρίσκονται οι εγκαταστάσεις επεξεργασίας. Οι κόνδυλοι θα μεταφέρονται, προς και από τους μεταφορείς μεταλλεύματος, ως παχύς πηλός, που αντλείται μέσω του εύκαμπτου υδροσωλήνα. Στην περιοχή επεξεργασίας ο παχύρευστος αυτός πηλός των κονδύλων θα αποθηκεύεται σε τεχνικές λίμνες.
Η Ινδία αναπτύσσει αυτήν την περίοδο ένα παρόμοιο όχημα μεταλλείας που προγραμματίζει να το δοκιμάσει μεταξύ 2007- 08.



ΦΩΤ.Η9.Ένα από τα πλέον πρόσφατα σχεδιαζόμενα συστήματα μεταλλείας κονδύλων



ΦΩΤ.Η10. Εμφάνιση κονδύλων στον θαλάσσιο βυθό

ΦΩΤ.Η11. Συλλογή και μεταφορά των κονδύλων μετά την εξόρυξή τους.

17. Τεχνολογίες Επεξεργασίας Κονδύλων

Πολλές μέθοδοι έχουν δοκιμασθεί για το πώς θα γίνει η κατεργασία, ο εμπλουτισμός των πολυμεταλλικών κονδύλων. Αρχικά η εξαγωγή μόνο τριών μετάλλων εξετάστηκε: δηλαδή νικέλιο, χαλκός και κοβάλτιο. Μετά από το 1978, το μαγγάνιο προστέθηκε με στόχο την αύξηση του συνολικού εισοδήματος και παράλληλα την μείωση του ποσού των αποβλήτων. Οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται είναι δύο τύπων: **υδρομεταλλουργία**, κατά την οποία τα μέταλλα αποπλένονται (αποχωρίζονται) από τους κονδύλους με όξινα (υδροχλωρικό ή θειικό) ή βασικά αντιδραστήρια (αμμωνία), και **η τήξη του μεταλλεύματος** στην διάρκεια της οποίας τα υδροξείδια ανάγωνται (στερούνται του οξυγόνου) σε υψηλές θερμοκρασίες και τα λειωμένα μέταλλα αποχωρίζονται με την βοήθεια της βαρύτητας.

18. Εκτίμηση της Οικονομικής Αξίας Κονδύλων& Επιφλοιώσεων

Σε γενικές γραμμές η προσέγγιση σε ότι αφορά την εκτίμηση της οικονομικής αξίας των υποθαλλάσιων ΟΠΥ έχει κοινά σημεία με την αντίστοιχη προσέγγιση για τις χερσαίες ΟΠΥ. Στην περίπτωση βέβαια των κονδύλων Mn τέτοια προσέγγιση συχνά διαφέρει με την αντίστοιχη προσέγγιση που θα γίνει για τις επιφλοιώσεις οξειδίων Fe-Mn αφ'ενός μεν γιατί υπάρχει διαφοροποίηση στις φυσικοχημικές συνθηκες που διαμορφώνουν την σύσταση και εξάπλωσή τους, αφ'ετέρου δε γιατί τα αναγκαία για μία τέτοια προσέγγιση στατιστικά δεδομένα – σε ότι αφορά τις επιφλοιώσεις – είναι περισσότερα και πιό δύσκολα προσδιορίσιμα. Για τους κονδύλους Mn είναι πιό σωστό – και ήδη εφαρμόζεται στην πράξη – να αντικατασταθεί η έννοια των τόσων χιλιάδων ή εκατομμυρίων τόννων κοιτάσματος από τις έννοιες του αριθμού των κονδύλων ανά μονάδα επιφάνειας (π.χ. αριθμός κονδύλων ανά km^2) την κατανομή του μεγέθους του κονδύλου, τις μεταβολές στην πυκνότητα του κονδύλου, και στον συσχετισμό μεταξύ περιεχομένων μετάλλων συναρτήσει του μεγέθους του κονδύλου. Παρομοίως η μέση περιεχόμενη περιεκτικότητα μετάλλου στο κοίτασμα αντικαθίσταται από τις έννοιες της συγκέντρωσης των μετάλλων και το μέγεθος.

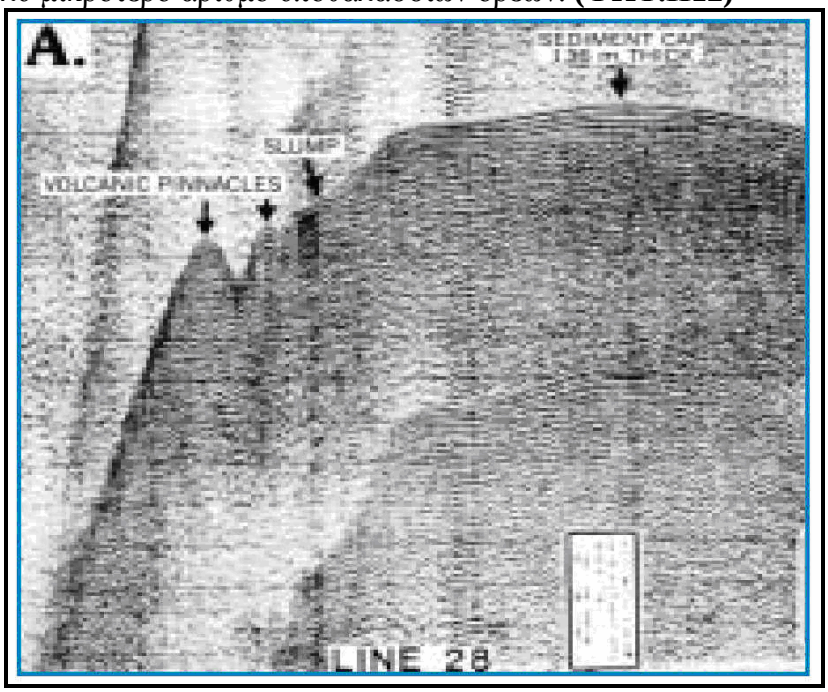
Περαιτέρω και σε ότι αφορά την εκτίμηση της οικονομικής αξίας κονδύλων και επιφλοιώσεων Mn , πρέπει – συνοπτικά αναφερόμενοι – να προωθηθούν περισσότερο οι παρακάτω ενέργειες :

α. Ειδικές μελέτες για την εξαγωγή δεδομένων σχετικά με την περιγραφή της μελλοντικής περιοχής εκμετάλλευσης, και συγκεκριμένα : Τον αριθμό των κονδύλων ανά μονάδα επιφάνειας, το πάχος των επιφλοιώσεων, την κατανομή της συχνότητας μεταβολών του αριθμού κονδύλων ή πάχους επιφλοιώσεων ανά μονάδα επιφάνειας, κλπ.

β. Την δημιουργία ολοκληρωμένων μοντέλων για την εξόρυξη κονδύλων Mn καθώς και μοντελοποίηση των οικονομικών παραμέτρων των κονδύλων μέσα σε ένα δυναμικό σύστημα προσφοράς ζήτησης μετάλλων και τιμών διεθνούς αγοράς.

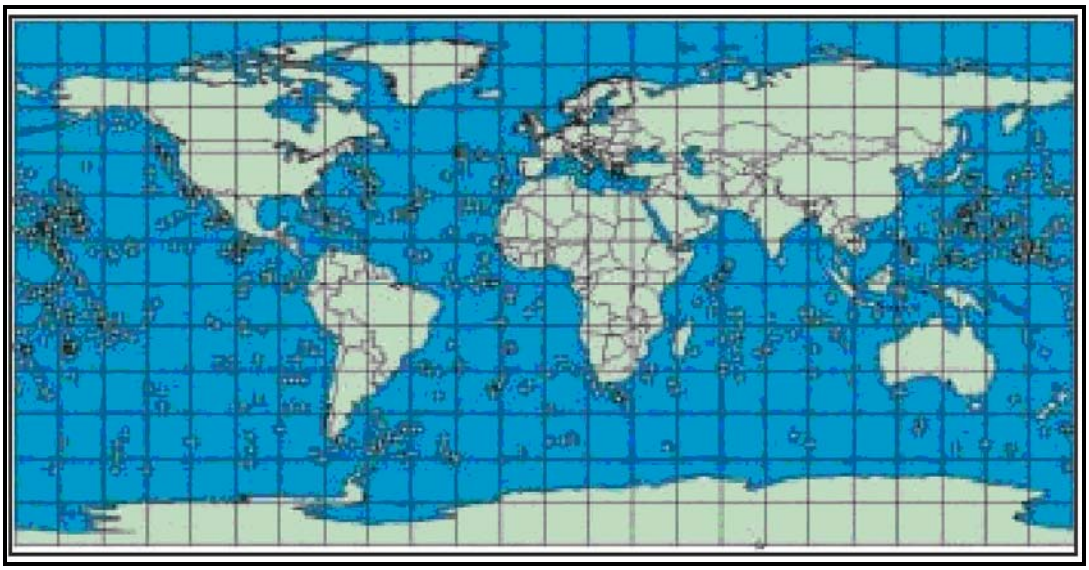
Η2. ΕΠΙΦΛΟΙΩΣΕΙΣ ΥΔΡΟΟΞΕΙΔΙΩΝ Mn-Fe ΠΛΟΥΣΙΩΝ ΣΕ Co

Οι οξειδωμένες αποθέσεις επιφλοιώσεων υδρο-οξειδίων Mn-Fe πλουσίων σε βρίσκονται σε όλους τους ωκεανούς στα πλευρά και τις κορυφές των υποθαλασίων ορέων (υποθαλάσια βουνά), στις κορυφογραμμές και τα πλατώ , όπου τα ισχυρά ρεύματα του θαλάσσιου πυθμένα έχουν σαρώσει και έχουν απομακρύνει από τον ωκεάνιο βυθό τα ιζήματα για εκατομμύρια χρόνια. Αυτά τα υποθαλάσσια όρη μπορούν να είναι πολύ εκτεταμένα, μερικά τόσο εκτεταμένα όσο οι αντίστοιχες οροσειρές στις ηπείρους. Μόνο μερικά από τα κατ' εκτίμηση 50.000 υποθαλάσσια όρη που εμφανίζονται στον Ειρηνικό, όπου έχουμε και τις πλουσιότερες αποθέσεις υδρο-οξειδίων Mn-Fe πλούσιων σε Co , έχουν χαρτογραφηθεί και έχουν δειγματισθεί λεπτομερώς. Ο Ατλαντικός και ο Ειρηνικός ωκεανός εμφανίζουν πολύ μικρότερο αριθμό υποθαλασσίων ορέων. **(ΦΩΤ.Η12)**



ΦΩΤ.Η12. Προφίλ από σεισμική ανάκλαση υποθαλάσσιου βουνού από τον κεντρικό ειρηνικό ωκεανό

Τα ορυκτα υδρο-οξείδια Mn-Fe πλούσιων σε Co έχουν σχηματισθεί από το κρύο περιβάλλον νερό της θάλασσας επάνω στην επιφάνεια των υποθαλασσίων ιζημάτων , πιθανότατα με τη βοήθεια της βακτηριακής δραστηριότητας η οποία δρά ως καταλύτης . Οι επιφλοιώσεις διαμορφώνουν ολόκληρα μπλόκς πάχους μέχρι 25 εκατοστόμετρα και έκτασης πολλών τετραγωνικών χλμ. σε κάθε περιοχή που εμφανίζονται . Σύμφωνα με μια εκτίμηση, περίπου 6,35 εκατομμύρια τετραγωνικά χιλιόμετρα, ή 1,7% του συνολικού ωκεάνιου φλοιού, καλύπτονται από τις επιφλοιώσεις υδρο-οξειδίων Mn-Fe πλούσιων σε Co , που μεταφράζονται σε περίπου 1 δισεκατομμύριο τόνους σε κοβάλτιο. (ΦΩΤ.Η13.)



ΦΩΤ.Η13. Ωκεάνιες περιοχές στις οποίες έγινε δειγματοληψία και έρευνα για επιφλοιώσεις υδρο-οξειδίων Mn-Fe πλούσιων σε Co

Οι επιφλοιώσεις δεν σχηματίζονται σε περιοχές όπου τα ιζήματα καλύπτουν την επιφάνεια του βυθού. Βρίσκονται σε βάθη νερού περίπου 400-4.000 μέτρων, σε αντίθεση με τους κονδύλους μαγγάνιου οι οποίοι εμφανίζονται μεταξύ 4000-5000 μέτρων. Οι παχύτερες επιφλοιώσεις και οι πλουσιότερες σε κοβάλτιο, εμφανίζονται στις εξωτερικές περιφέρειες και στις ευρείες ράχεις στις βουνοκορυφές των υποθαλασσίων ορέων, σε βάθη μεταξύ 800-2.500 μέτρων.
Οι επιφλοιώσεις αυξάνονται γενικά σε ποσοστό ενός μοριακού στρώματος κάθε 1-3 μήνες, ή 1-6 χιλιοστόμετρα ανά εκατομμύριο έτη, μια από τις πιό αργές φυσικές διαδικασίες του πλανήτη μας. Συνεπώς, μπορεί να πάρει μέχρι 60 εκατομμύρια έτη για να διαμορφωθεί μια παχιά κρούστα.(ΦΩΤ.14.)

ΦΩΤ.Η14. Επιφλοιώσεις υδρο-οξειδίων Mn-Fe πλουσίων σε Co σε υποθαλάσσιο όρος.

Μερικές κρούστες(επιφλοιώσεις) παρουσιάζουν στοιχεία δύο περιόδων σχηματισμού στη διάρκεια των τελευταίων 20 εκατομμυρίων ετών με μια διακοπή στην προσαύξηση οξειδίων σιδηρομαγγανίου κατά τη διάρκεια του ανωτέρου Μειοκαίνου πριν δηλαδή 8 έως 9 εκατομμύριο έτη πριν, όταν υπήρξε

ένα ευρείας κλίμακας επεισόδιο φωσφωρογέννεσης στο παγκόσμιο ωκεάνιο σύστημα. Ο διαχωρισμός μεταξύ των παλαιότερων και νεώτερων αποθέσεων μπορεί να είναι μια σημαντική ένδειξη για τον προσδιορισμό παλαιοτέρων και έτσι πλουσιοτέρων επιφλοιώσεων. Το γεγονός της συχνής ύπαρξης πλουσιοτέρων επιφλοιώσεων σε μεγαλύτερα βάθη στα οποία η περιεκτικότητα του θαλασσίου ύδατος σε οξυγόνο είναι ελαχίστη ώθησε πολλούς ερευνητές να αποδώσουν περιστατικό των πλουσιότερων καταθέσεων στα βάθη όπου το ύδωρ περιέχει το ελάχιστο μέρος του εμπλουτισμού σε κοβάλτιο στη χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο του νερού της θάλασσας.
Βασισμένοι στις περιεκτικότητες, στο αποθεματικό δυναμικό και τις ωκεανογραφικές συνθήκες, η κεντρική ισημερινή περιοχή του Ειρηνικού ωκεανού προσφέρει την καλύτερη δυνατότητα για την εκμετάλλευση των επιφλοιώσεων αυτών ιδιαίτερα στις αποκλειστικές οικονομικές ζώνες γύρω από το νησί Johnston και τη Χαβάη (Ηνωμένες Πολιτείες), τα νησιά Marshall, τα ομόσπονδα κρατίδια της Μικρονησίας και διεθνή νερά στο μέσο του Ειρηνικού ωκεανού. Επιπλέον, οι επιφλοιώσεις από τα πιο ρηχά νερά περιέχουν το μέγιστο ποσοστό των μεταλλευμάτων, ένα σημαντικό παράγοντα για την μελλοντική εκμετάλλευση.(Οι αποκλειστικές οικονομικές ζώνες είναι ωκεάνιες περιοχές που επεκτείνονται 200 μίλια προς την θάλασσα από τις παράκτιες βασικές γραμμές, μέσα στις οποίες τα παράκτια κράτη έχουν τα αποκλειστικά δικαιώματα έρευνας-εκμεάλλευσης των κάθε είδους φυσικών τους πόρων.)

Χαρακτηριστικά και σύσταση

Εκτός από το κοβάλτιο, οι επιφλοιώσεις αυτές είναι μια σημαντική πιθανή πηγή για πολλά άλλα στοιχεία μεταλλικά στοιχεία και σπάνιες γαίες όπως το Ti, Ce, Ni, Pt, Mn, P, Ta, Te, Zr,W,Bi και το Mo. Οι επιφλοιώσεις αποτελούνται από τα ορυκτά Βερναδίτης (Vernadite) (οξείδιο μαγγάνιου) και Φεροξύτης (feroxyhyte) (οξείδιο σιδήρου). Σε μεγλαλου πάχους επιφλοιώσεις υπάρχουν ενδιάμεσα ποσοστά φθοριοαπατίτη ενώ οι περισσότερες επιφλοιώσεις περιέχουν μικρές ποσότητες χαλαζία και αστρίων. Οι επιφλοιώσεις περιέχουν υψηλά ποσοστά κοβαλτίου, μέχρι 1,7% ενώ μεγάλες περιοχές μεμονωμένων υποθαλασσίων ορέων μπορούν να περιέχουν επιφλοιώσεις με μέση περιεκτικότητα σε κοβάλτιο μέχρι 1%. Αυτές οι περιεκτικότητες κοβαλτίου είναι πολύ υψηλότερες απ'ό,τι στα χερσαία κοιτάσματα τα οποία εμφανίζουν περιεκτικότητες σε κοβάλτιο μεταξύ 0,2-0,1%. Μετά από το κοβάλτιο, ο σημαντικότερα από πλευράς οικονομικότητας είναι κατά σειρά:Ti, Ce,Ni, και Zr.
Μια άλλη σημαντική διαπιστωση είναι η αντίθεση στις φυσικές ιδιότητες μεταξύ των επιφλοιώσεων και των πετρωμάτων πάνω στα οποία δημιουργούνται και αυξάνονται. Η ύπαρξη των σχηματισμών αυτών πάνω σε μια ευρεία ποικιλία τύπων πετρωμάτων και το μικρό τους μέγεθος δημιουργεί δυσκολίες στον διαχωρισμό τους από τα φιλοξενούντα πετρώματα κατά την χρησιμοποίηση των συνηθισμένων τεχνικών τηλεπισκόπησης. Εντούτοις, οι επιφλοιώσεις μπορούν να διακριθούν από τα φιλοξενούντα πετρώματά τους από τα πολύ πιό υψηλά επίπεδά της ακτινοβολίας- γ. Κατά συνέπεια, η τηλεπισκόπηση μέσω της γ- ακτινοβολίας μπορεί να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο κατά την εξερεύνηση για τις επιφλοιώσεις που βρίσκονται κάτω από μια μικρού πάχους κάλυψη ιζημάτων, και για τη μέτρηση του πάχους των επιφλοιώσεων στα υποθαλάσσιακ όρη.
Οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις που ασχολούνται με την μελλοντική εκμετάλλευση των σχηματισμών αυτών ψάχνουν για κάποια ειδικά χαρακτηριστικά στις περιοχές έρευνας. Αυτά περιλαμβάνουν μεγάλα υποθαλάσσια όρη πιό ρηχά από 1.000-1.500 μέτρα, πιό παλία από 20 εκατομμύρια έτη σε ότι αφορ΄την γεωλογική τους ηλικία και μην είναι καλυμμένα από μεγάλες ατόλλες ή υφάλους , να βρίσκονται σε περιοχές με ισχυρά και διαρκή υποθαλάσσια ρευμάτα, και σε μια ρηχή και καλά ανεπτυγμένη ζώνη χαμηλής περιεκτικότητας οξυγόνου των υπερκειμένων υδάτων και σε περιοχές που να είναι απομονωμένες από μια άφθονη εισροή χερσογενών υλικών από ποταμούς ή ανεμογενών μικροσκοπικών κορρημάτων. Επιπλέον, θα ερευνήσουν για ένα υποθαλάσσιο ανάγλυφο χωρίς πάρα

πολλές διακυμάνσεις, που να βρίσκεται στις εξωτερικές περιφέρειες και στις ευρείες ράχεις στις βουνοκορυφές των υποθαλασσίων ορέων, σε βάθη μεταξύ 800-2.500 μέτρων, με σταθερή κλίση και χωρίς τοπική ηφαιστειότητα. Η προτίμησή τους θα είναι για τη μέση περιεκτικότητα σε κοβάλτιο τουλάχιστον 0,8% και ένα μέσο όρο πάχους επιφλοιώσεων τουλάχιστον 4 cm.

Βιομηχανικές χρήσεις

Τα μέταλλα που υπάρχουν σε υψηλές περιεκτικότητες στις επιφλοιώσεις που είναι πλούσιες σε Co - ειδικότερα Co, Mn και Ni νικέλιο - χρησιμοποιούνται για να προσθέσουν συγκεκριμένες ιδιότητες στο χάλυβα, όπως η σκληρότητα, η δύναμη και η αντίσταση στη διάβρωση. Στις βιομηχανικές χώρες, ποσοστό μεταξύ 25-50 % της κατανάλωσης σε Co χρησιμοποιείται από την αεροδιαστημική βιομηχανία στα υπερκράματα. Τα παραπάνω μέταλλα χρησιμοποιούνται επίσης στις βιομηχανίες χημικών ουσιών και υψηλής τεχνολογίας, για ειδικά προϊόντα όπως τα φωτοβολταϊκά και ηλιακά κύτταρα, τους υπεραγωγούς, τα προηγμένα συστήματα λέιζερ, τους καταλύτες, τα κύτταρα καυσίμων και τους ισχυρούς μαγνήτες, καθώς επίσης και για τα τέμνοντα εργαλεία.

Οι έρευνες μέχρι σήμερα

Η πρώτη συστηματική έρευνα για τις επιφλοιώσεις διεξήχθη το 1981 στον κεντρικό ειρηνικό ωκεανό. Οι πρώτες έρευνες εκτελέσθηκε από επιστημονικές ομάδες από τη Γερμανία, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την τότε ΕΣΣΔ (αργότερα η ρωσική ομοσπονδία), την Ιαπωνία, τη Γαλλία, το Ηνωμένο Βασίλειο, την Κίνα και την Δημοκρατία της Κορέας. Οι πιό λεπτομερείς μελέτες αφορούσαν τις αποθέσεις επιφλοιώσεων στον ισημερινό Ειρηνικό, συνήθως μέσα στις αποκλειστικές οικονομικές ζώνες των νησιωτικών κρατών. Περίπου 42 ερευνητικές κρουαζιέρες (1981-2001) μελέτησαν τις πλούσιες σε Co επιφλοιώσεις μαζί με άλλες υποθαλάσσιες ΟΠΥ στον Ειτρηνικό πραγματοποιώντας συνολικές δαπάνες περίπου 70-100 εκατομμυρίων $ ΗΠΑ για την εργασία υπαίθριου και την έρευνα.

Μελλοντικές έρευνες και εκμετάλλευση

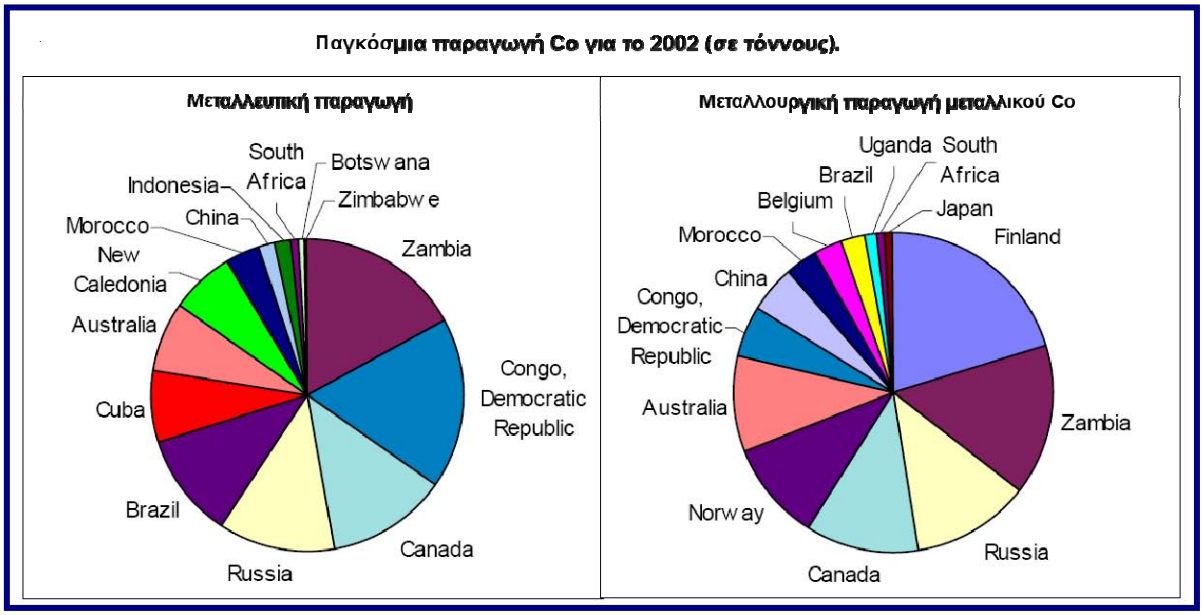
Για να εντοπισθούν οι πιθανές περιοχές οι οποίες θα είναι οι πλέον πρόσφορες για μελλοντική αξιοποίηση οι μεταλλευτικές επιχειρήσεις ή οι ερευνητικοί φορείς θα πρέπει αρχικά να αναπτύξουν λεπτομερείς χάρτες των αποθέσεων επιφλοιώσεων και μια εμπεριστατωμένη λεπτομερούς κλίμακας εικόνα της τοπογραφίας των υποθαλασσίων ορέων, όπου συνήθως τις βρίσκουμε συμπεριλαμβανομένων των σεισμικών προφίλς.Μόλις προσδιοριστούν οι περιοχές δειγματοληψίας, τότε επιστρατεύονται οι ελκόμενες βυθοκόροι, οι δειγματοληπτικές συσκευές γεωτρήσεων πυρήνων, τα σόναρς και οι τηλεοπτικές φωτογραφικές μηχανές προκειμένου να διαπιστώσουν τις επιφλοιώσεις ,την κατανομή τους τα πετρώματα, τους τύπους και την κατανομή των ιζημάτων με τα οποία συνδέονται. Τα μεγάλα, καλά εξοπλισμένα ερευνητικά ωκεανογραφικά σκάφη θα απαιτηθούν για να υλοποιήσουν τις γεωφυσικές έρευνες , να φέρουν τον ρυμουλκημένο εξοπλισμό, και για να χειριστούν έναν μεγάλο αριθμό δειγμάτων. Τα επανδρωμένα υποβρύχια σκάφη ή τα τηλεχειριζόμενα οχήματα θα απαιτηθούν στα μεταγενέστερα στάδια. Για την περιβαλλοντική εκτίμηση των επιπτώσεων από μελλοντική εκμετάλλευση , χρησιμοποιούνται ο βιολογικός εξοπλισμός δειγματοληψίας και ειδικά αγκυροβόλια για μετρήσεις .

Η εξόρυξη των επιφλοιώσεων είναι τεχνικά πολύ δυσκολότερη από την εξόρυξη των κονδύλων Mn. Η ανάκτηση των κονδύλων είναι ευκολότερη επειδή επικάθονται σε ένα υπόστρωμα χαλαρού ιζήματος, ενώ οι επιφλοιώσεις είναι χαλαρά ή και έντονα συνδεμένες με τα υποκείμενα πετρώματα. Για την

επιτυχή εξόρυξη των επιφλοιώσεων, είναι ουσιαστικό να ανακτηθούν χωρίς την συλλογή μεγάλης ποσότητας των υποκειμένων πετρωμάτων, τα οποία θα αραίωναν ουσιαστικά την ποιότητα του μεταλλεύματος. Μια πιθανή μέθοδος ανάκτησης επιφλοιώσεων συνίσταται στην χρήση ενός οχήματος που σαρώνει σε αρκετό βάθος τον θαλάσσιο βυθό που συνδέεται με ένα σκάφος επιφάνειας από ένα σύστημα υδραυλικά ανελκυομένου αγωγού ανελκυστήρων υδραυλικός-σωλήνων και ένα ηλεκτρικό καλώδιο. Οι αρθρωμένοι κόπτες στο όχημα που σαρώνει τον βυθό θα τεμαχίζουν τις επιφλοιώσεις ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις εξορυσσόμενες ποσότητες των υποκειμένων πετρωμάτων. Έξω από την Ιαπωνία, έχει υπάρξει περιορισμένης κλίμακας έρευνα και ανάπτυξη στις τεχνολογίες μεταλλείας για τις επιφλοιώσεις . Είναι πάντως γεγονός ότι βρισκόμαστε ακόμη στην αρχή και η ανάπτυξη αυτής της τεχνολογίας είναι στα σπάργανα.

Οικονομικοί παράγοντες

Εκτός από την υψηλή περιεκτικότητα σε κοβάλτιο έναντι των άλλων τύπων κονδύλων μαγγάνιου, η μελλοντική εξόρυξη των επιφλοιώσεων θεωρείται επειδή οι υψηλής ποιότητας επιφλοιώσεις εμφανίζονται μέσα στις αποκλειστικές οικονομικές ζώνες των νησιωτικών κρατών, σε μικρότερα βάθη πιό κοντά στις εγκαταστάσεις ακτών. Η αναγνώριση προς το τέλος της δεκαετίας του '70 της οικονομικής προοπτικής των επιφλοιώσεων ενισχύθηκε από το γεγονός ότι η τιμή του κοβαλτίου ανέβηκε στα ύψη το 1978 ως αποτέλεσμα του εμφυλίου πολέμου στις περιοχές μεταλλείας του Ζαϊρ (τώρα Λαϊκή Δημοκρατία του Κογκό), που παραμένει παγκοσμίως ο μεγαλύτερος παραγωγός κοβαλτίου, και από τότε με μικρές διακυμάνσεις παραμένει σε υψηλά επίπεδα.. Με τη συνεχή πτώση παραγωγής σε εκείνη την χώρα, μέχρι το 2002 η Ζάμπια, ο Καναδάς και η Ρωσική Ομοσπονδία μαζί με την Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό εξόρυξαν συνολικά περισσότερο από τη μισή παγκόσμια παραγωγή ορυχείων περίπου σε 34.250 τόνων (βλπ. ΦΩΤ.Η 15.)



ΦΩΤ.Η15. Διαγράμματα στα οποία φαίνονται οι σημαντικότερες χώρες που εξορύσσουν μεταλλεύματα Co και χώρες που επεξεργάζονται το μετάλλευμα παράγοντας μεταλλικό Co

Στον παρακάτω Πίνακα Η3. δίνεται για παράδειγμα η αξία των περιεχομένων μετάλλων(σε τιμές μετάλλων 1999) σε 1 τόνο επιφλοιώσεων υδρο-οξειδίων Mn-Fe πλουσίων σε Co, προκειμένου να δειχθεί η μεγάλη οικονομική σημασία της μελλοντικής εξόρυξης τέτοιων σχηματισμών.

Πίνακας Η3.Αξία περιεχομένων μετάλλων σε 1 μετρικό τόνο επιφλοιώσεων Mn-Fe πλουσίων σε Co

	Μέση τιμή μετάλλου για το 1999 $US/kg)	**Μέση περιεκτικότητα του μετάλλου στις επιφλοιώσεις (ppm)**	**Αξία ανά μετρικό τόνο μεταλλεύματος ($US)**
Co (Cobalt)	$39.60	6899.00	$273.20
Ti (Titanium)	7.70	12035.00	92.67
Ce (Cerium)	28.00	1605.00	44.94
Zr (Zirconium)	44.62	618.00	27.58
Ni (Nickel)	6.60	4125.00	27.23
Pt (Platinum)	13,024.00	0.5	6.37
Mo (Molybdenum)	8.80	445.00	3.92
Te (Tellurium)	44.00	60.00	2.64
Cu (Copper)	1.65	896.00	1.48
Total			**$480.03**

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Θ

ΠΟΛΥΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΣΟΥΛΦΙΔΙΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ

Α. ΓΕΝΙΚΑ

Το σύστημα των μεσο-ωκεάνιων ράχεων της γης είναι μία ενεργά ηφαιστειακή περιοχή του θαλάσσιου βυθού μήκους μερικών δεκάδων χιλιάδων χιλιομέτρων, κατά μήκος της οποίας έχουμε το σχηματισμό νέου ωκεάνιου φλοιού. Μαζί με αυτό το φαινόμενο είναι συνδεδεμένη και η από πλύση της πρόσφατης στερεοποίησης ή υπό στερεοποίηση λάβας από το κυκλοφορούν θαλασσινό νερό. Η διεργασία αυτή έχει σαν συνέπεια τον σχηματισμό υδροθερμικών διαλυμάτων πλούσιων σε ορισμένα μέταλλα. Η σύσταση των διαλυμάτων που προκύπτουν από την διεργασία της απόπλυσης της λάβας είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων ανάμεσα στους οποίους οι σπουδαιότεροι είναι

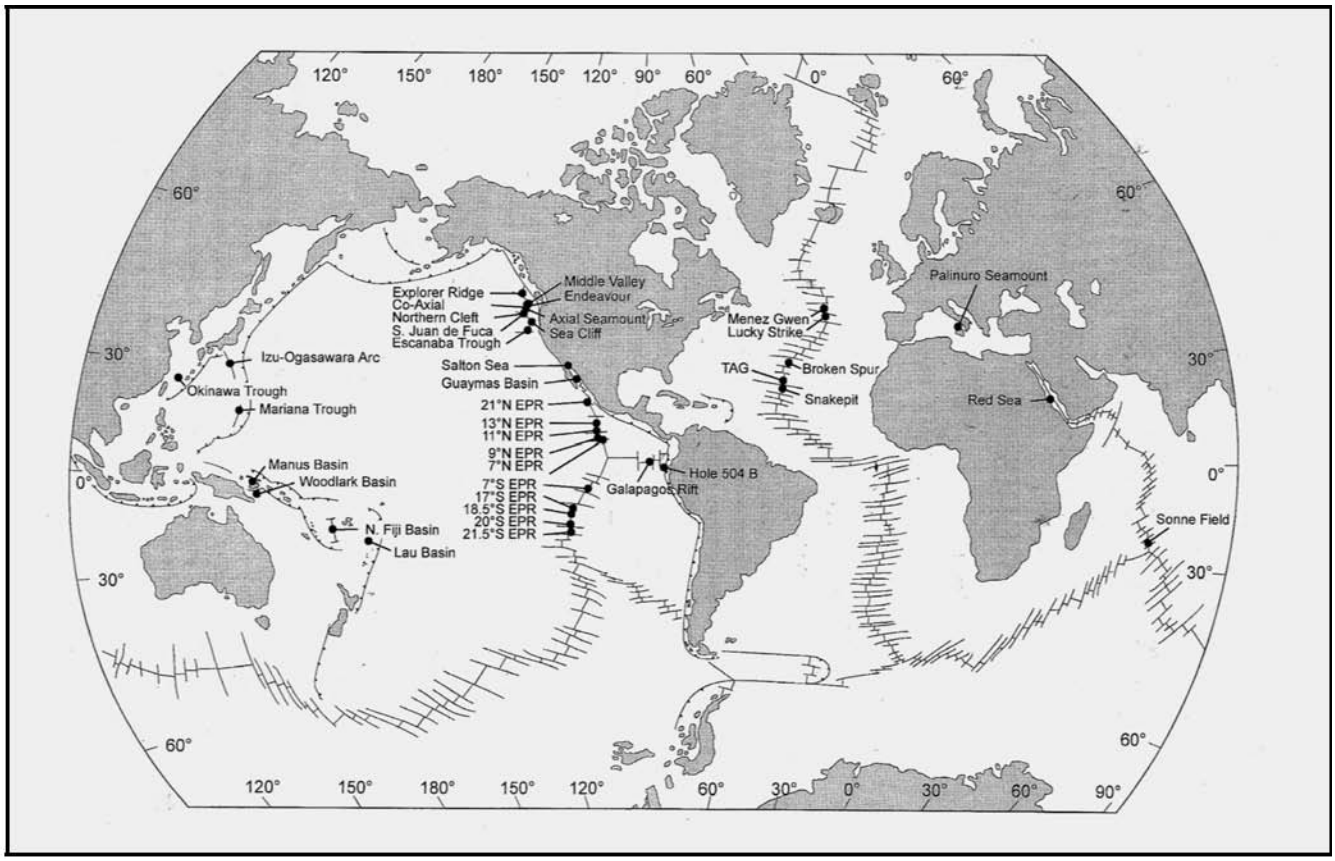
ι) η σχέση του όγκου του νερού που είναι διαθέσιμο για απόπλυση προς τον όγκο του πετρώματος το οποίο υφίσταται απόπλυση,

ιι) Οι μηχανισμοί της υποκατάστασης μέσα στο πλέγμα του ορυκτού καθώς και της προσρόφησης.

Είναι φανερό ατό τα παραπάνω ότι τα διαθέσιμα δεδομένα δεν μας επιτρέπουν να πούμε κατηγορηματικά ότι όσον αφορά την πρόσληψη δευτερευόντων στοιχείων από τους κονδύλους και τις επιφλοιώσεις ο ένας ή ο άλλος μηχανισμός είναι ο κυρίαρχος. Πιστεύουμε ότι και οι δύο περιπτώσεις είναι πιθανότατα εξίσου σημαντικές κατά περιπτώσεις.

Η σειρά των αποθέσεων που συμβαίνει όταν τέτοια υδροθερμικά διαλύματα ανέρχονται, ψύχονται και αναμιγνύονται με το θαλασσινό νερό δίνεται πιο καθαρά στο κοίτασμα ATLANTIS II DEEP της Ερυθράς Θάλασσας όπου ορυκτά κατά τη σειρά : σουλφίδια πυριτικά οξείδια , σχηματίζονται σαν αποτέλεσμα κλασματικής καταβύθισης (απόθεσης).

Σε καμία άλλη ωκεάνιο περιοχή το φαινόμενο της κατά σειρά κλασματικής απόθεσης δεν παρατηρήθηκε τόσο καθαρά σε μία και μόνο περιοχή, αν και τμήματα της σειράς συναντώνται σε αριθμό περιοχών οι οποίες συνδυαζόμενες μας βοηθούν να σχηματοποιήσουμε το συνολικό φαινόμενο της μεταλλογέννεσης κατά μήκος των μεσο-ωκεάνειων ράχεων. (ΦΩΤ. Θ1)



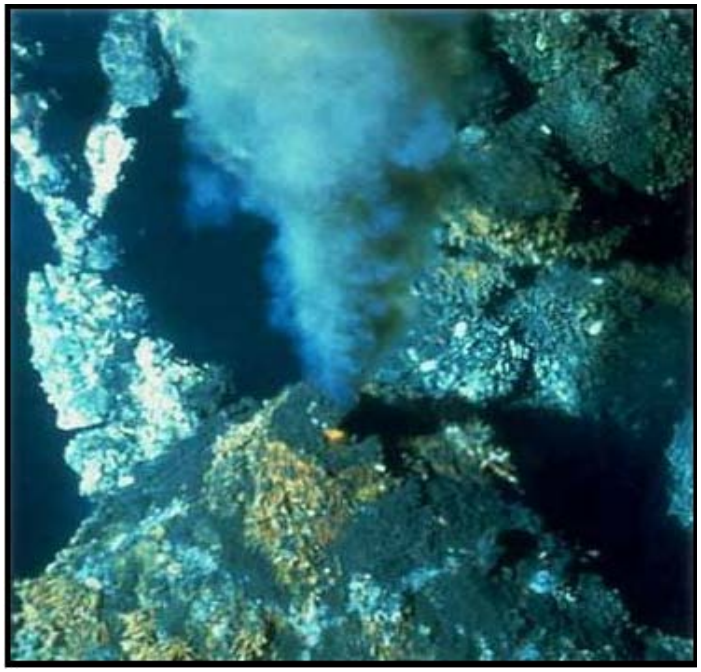
ΦΩΤ.Θ1 Τοποθεσίες των υδροθερμικών συστημάτων και των πολυμεταλλικών θειούχων μεταλλοφοριών στο σημερινό ωκεάνιο σύστημα (Από D.V.Cronan 1999)

Τα υδροθερμικής φύσης πλούσια σε μέταλλα κοιτάσματα που βρέθηκαν ως τα σήμερα κατά μήκος των μεσο-ωκεάνιων ράχεων και στις γειτονικές περιοχές χωρίζονται σε γενικές γραμμές σε 3 τύπους :

1) Σουλφίδια πλούσια σε σίδηρο και βασικά μέταλλα (π.χ. Cu, Zn, Pb) συνδεδεμένα μερικές φορές με οξείδια και πυριτικά ορυκτά.
2) Ισχυρά κλασματωθέντα οξείδια και πυριτικά ορυκτά.
3) Σιδηρομαγγανιούχα οξείδια που έχουν απλωθεί (διαχυθεί) σε μεγάλη έκταση.

1) Ο πρώτος τύπος και συγκεκριμένα σουλφίδια πλούσια σε Cu, Zn και Pb απαντά χαρακτηριστικά κατά μήκος της μεσο- ωκεάνιας ράχεως του ανατολικού Ειρηνικού (East PACIFIC RISE AT 21^{o} N). Για πρώτη φορά τέτοια κοιτάσματα εντοπίστηκαν σε μία κλιτή περίπου 200 μέτρα δυτικά από την ζώνη έκχυσης της μεσο-ωκεάνιας ράχης και λιγότερο από 1km από τον άξονα επέκτασης. Βρέθηκαν επίσης κατά μήκος μερικών ΚΙΤΙ της πλαγιάς της ράχης στην ίδια γενικά περιοχή. Σε μερικές περιπτώσεις εντοπίσθηκαν οι οδοί διόδου των υδροθερμικών διαλυμάτων στις οποίες μετρήθηκαν θερμοκρασίες νερών πάνω από 300^{o}C. Οι αποθέσεις των σουλφιδίων έλαβαν χώρα είτε αμέσως κάτω από τον θαλάσσιο βυθό είτε (ή και ταυτόχρονα) κατά την διάρκεια της έκχυσης στον πυθμένα

δεδομένου ότι τέτοια πυκνά υδροθερμικά διαλύματα παρατηρήθηκε να είναι μαύρα σε αιωρούμενα σουλφίδια. (Φωτ. Θ2)



ΦΩΤ. Θ2 Εκροή με μεγάλη πίεση αιωρημάτων μαύρων σουλφιδίων από ρωγμές ηφαιστειακών(βασαλτικών) πετρωμάτων κατά μήκος της μεσω-ωκεάνιας ράχης του Ειρηνικού

Τέτοια κοιτάσματα, πέραν των άλλων έχουν μεγάλη επιστημονική σημασία δεδομένου ότι δείχνουν ότι σουλφίδια δυνατόν να καθιζάνουν στο θαλάσσιο βυθό σε ένα περιβάλλον ανοικτής μεσο-ωκεάνιας ράχης. Αυτό αν και είχε θεωρητικά προβλεφθεί δεν είχε προηγούμενα παρατηρηθεί.

2) Ο δεύτερος τύπος δηλαδή τα εκτεταμένα κλασματωθέντα οξείδια και πυριτικά ορυκτά, μερικές φορές σε επαφή το ένα με το άλλο αλλά και συχνά αποχωρισμένα (σε αποστάσεις εκατοντάδων μέτρων ή και χιλιομέτρων) απαντούν σε αρκετές περιοχές του θαλάσσιου βυθού.

Χαρακτηριστικά κοιτάσματα αυτού του τύπου παρατηρήθηκαν στην περιοχή FAMOUS (του Ατλαντικού), στον κόλπο του ANTEN, και στους υδροθερμικούς σχηματισμούς του GALAPAGOS.

Γενικά τα κοιτάσματα αυτά αποτελούνται από σιδηροπυριτικά ορυκτά όπως νοντρονίτη, και οξείδια σιδήρου όπως λειμονίτη και γκετίτη, συνοδευόμενα μερικές φορές από οξείδια Mn όπως Τοντοροκίτη και Μπιρνεσίτη. Όπου είναι δυνατό να έχουμε στρωματογραφικές ενδείξεις γίνεται φανερό ότι τα πυριτικά ορυκτά καθιζάνουν πριν από τα οξείδια.

Πολύ κλασματωμένα, σχεδόν καθαρά οξείδια Μη απαντούνσ τη περιοχή TAG στα 26^{o}N στη Μέσο-Ατλαντική ράχη. 'Εχουν μορφή επιφλοιώσεων, ενστρώσεων σε μία περιοχή η οποία, όπως δείχνουν οι θερμοκρασιακές ανωμαλίες του νερού εμφανίζει υδροθερμική δράση.

3. Ο τρίτος τύπος δηλαδή τα διάχυτα σε εκτεταμένες περιοχές ιζήματα πλούσια σε οξείδια Fe-Mn και σχετικά ομοιογενούς σύστασης απαντούν σε μεγάλες περιοχές γύρω από τις μεσο-ωκεάνιες ράχες.

Ποσοτικά είναι τα πλέον άφθονα μεταλλοφόρα ιζήματα του θαλάσσιου πυθμένα. Ορυκτολογικά συνίστανται από ένα μίγμα οξειδίων Pb και Mn και μικρές ποσότητες σιδηροπυριτικών ορυκτών. Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου δεν είναι καθαρά. Είναι αραιωμένα σε ποικίλους βαθμούς από χερσογενή υλικά, ανθρακικά και πυριτικά υπολείμματα οργανισμών, λόγω της μεγάλης έκτασης που

καταλαμβάνουν γύρω από τις μεσο-ωκεάνιες ράχες.
Σε σχέση με τους άλλους τύπους θεωρούνται ότι δεν είναι εξ ολοκλήρου υδροθερμικής προέλευσης.
Αν και από πλευράς σύστασης οι παραπάνω 3 τύποι των κοιτασμάτων μεταλλοφόρων ιζημάτων είναι σαφώς διαφορετικοί μπορούν, σε αναλογία με τα κοιτάσματα του ATLANTIS II DEEP να θεωρηθούν σαν αποτέλεσμα μιας χαρακτηριστικά κοινής μεταλλογεννετικής διαδικασίας. Ετσι τα σουλφίδια στην East Pacific Rise (21^{o}N) μπορούν να θεωρηθούν ανάλογα των σουλφιδίων που σχηματίζονται κοντά στο σημείο έκχυσης των υδροθερμικών ρευστών στη Ν.Δ. Λεκάνη του ATLANTIS II DEEP. Τα σιδηροπυριτικά ορυκτά και τα συνδεόμενα με αυτά οξείδια Fe από τις περιοχές FAMOUS, GALAPAGOS , κόλπος ΑΝΤΕΝ, δυνατόν να θεωρηθούν ανάλογα των σιδηροπυριτικών ορυκτών και οξειδίων που σχηματίζονται σε εκτεταμένες περιοχές του βυθού του ATLANTIS II DEEP.
Τα οξείδια Mn στην περιοχή TAG αν και από πλευράς σύστασης είναι φτωχά δυνατόν να θεωρηθούν ανάλογα των οξειδίων Μη κοντά στα περιθώρια του ATLANTIS II DEEP.
Τελικά τα διαχυθέντα σε μεγάλη έκταση οξείδια Fe&Mn που απαντούν στις μεσο-ωκεάνειες ράχες αντιστοιχούν σε σημαντικό βαθμό με τα ευρέως διαχυθέντα οξείδια που παρατηρήθηκαν σε μία άλλη διάχυση διαμέτρου περίπου 20 κιτι γύρω από το ATLANTIS II DEEP.

Σε αναλογία με το ATLANTIS II DEEP τα σουλφίδια από την περιοχή East Pacific Rise (21^{o}N) δυνατόν να θεωρηθούν σαν **πρώϊμες** αποθέσεις από υδροθερμικά διαλύματα, τα κοιτάσματα πυριτικών ορυκτών πλούσιων σε Fe και οξειδίων σαν **ενδιάμεσες** αποθέσεις και τα οξείδια Mn στην περιοχή TAG σαν αποθέσεις του **τελικού** σταδίου.
Τα διαχυθέντα σε μεγάλη έκταση ιζήματα πλούσια σε Fe&Mn,το πιθανότερο αντιπροσωπεύουν αποθέσεις που προέρχονται από διαλύματα πλούσια σε ιόντα Fe&Mn και τα οποία αποβάλλονται από τις οδούς των υδροθερμικών ρευστών στο θαλάσσιο νερό μαζί με μικροσκοπικά οξείδια που εξέρχονται από τις ίδιες οδούς.
Δεδομένης της φύσης του φαινομένου της απόθεσης τα κοιτάσματα αυτά είναι σε θέση να προσροφήσουν επί πλέον μέταλλα από το θαλασσινό νερό. Από πλευράς χωροτακτικής οι σχέσεις μεταξύ των διαφόρων κοιτασμάτων εξαρτάται από τις φυσικοχημικές συνθήκες κάτω από το θαλάσσιο πυθμένα και στο σημείο της εξόδου των υδροθερμικών διαλυμάτων. Όπου διατηρούνται μέχρι και το σημείο εξόδου υψηλές θερμοκρασίες και αναγωγικές συνθήκες σουλφίδια πλούσια σε Fe, Zn, Pb θα αποτεθούν στο θαλάσσιο βυθό όπως στην East Pacific Rise (21^{o}N) ενώ τα εναπομένοντα μέταλλα, κυρίως Fe, Mn, θα φύγουν στο θαλασσινό νερό και θα αποτεθούν υπό μορφή οξειδίων αλλού.
Όπου θαλάσσιο νερό που εισέρχεται σε οδούς υδροθερμικών διαλυμάτων αναμιγνύεται και ψύχει τα ανερχόμενα υδροθερμικά διαλύματα είναι πιθανό να έχουμε απόθεση, υπό τον βυθό, σουλφιδίων καθώς και αποθέσεις χαμηλότερων θερμοκρασιών - πρώτα πυριτικές και ύστερα οξείδια στο βυθό όπως συμβαίνει στις περιοχές Famous, Galapagos, κόλπο ΑΝΤΕΝ. Η σχετική κατανομή αυτών των αποθέσεων είναι συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων όπως π.χ. του Eh του περιβάλλοντος απόθεσης. Σε τέτοιες περιπτώσεις το Mn πιθανόν να αποτεθεί είτε από πάνω είτε μαζί με τις αποθέσεις Fe όπως συμβαίνει στο Galapagos και στον κόλπο του ΑΝΤΕΝ. Τελικά όπου έχουμε εκτεταμένη ψύξη και ανάμιξη των υδροθερμικών διαλυμάτων και του θαλασσινού νερού υπό τον βυθό τα περισσότερα των υδροθερμικών ορυκτών θα αποτεθούν. υπό την επιφάνεια του βυθού ενώ οι τελικές αποθέσεις δηλ. οξείδια Μη θα αποτεθούν κοντά ή επί του θαλάσσιου βυθού όπως π.χ. την περιοχή TAG.
Η σειρά των υδροθερμικών αποθέσεων που περιγράφηκε δηλ. **ΣΟΥΛΦΙΔΙΑ→ΠΥΡΙΤΙΚΑ ΟΡΥΚΤΑ ΠΛΟΥΣΙΑ ΣΕ Fe→ΟΞΕΙΔΙΑ Fe→ ΟΞΕΙΔΙΑ Mn** θα ποικίλλει σε συνάρτηση με τις χημικές διαφορές μεταξύ των υδροθερμικών διαλυμάτων και τη φυσικοχημική φύση του

περιβάλλοντος απόθεσης δυνατόν δε να μην είναι πλήρης. Οπωσδήποτε όμως είναι σε θέση να εξηγήσει ικανοποιητικά την προέλευση και κατανομή στο χώρο των κυριοτέρων κοιτασμάτων ΟΠΥ που βρέθηκαν στις μεσο-ωκεάνιες ράχες.

ΒΒ..ΜΜΕΕΤΤΑΑΛΛΛΟΟΦΦΟΟΡΡΑΑ ΙΙΖΖΗΗΜΜΑΑΤΤΑΑ

Ι.ΓΕΝΙΚΑ

Όπως ήδη έχει περιγραφεί πιο πάνω τα μεταλλοφόρα ιζήματα(Μ.Ι) είναι τα τελευταία προϊόντα στη σειρά τής υδροθερμικής δραστηριότητας η οποία λαμβάνει χώρα κατά μήκος των ενεργών μέσω-ωκεάνιων ράχεων. Σε αντίθεση με τα θειούχα ορυκτά πού δημιουργούνται είτε εντός τού ωκεάνιου φλοιού, όπου έχουμε την κυρίως υδροθερμική δραστηριότητα, είτε στην άμεση γειτονία τής ενεργού ράχεως, τα υδροθερμικής προέλευσης οξείδια Fe-Mn διασπείρονται σε ευρύτερες περιοχές, σχηματίζουν κονδύλους και επιφλοιώσεις και μπορούν γενικά να χαρακτηρισθούν σαν τα ιζηματογενή συστατικά μιας πολύ ευρύτερης υδροθερμικής δραστηριότητας, η οποία λαμβάνει χώρα εντός και πλησίον των ενεργών μέσω-ωκεάνιων ράχεων ή και νησιωτικών τόξων.

Η ύπαρξη τέτοιων σχηματισμών είναι φυσικό να οδηγήσει αμέσως στη σύγκριση των δύο ακραίων τύπων οξειδίων Fe-Mn, δηλ. αυτών τής υδροθερμικής προέλευσης και αυτών τής υδρογεννούς-διαγεννετικής. Αντιπροσωπευτικές χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις των διαφόρων τύπων και προέλευσης σχηματισμών οξειδίων Fe-Mn δίδονται στον **ΠΙΝ.Θ1** μαζί με ορισμένα άλλα χαρακτηριστικά πού διακρίνουν τις διάφορες κατηγορίες μεταξύ τους.

Πίνακας Θ1. Τα κυριότερα γεωχημικά χαρακτηριστικά των υποθαλασσίων κονδύλων και επιφλοιώσεων οξειδίων Mn-Fe από όλα τα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα

ΠΙΝΑΚΑΣ .ΤΑ ΚΥΡΙΩΤΕΡΑ ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΟΝΔΥΛΩΝ&ΕΠΙΦΛΟΙΩΣΕΩΝ ΟΞΕΙΔΙΩΝ Mn-Fe ΑΠΟ ΔΙΑΦΟΡΑ ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΑ

ΓΕΩΧΗΜΙΚΑ ΧΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΥΔΡΟΓΕΝΕΙΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ(α)	ΔΙΑΓΕΝΝΕΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ(ΣΕ ΕΛΑΦΡΑ ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)(β)	ΔΙΑΓΕΝΝΕΤΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ(ΣΕ ΗΜΙ-ΟΞΕΙΔΩΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ)(γ)	ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΕΝΕΡΓΗ ΜΕΣΩ ΩΚΕΑΝΙΑ ΡΑΧΗ(Περιοχή Calapagos) ΕΙΡΗΝΙΚΟΥ(δ)	ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟ ΤΟΞΟ ΕΙΡΗΝΙΚΟΥ ΩΚΕΑΝΟΥ(ε)	ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΟΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΙ ΑΠΟ ΤΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΟ ΤΟΞΟ ΤΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ:ΣΑΝΤΟΡΙΝΙ (στ)
Mn	220000	316500	480000	550000	410000	126
Fe	190000	44500	4900	2000	9000	494476
Co	1300	280	35	39	33	1
Ni	5500	10100	4400	190	310	17
Cu	1480	4400	2000	50	120	30
Zn	750	2500	2200	2020	400	45
Mn/Fe	1,16	7,11	97,96	275,00	45,56	0,00
Ni/Co	4,23	36,07	125,71	4,87	9,39	17,00
Ni+Cu+Co	8280	14780	6435	279	463	48
(Ni+Cu+Co) x 100	828000	1478000	643500	27900	46300	4800
ΚΥΡΙΑ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ	δ-MnO_2	δ-MnO2+ΤΟΝΤΟΡΟΚΙΤΗΣ	ΤΟΝΤΟΡΟΚΙΤΗΣ	ΜΠΙΡΝΕΣΙΤΗΣ+ΤΟΝΤΟΡΟΚΙΤΗΣ	ΜΠΙΡΝΕΣΙΤΗΣ+a-FeOOH	A-FeOOH+ ΑΜΟΡΦΑ ΟΞΕΙΔΙΑ Fe
(α),(β),(γ) ΑΠΟ DYMOND et.al.(1984)						
(δ) ΑΠΟ MOORE et.al(1976)						
(ε)ΑΠΟ MOOREY et.al.(1994)						
(στ)ΑΠΟ BOSTROM-PAPAVASSILIOU et.al.(1990)						

Παρά το γεγονός ότι και στις περιπτώσεις των Μ.Ι πολλές επιφλοιώσεις οξειδίων είναι μίγματα υδροθερμικής-υδρογενούς προέλευσης, από τον ΠΙΝ.Θ1 είναι φανερό ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ κονδύλων και επιφλοιώσεων υδροθερμικής και υδρογενούς προέλευσης αλλά και μεταξύ επιφλοιώσεων υδροθερμικής προέλευσης από διαφορετικά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα δηλ. από ενεργές μέσω-ωκεάνιες ράχες και νησιωτικά τόξα. Οι διαφοροποιήσεις αυτές μπορούν περιληπτικά να περιγραφούν ως εξής:

1. Σε ότι αφορά Υδροθερμικής- Υδρογενούς προέλευσης σχηματισμούς

(α). Τάχος ανάπτυξης: Γενικά οι υδρογενούς προέλευσης κόνδυλοι και επιφλοιώσεις αναπτύσσονται με χαμηλούς ρυθμούς τής τάξης των ολίγων $mm/10^6$ χρόνια. Αντιθέτως οι υδροθερμικής προέλευσης αντίστοιχοι σχηματισμοί αναπτύσσονται με σημαντικά μεγαλύτερους ρυθμούς τής τάξης των εκατοντάδων $mm/10^6$ χρόνια. Ο κύριος λόγος αυτής τής διαφοράς βρίσκεται πιθανότατα στο γεγονός ότι οι υδροθερμικής προέλευσης σχηματισμοί δημιουργούνται στη γειτονία μεταλλοφόρων διαλυμάτων πλουσίων σε FeMn πού σχεδόν συνεχώς και ρυθμικά τροφοδοτούν συγκεκριμένες ωκεάνιες περιοχές με Fe-Mn. Αντιθέτως οι υδρογενείς σχηματισμοί λαμβάνουν τον σίδηρο και το μαγγάνιο από μία σταθερή, χαμηλής εντάσεως πηγή, το θαλασσινό νερό, και δευτερογενώς από διαγεννετικές διαδικασίες. Στους διαγεννετικής προέλευσης σχηματισμούς το τάχος ανάπτυξης είναι υψηλότερο αλλά σαφώς χαμηλότερο σε σχέση με τους σχηματισμούς υδροθερμικής προέλευσης.

(β).Ορυκτολογία. Οι υδρογενείς σχηματισμοί συνήθως έχουν σαν κύρια ορυκτολογική φάση μαγγανίου το δ-MnO_2, οι διαγεννετικής προέλευσης κυρίως τον Τοντοροκίτη (10Α Μαγγανίτη) ενώ οι υδροθερμικής προέλευσης σχηματισμοί Τοντοροκίτη ή Μπιρνεσσίτη (7Α Μαγγανίτη) ή αμφότερα. Επικρατούν δηλαδή τα ορυκτά τού Μη με σχετικά υψηλές σχέσεις Mn/Fe.

(γ).Χημεία: Υπάρχουν δύο βασικές διαφοροποιήσεις στον χημισμό μεταξύ των υδρογενούς-διαγεννετικής προέλευσης και υδροθερμικής προέλευσης σχηματισμών. (i).Οι υδροθερμικής προέλευσης σχηματισμοί είναι σαφώς φτωχότεροι σε Co,Ni,Cu συγκρινόμενοι με τους υδρογεννούς-διαγεννετικής προέλευσης σχηματισμούς.

(ii).Οι πρώτοι δείχνουν μία εκτεταμένη κλασμάτωση τού Mn από τον Fe, γεγονός πού ανταναικλάται στις υψηλές σχέσεις Mn/Fe (ΠΙΝ.Θ1). Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός τής μετακίνησης και ενσωμάτωσης τού σιδήρου στις υδροθερμικές φάσεις των θειούχων και πυριτικών ενώσεων (και εν μέρει καθαρών οξειδίων Fe) ενωρίτερα,γεγονός πού δεν συμβαίνει στους υδρογεννούς- διαγεννετικής προέλευσης σχηματισμούς .Αυτό οδηγεί σε υψηλότερες περιεκτικότητες Fe στους τελευταίους και φυσικά παρουσία υδρο-οξειδίων, κύρια τού Fe^{+3}.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι αυτό πού έχει παρατηρηθεί είναι ότι καθώς απομακρυνόμεθα από τις ενεργές μέσω-ωκεάνιες ράχες και πηγαίνουμε σε αβυσσικές περιοχές η υδροθερμική προέλευση ελαττούται ,αυξάνει η υδρογεννής προέλευση ενώ όταν πλησιάζουμε σε ημι-πελαγικά περιβάλλοντα αυξάνει η διαγεννετική προέλευση των σχηματισμών οξειδίων Mn-Fe.

2.Σέ ότι αφορά Υδροθερμικής προέλευσης σχηματισμούς οξειδίων Fe-Mn από διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα κύρια από :

(ι). Ενεργές μέσω-ωκεάνιες ράχες (αποκλίνουσες πλάκες)

(ιι).Νησιωτικά τόξα (συνκλίνουσες πλάκες)

Οι σχηματισμοί από το περιβάλλον (ιι) όπως φαίνεται και στον ΠΙΝ. Θ1 είναι πολύ πλουσιότεροι

σε Fe και φτωχότεροι στα κυριότερα ιχνοστοιχεία(Ni,Cu,Zn) σε σχέση με τους σχηματισμούς από το περιβάλλον (ι). Είναι επίσης- και αυτό είναι αναμενόμενο-πολύ πλουσιότεροι σε ορυκτά Fe^{+3} (κύρια άμορφα υδρο-οξείδια) σε σχέση με ορυκτά τού Mn^{+4}.Δύο είναι τα πιθανότερα αίτια αυτής τής διαφοροποίησης των υδροθερμικών σχηματισμών οξειδίων Fe-Mn από τα δύο διαφορετικά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα:

(a). Πολύ πιο περιορισμένη μετακίνηση Fe σε θειούχες και πυριτικές ορυκτές φάσεις στο περιβάλλον τού νησιωτικού τόξου όπου η υδροθερμική δραστηριότητα είναι πιο περιορισμένη και ο σχηματισμός σουλφιδίων και πυριτικών ορυκτών πλουσίων σε Fe, είναι πιο περιορισμένος και εντοπιζόμενος σε αρκετά βαθύτερα τμήματα τού φλοιού.

(b). Η δεύτερη εξήγηση και ίσως η πιθανότερη έχει σχέση με το φαινόμενο τής σύγκρουσης και υπό-ώθησης των πλακών στο περιβάλλον (ιι). Συγκεκριμένα πιστεύεται (BOSTROM κ.ά.1990) ότι το φαινόμενο υπο-ώθησης πλακών σε νησιωτικά τόξα συνδέεται με την δημιουργία διαλυμάτων πλουσίων σε μέταλλα, πού πιθανότατα σχηματίζονται σε πολύ μεγάλα βάθη, κάτω από πολύ μεγάλες πιέσεις. Τα διαλύματα αυτά έχουν ικανό χρόνο να ξεπεράσουν παράγοντες πού παρεμποδίζουν το τάχος των αντιδράσεων και έτσι διατηρούν τον αρχικό τους χαρακτήρα πού βασικά συνίσταται στο να είναι πολύ πλούσια σε Fe και λιγότερο σε Mn. Επί πλέον ενώ τα ιόντα Fe^{+2} καθιζάνουν γρήγορα είτε σαν σουλφίδια (κυρίως FeS_2),κάτω από αναγωγικές συνθήκες,είτε σαν άμορφα υδρο-οξείδια ακόμη και σε ελαφρά οξειδωτικές συνθήκες, τα ιόντα Mn^{+2} μεταναστεύουν μακρύτερα, στην ανοικτή θάλασσα δεδομένου ότι απαιτούν σαφώς εντονότερες οξειδωτικές συνθήκες (υψηλότερο Eh) προκειμένου να οξειδωθούν σε Mn^{+4} και να σχηματίσουν οξείδια Μη. Πάντως το όλο φαινόμενο δεν έχει πλήρως διερευνηθεί και οι έρευνες πάνω στο θέμα αυτό συνεχίζονται.

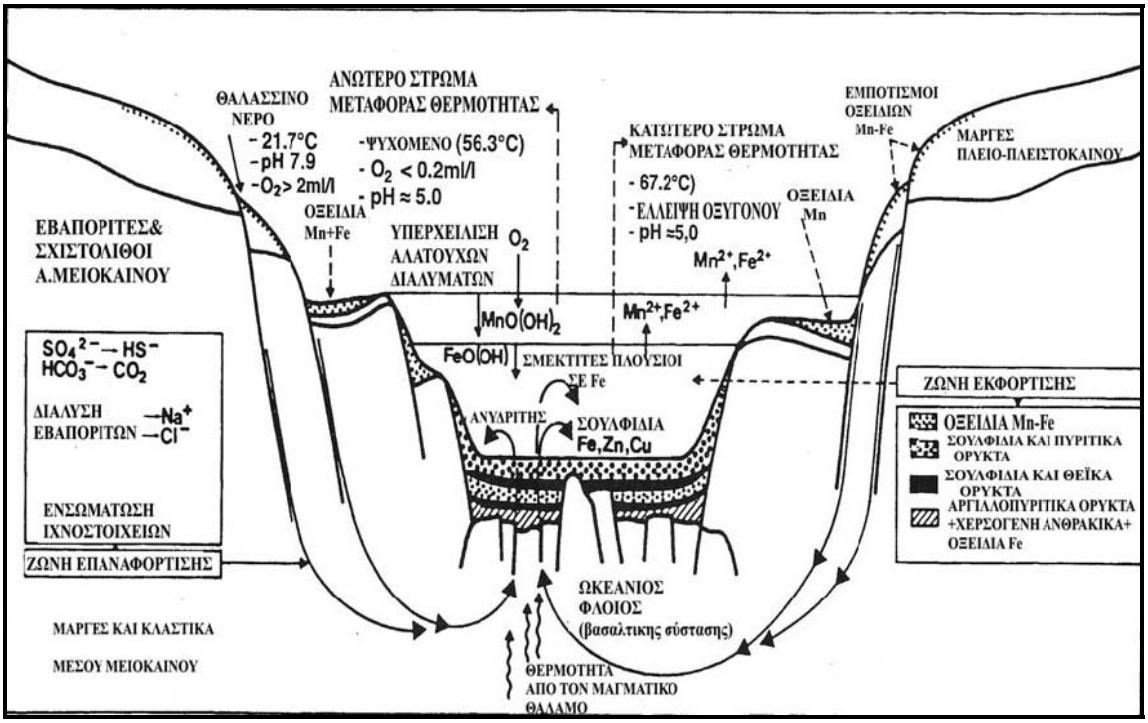
ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΩΝ ΙΖΗΜΑΤΩΝ
Ι. ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΜΕΣΟ-ΩΚΕΑΝΙΕΣ ΡΑΧΕΣ

Η προέλευση των κοιτασμάτων του σιδηρομαγγανίου στο θαλάσσιο βυθό συνδεδεμένων με μεταλλοφόρα ιζήματα έχει αρκετά ερευνηθεί για μία χαρακτηριστική περιοχή του East Pacific Rise (E. P. R). Εκεί το θαλασσινό νερό κυκλοφορεί δια μέσου διακλάσεων του πρόσφατα σχηματιζόμενου φλοιού, αντιδρώντας με τον ζεστό βασάλτη. (ΦΩΤ.Θ2.). Ενώ οι υδροθερμικές αντιδράσεις χωρίς αμφιβολία παίζουν ρόλο στον σχηματισμό μεταλλοφόρων ιζημάτων στην κορυφή του E.P.R. δεν έχει κατανοηθεί καλά ακόμη η διαδικασία εμπλουτισμού των ιζημάτων σε διάφορα μέταλλα, εκτός από το σίδηρο. Πολλές ισοτοπικές και στοιχειακές σχέσεις μέσα στα κοιτάσματα είναι παρόμοιοι με αυτούς στο θαλασσινό νερό και σε κοιτάσματα από περιοχές μακριά από μεσο-ωκεάνιες ράχες. Το ερώτημα που έχει μπει είναι τι ποσά στοιχείων προσφέρονται στα ιζήματα αυτά από τον βασάλτη και τι από το θαλασσινό νερό. Μία λύση στο πρόβλημα είναι η σύγκριση με τον εξαλλοιωμένο βασάλτη. Οποιοδήποτε στοιχείο ή στοιχεία που λείπουν από τον εξαλλοιωμένο βασάλτη έχουν δοθεί στο θαλάσσιο νερό. Έχουν καθιζήσει όμως τα στοιχεία αυτά κοντά στα σημεία εξόδου υδροθερμικών διαλυμάτων; Μία πιθανότητα είναι ότι μέρος του εμπλουτισμού σε μέταλλα στην περιοχή E. P. R. - ιδιαίτερα η πολύ υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο - προέρχεται από υδροθερμική δραστηριότητα, ενώ οι υπόλοιπες υψηλές περιεκτικότητες μετάλλων αποδίδονται στην κατακράτηση τους από το νεοσχηματιζόμενο υδροξείδιο Fe-Mn. Η κατακράτηση μετάλλων από πρόσφατα σχηματισθέντα

υδροξείδια του σιδήρου είναι μία αποδεδειγμένη διαδικασία σε χημικά πειράματα, για την μετακίνηση των μετάλλων αυτών από διαλύματα όπου βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις.

ΙΙ.ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΡΥΘΡΑ ΘΑΛΑΣΣΑ

Μια περισσότερο ιδιαίτερη περίπτωση της δημιουργίας κοιτάσματος βαρέων μετάλλων είναι στην Ερυθρά Θάλασσα που παρουσιάζουν μεγάλο οικονομικό ενδιαφέρον. Τα ελπιδοφόρα αυτά μεταλλοφόρα αποθέματα εμφανίζονται στην ATLANTIS II-DEEP που ονομάστηκε έτσι από το ερευνητικό πλοίο Woods Hole. Η λεκάνη που βρίσκεται έξω από την ακτή της Μέκκα, βρέθηκε το 1963 από το Βρετανικό πλοίο Discover. Η πρώτη μεγάλη ερευνητική φάση έγινε μεταξύ 1964 και 65. Το Glomar Challenger έκανε γεωτρήσεις στην περιοχή αυτή το 1972.



ΦΩΤ.Θ3 Η υδροθερμική μεταφορά ρευστών και παραγωγή υδροθερμικών μεταλλοφοριών στο κοίτασμα Atlantis II Deep στην Ερυθρά Θάλασσα. Το θαλασσινό νερό κυκλοφορεί μέσω των Μειοκαινικών ιζηματογενών σχηματισμών και ρηγματώσεων στο Βασαλτικό υπόβαθρο. Το ρευστό αυτό θερμαίνεται έντονα λόγω της κοντινής ύπαρξης του μαγματικού θαλάμου. Η αλληλοεπίδραση του θερμού πια ρευστού αυτού με τα ιζήματα και τους βασάλτες στη ζώνη επαναφόρτισης μεταβάλει τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του ρευστού. Έτσι όταν τα νέα αυτά υδροθερμικά ρευστά εκφορτίζονται στην υποθαλάσσια λεκάνη καθιζάνουν μεταλλοφόρα ιζήματα πλούσια σε οξείδια Fe κυρίως, πυριτικά ορυκτά πλούσια σε Fe (π.χ νοντρονίτης) θεϊκά ορυκτά(π.χ ανυδρίτης) και πολυμεταλλικά σουλφίδια (Από D.S.Cronan 1999).

Γιατί υπάρχει όλο αυτό το ενδιαφέρον στην Ερυθρά Θάλασσας; Στην κεντρική Ερυθρά Θάλασσα που αποτελεί ένα εκτεταμένο ενεργό κέντρο επέκτασης του ωκεάνιου φλοιού το οποίο άνοιξε μονό

λίγα εκατομμύρια χρόνια πριν, υπάρχουν πολλές κλειστές λεκάνες, τα λεγόμενα ″deeps″. Το κοίτασμα ATLANTIS II-DEEP **(ΦΩΤ.Θ3.)**
βρίσκεται σε βάθος πάνω από 2000 μ. και έχει μήκος από 6 μέχρι 15 χιλιόμετρα. Ο βυθός είναι γεμάτος από διάλυμα θερμού άλατος (hot salt brine) με θερμοκρασία περίπου 60 ^{o}C και 25% αλατότητα επτά φορές πάνω από το θαλασσινό νερό. Ο σίδηρος έχει περιεκτικότητα 8000 φορές περισσότερο στο διάλυμα αυτό σε σχέση με το νερό της θάλασσας, ο ψευδάργυρος 500 φορές, ο χαλκός 100. Το ίζημα κάτω από τα διαλύματα είναι έντονα χρωματιστό, με εναλλασσόμενα βαθυκόκκινα στρώματα με άλλα, λευκά, μαύρα, πρασινωπά. Η ποικιλία των ορυκτών δίνει τα χρώματα. Από οικονομική άποψη τα πιο ενδιαφέρονται είναι τα σουλφίδια στα σκούρα στρώματα.

Οι χημικές αναλύσεις έδειξαν μέχρι 10% ψευδάργυρο, χαλκό 3% ή ακόμη και 7% (ΠΙΝ.Θ2.). Ατυχώς, τα ορυκτά είναι ιδιαίτερα λεπτόκοκκα, πράγμα που θα κάνει δύσκολη της εξαγωγή των μετάλλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ Θ2. Μέση χημική σύσταση των σουλφιδίων από τα μεταλλοφόρα ιζήματα του κοιτάσματος ATLANTIS II DEEP(Από P.RONA 1985)

Metal	Averaged Assay of All Mineral Phases (dry-weight percent)
Fe	29.0
Cu	1.3- 0.8
Zn	3.4- 1.5
Pb	0.1
Co	Σε πολύ μικρές ποσότητες
Ag	54 ppm
Au	0.5 ppm

Πώς προήλθαν όμως τα κοιτάσματα αυτά; Προφανώς δύο ειδών διαδικασίες παρουσιάζουν ενδιαφέρον. Κατ' αρχήν είμαστε σε ηφαιστειακή περιοχή που είναι ο άξονας ενός κέντρου επέκτασης και δημιουργίας νέου ωκεάνιου φλοιού. Βασαλτικές λάβες σχηματίζουν το υπόβαθρο, και οι θερμοκρασίες αυξάνονται απότομα προς τα κάτω. Θερμά μεταλλοφόρα διαλύματα μπορεί να αναπτυχθούν από αντιδράσεις του νερού της θάλασσας με τον νεοσχηματιζόμενο βασάλτη. Στη συνέχεια αναπτύχθηκαν εκτεταμένες ιζηματογενείς αποθέσεις, Τριτογενούς ηλικίας, που επικάθονται πάνω στον νεοσχηματιζόμενο θαλάσσιο πυθμένα. Περιέχουν στρώματα αλατιού και γύψου πάχους πολλών εκατοντάδων μέτρων. Το ζεστό νερό που κυκλοφορεί μέσα σε αυτά τα ιζήματα μπορεί να προκαλέσει διαλυτοποίηση των μεταλλικών φάσεων και του αλατιού και έτσι να παράγει μεταλλοφόρα αλατούχα διαλύματα που εισέρχονται σε διάφορες κοιλότητες. Τα μέταλλα καθιζάνουν στη διάρκεια της ψύξης και όταν παρέχεται οξυγόνο λόγω ανάμιξης με το κανονικό νερό της

θάλασσας. Η ανάμιξη αυτή όμως παρεμποδίζεται σε μεγάλο βαθμό από την υψηλή πυκνότητα των διαλυμάτων αυτών και συμβαίνει μόνο στα ανώτερα τμήματα. Έτσι τα μέταλλα παγιδεύονται στα αλατούχα διαλύματα. (ΦΩΤ.Θ3)

Πολλούς συνδυασμούς των διαδικασιών αυτών μπορούμε να φανταστούμε καθώς οι ακριβείς μηχανισμοί σχηματισμού των αλατούχων διαλυμάτων, της συγκέντρωσης των μετάλλων δεν έχουν ξεκαθαριστεί , η δε έρευνα στη περιοχή συνεχίζεται.

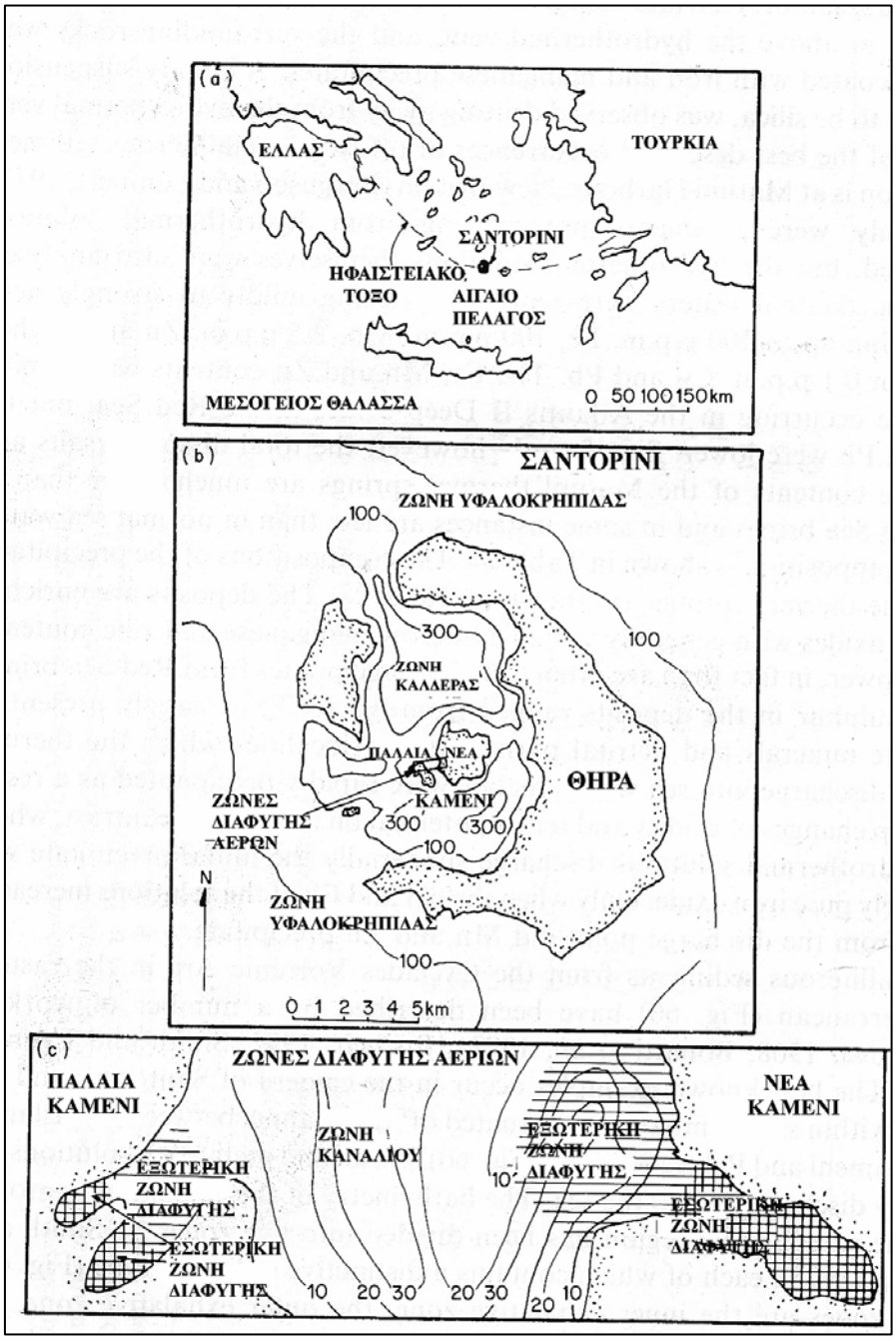
Πόσο πλούσια είναι τα κοιτάσματα της Ερυθράς Θάλασσας; Μόνο στην περιοχή ATLANTIS II DEEP υπάρχουν πιθανά αποθέματα της τάξης 3.2 εκατομμύρια τόνοι Zn, 0.8 εκ. τόνοι Cu, 80000 τόνοι Pb, 4500 τόνοι Ag, και ακόμη 45 τόνοι Au. Κατά πόσο η καθαρή αξία αυτών των μεταλλευμάτων (μετά τον υπολογισμό της απόληψης, επεξεργασίας και μεταφοράς) είναι σημαντική πρέπει να το δούμε. Όμως μέχρι τώρα και όσο αφορά την κατηγορία των μεταλλοφόρων ιζημάτων είναι τα πιο ελπιδοφόρα οικονομικά κοιτάσματα που έχουν βρεθεί.

ΙΙΙ.ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΕΚΤΟΣ ΜΕΣΟ-ΩΚΕΑΝΙΩΝ ΡΑΧΕΩΝ

Μερικές εμφανίσεις υποθαλάσσιων μεταλλοφόρων ιζημάτων έχουν αναφερθεί σε περιοχές εκτός των μεσο-ωκεανίων ράχεων συνήθως σε γεωτεκτονικά περιβάλλοντα που συνδέονται με νησιωτικά τόξα. Γενικά, όμως τα ιζήματα τα προερχόμενα από τέτοια περιβάλλοντα έτυχαν λιγότερου ενδιαφέροντος σε σχέση με τα αντίστοιχα ιζήματα από τις μεσο-ωκεάνιες ράχες.

Μια χαρακτηριστική περίπτωση δημιουργίας τέτοιων ιζημάτων υπάρχει στο νησιωτικό τόξο του Αιγαίου. Μεταλλοφόρα ιζήματα από το Ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου έχουν διαπιστωθεί από πολλούς που εργάσθηκαν στον τομέα αυτό (Butuzova, 1968, Bonatti και άλλοι 1972 Puchlet 1972, οι Smith και Cronan). Τα πλέον γνωστά παραδείγματα εμφανίζονται στην καλδέρα της Σαντορίνης και βρίσκονται μέσα σε μικρούς κόλπους που βρίσκονται στην Π.Καμένη και έξω από το κανάλι μεταξύ των νησιών Ν. και Π.Καμένη. Αέρια και υδροθερμικά διαλύματα, πλούσια σε μέταλλα εκχύνονται ενεργά στην θάλασσα. Η βαθυμετρία της καλδέρας της

Σαντορίνης και της γύρω περιοχής έχει διαιρεθεί σε πέντε ζώνες από τους Smith και Cronan 1975. Η κάθε μία από τις ζώνες αυτές περιέχει από ένα χαρακτηριστικό τύπο ιζήματος. Οι ζώνες αυτές είναι: Η εσωτερική ζώνη , η εξωτερική ζώνη διαφυγής αερίων, η ζώνη του καναλιού, η ζώνη της καλδέρας και η ζώνη της υφαλοκρηπίδας αμέσως έξω από την καλδέρα της Σαντορίνης. (ΦΩΤ.Θ4)



ΦΩΤ.Θ4. Τα μεταλλοφόρα ιζήματα της Σαντορίνης: (a) Τοποθεσία Σαντορίνης, (b) Τοποθεσία μεταλλοφοριών και εξωτερικών ζωνών, (c) Ζώνες διαφυγής αερίων (Από Smith and Cronan 1975).

Μέσα σε κοιλότητες, έξω από τα νησιά, στην καλδέρα της Σαντορίνης σε κόλπους της Π.Καμένης μπορεί κανείς να δει κλασματική καθίζηση μετάλλων που είναι όμοια με εκείνη που εμφανίζεται μέσα και γύρω από τις μεταλλοφορίες του Atlantis II Deep. Ο σίδηρος εμφανίζει τις πλέον υψηλές περιεκτικότητες σε διαλύματα στις περιοχές υδροθερμικών εκροών (εξόδων) και μειώνεται προς τις περιοχές των κοιλοτήτων. Σίδηρος με τιμές 40% εμφανίζεται στα ιζήματα της επιφάνειας στην εσωτερική ζώνη έκχυσης που όμως μειώνονται στο 7%, στην εξωτερική ζώνη έκχυσης. Αντίθετα, το αλουμίνιο αυξάνει, όταν αυξάνει η απόσταση από τις υδροθερμικές οδούς εκχύσεων και φθάνει τις υψηλότερες περιεκτικότητες στα ιζήματα των βαθιών νερών της ζώνης της

καλδέρας, που σημαίνει ότι η υδροθερμική προσφορά αυτού του στοιχείου είναι αμελητέα στην καλδέρα της Σαντορίνης. Το μαγγάνιο εμφανίζει σχετικά χαμηλές περιεκτικότητες στα ιζήματα της εσωτερικής ζώνης έκχυσης που είναι πλούσια σε σίδηρο, αλλά είναι σαφώς εμπλουτισμένο στα ιζήματα της εξωτερικής ζώνης έκχυσης με μεγέθη λιγότερο από 200 ppm και 550 ppm αντίστοιχα. Αυτό δείχνει σαφώς την διαφορετική συμπεριφορά των μετάλλων αυτών κατά την ανάμιξη όξινων υδροθερμικών διαλυμάτων με θαλασσινό νερό. Ο ψευδάργυρος είναι εμπλουτισμένος στην εξωτερική ζώνη έκχυσης μέχρι 140 ppm, και γενικά δείχνει παρόμοια τάση με το μαγγάνιο που μπορεί μέσω των οξειδίων του να το ενσωματώσει από τα διαλύματα. Οι τιμές του χαλκού, και στις πέντε ζώνες που έχουν καθορισθεί από τους Smith και Cronan, είναι ίσες και κατά μέσο όρο 25 ppm γενικά. Ωστόσο, η εσωτερική ζώνη έκχυσης παρουσιάζει το μεγαλύτερο ποσοστό, περιεκτικοτήτων χαλκού, στην επιφάνεια των ιζημάτων, 34 ppm, πράγμα που δείχνει την ύπαρξη γεωθερμικής πηγής, για το στοιχείο αυτό, και πιθανώς μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στο βάθος. Μια αντιπροσωπευτική χημική ανάλυση των μεταλλοφόρων αποθέσεων της Σαντορίνης δίδεται στον **Πίνακα Θ1**. Κάτω από τα ιζήματα της επιφάνειας, στο κοίτασμα της Παλιάς Καμένης υπάρχει περίπου, μισό μέτρο ανθρακικού ιζήματος πλούσιου σε δισθενή σίδηρο και κάτω από αυτό μπορεί να εμφανίζονται πυριτικά ορυκτά πλούσια σε Fe^{+2} ή ορυκτά θειικών αλάτων (Puchlet, 1972). Στο κοίτασμα της Νέας Καμένης, ο Butuzova διαπίστωσε από το 1966 μια παρόμοια σειρά ιζημάτων. Ο ίδιος επίσης διαπίστωσε, τον σχηματισμό σιδηρούχων σουλφιδίων. Το υδρόθειο σαν αέριο απαντάται στον κολποειδή σχηματισμό της Παλιάς Καμένης. Σύμφωνα με τον BOSTROM κ.ά (1990) ο χημισμός των μεταλλοφόρων ιζημάτων τής καλδέρας τής Σαντορίνης είναι συνδυασμός των εξής παραγόντων:

i)Απελευθέρωση τής κίσσηρης πού προέρχεται από την διάβρωση τού ηφαιστειακού υλικού και μεταφέρεται με το νερό ή τον αέρα σε μεγάλες αποστάσεις, επιφανειακά καθώς και στον βυθό τής καλδέρας.

ii) Σε ότι αφορά τον Fe κατά κύριο λόγο και δευτερευόντως τα στοιχεία P, V, Zn προέρχονται από τα υδροθερμικά διαλύματα πού αφθονούν στους όρμους τής Παλαιάς και Νέας Καμένης, υπό μορφή μικρών θρόμβων.

iii) Το πλείστο τού Mn^{+2}, πού εξέρχεται από τα υδροθερμικά διαλύματα δεν καταβυθίζεται αμέσως σαν οξείδιο (Mn^{+4}) αλλά μεταφέρεται εν διαλύσει σε μεγάλες αποστάσεις, σε αντίθεση με τον σίδηρο πού καταβυθίζεται άμεσα σαν οξείδιο.

iv) Το πλείστον τού Si & Ba προέρχεται από τις θερμές πηγές τής Παλαιάς και Νέας Καμένης.

v) Βιογενείς παράγοντες δυνατόν να βοηθήσουν στην καθίζηση SiO_2 ηφαιστειακής προέλευσης, καθώς και ανθρακικών ορυκτών κύρια $CaCO_3$

ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

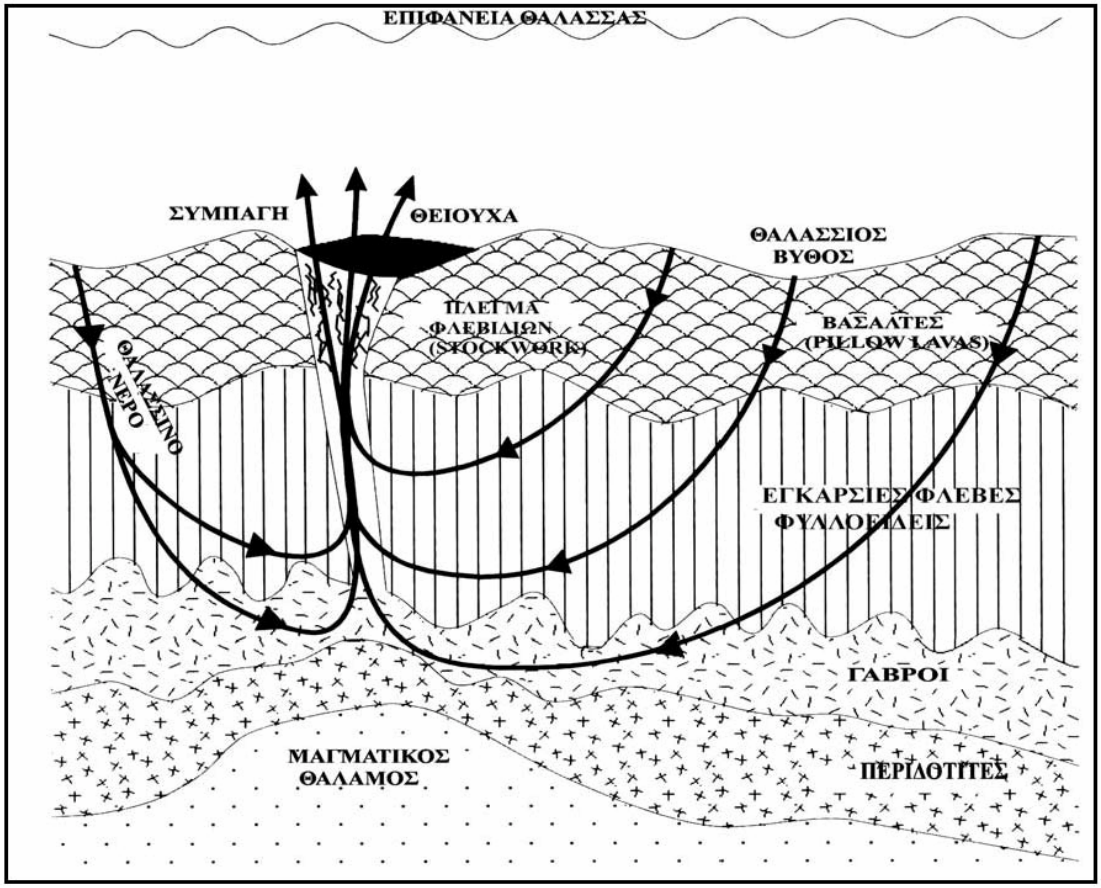
Οι πρόσφατες ανακαλύψεις πολυμεταλλικών συμπαγών θειούχων κοιτασμάτων σε περιοχές κέντρων επέκτασης του ωκεάνιου φλοιού (CYAMEX 1979, HEKINIAN κ.ά 1980,1981, MALAHOF 1982) έριξαν αρκετό φως και έδωσαν ώθηση στην έρευνα που γίνεται διεθνώς για το μεταλλικό ορυκτό δυναμικό του ωκεάνιου φλοιού. Τα συμπαγή θειούχα είναι μια από τις σημαντικές κατηγορίες κοιτασμάτων του ωκεάνιου φλοιού προερχόμενα κύρια από υδροθερμικά διαλύματα σε περιοχές όπου έχουμε κέντρα επέκτασης του ωκεάνιου φλοιού. Πάντως ως τώρα έχουμε ακόμη ατελή γνώση των υδροθερμικής φύσης κοιτασμάτων που βρίσκονται σε τέτοιες περιοχές (ΦΩΤ.Θ1).

Πενήντα περίπου είναι μόνο οι περιοχές όπου έχουμε παρουσία τέτοιων κοιτασμάτων, κατά μήκος των 50.000 Χιλιομέτρων του παγκοσμίου συστήματος των μέσο-ωκεάνιων ράχεων και των ζωνών διάρρηξης όλων των μεγάλων ωκεανών. Σύμφωνα με την θεωρία των τεκτονικών πλακών, τα κέντρα επέκτασης του θαλασσίου πυθμένα είναι στην ουσία τα όρια αποκλινουσών πλακών (ΦΩΤ.Θ1) κατά μήκος των οποίων έχουμε τη δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού ο οποίος αποτελεί το ανώτερο τμήμα της λιθόσφαιρας πάχους 5-10 Χιλιομ. πάνω από την ασυνέχεια MohoΤα υδροθερμικής προέλευσης κοιτάσματα συναντώνται και συνδέονται με τα τεκτονικά περιβάλλοντα που δημιουργούνται στη διάρκεια των πρώιμων και προχωρημένων σταδίων της ωκεάνιας εξέλιξης (του ανοίγματος μιας ωκεάνιας λεκάνης). Το κέντρο επέκτασης μπορεί να είναι χαμηλό (‹2εκατ./χρόνο) ή ενδιάμεσο έως ταχύ πάχος εξάπλωσης (›2 εκατ./χρόνο).

Η συγκέντρωση των κοιτασμάτων εξαρτάται από τις ειδικές θερμικές και τεκτονικές συνθήκες οι οποίες ποικίλλουν στα διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα. Οι ειδικές τεκτονικές και θερμικές συνθήκες περιλαμβάνουν τις πολύ ψηλές θερμικές βαθμίδες που με τη σειρά τους, δημιουργούν ισχυρή υδροθερμική μεταγωγή θερμότητας, και ρευστών ασυνήθιστα υψηλές διαπερατότητες ώστε να διευκολυνθεί η ογκώδης κυκλοφορία. Βοηθά επίσης σημαντικά η ευνοϊκή κατανομή στο χώρο των βαθέων και ρηχών μαγματικών πηγών θερμότητας, η γεωμετρική κατανομή των ρηγμάτων κ.λ.π.

Η ανερχόμενη πλευρά της πτυχής μιας μέσο-ωκεάνιας ράχης και η ζώνη εκφόρτισης των υψηλής έντασης υδροθερμικών διαλυμάτων κατά μήκος ή πολύ πλησίον του ενεργού
κέντρου επέκτασης αποτελούν τις τοποθεσίες συγκέντρωσης όλης της σειράς των υδροθερμικών κοιτασμάτων.

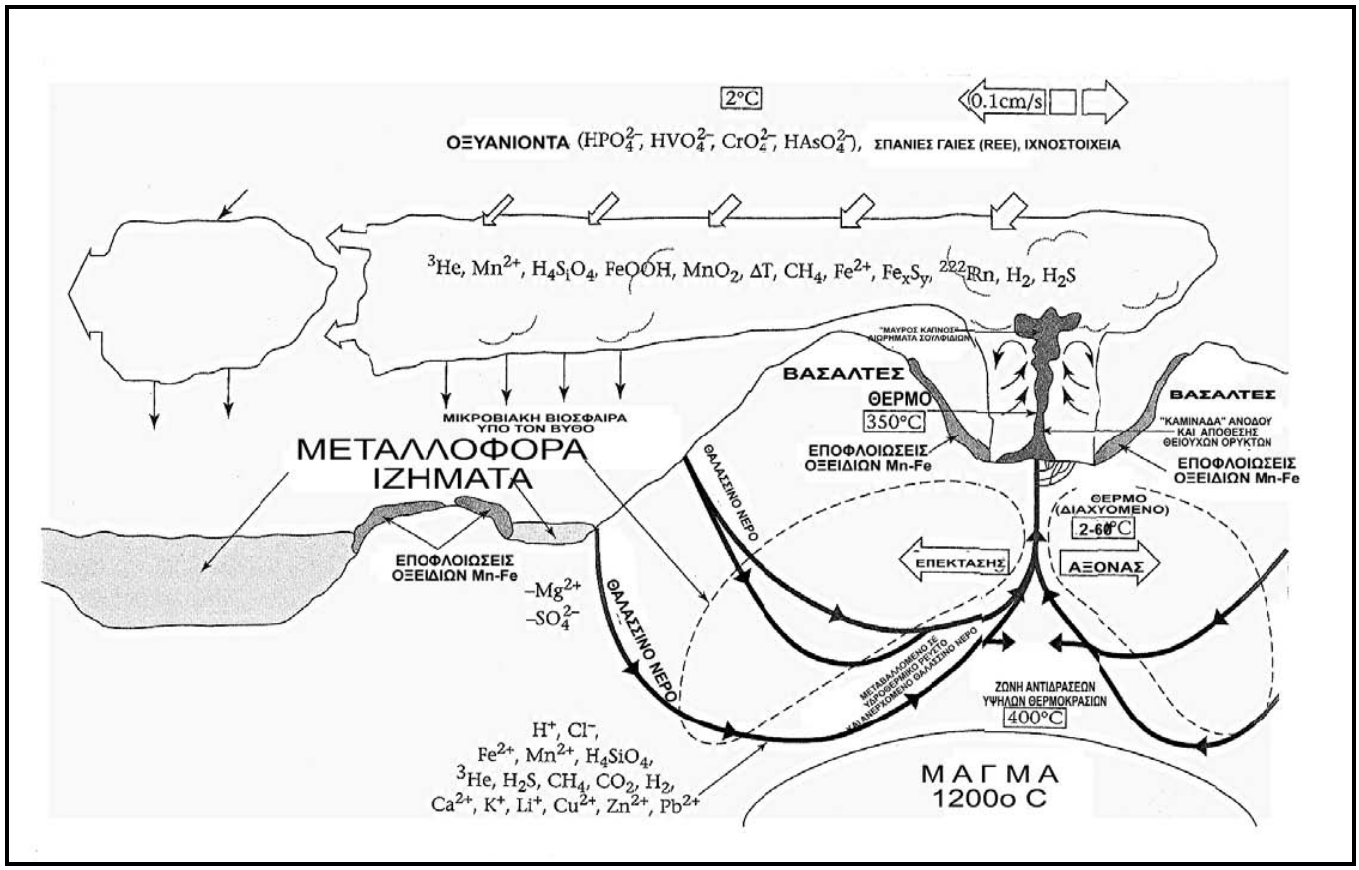
Τα κοιτάσματα που προκύπτουν με τη μορφή διάσπαρτων, ή σε σωρούς και πλέγμα φλεβιδίων stockwork) σουλφιδίων, βρίσκονται στα βαθύτερα τμήματα του ανώτερου στρώματος εντός της μεσο-ωκεάνιας ράχης (ΦΩΤ.Θ5.) (που αποτελείται κυρίως από βασικά πετρώματα βασαλτικής συστάσεως). Τα κοιτάσματα που προκύπτουν με τη μορφή συμπαγών θειούχων βρίσκονται στο επάνω τμήμα του ανωτέρου στρώματος καθώς και στο εξωτερικό τμήμα της μεσο-ωκεάνιας ράχης.



ΦΩΤ. Θ5 Μοντέλο που δείχνει το υδροθερμικό σύστημα μεταφοράς θερμότητας ρευστού(κυρίως θαλασσινό νερό) πάνω από ένα μαγματικό θάλαμο σε ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες. Η ακτίνα ενός τυπικού υδροθερμικού συστήματος μεταφοράς είναι περίπου 3-5 χιλιομ. Το βάθος του μαγματικού θαλάμου ποικίλει από 1.5-3.5 χιλιομ.(Από P.Herzing and M.Hannington 2000)

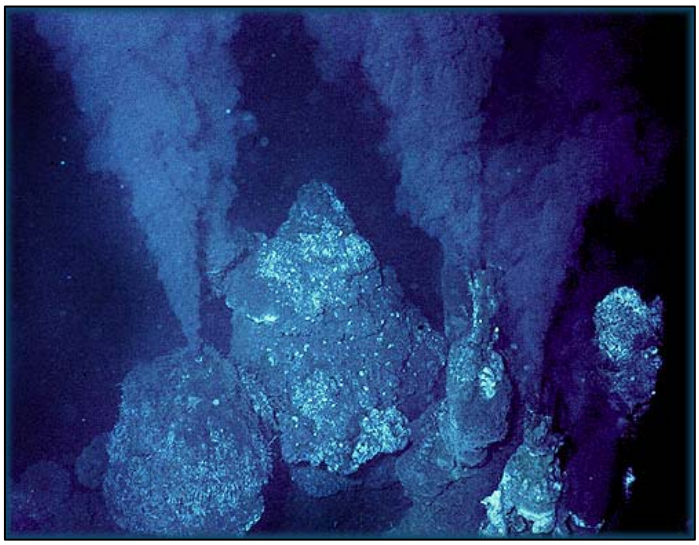
Τέλος τα άλλα προϊόντα της υδροθερμικής δράσης δηλαδή σουλφίδια πυριτικά, ορυκτά, οξείδια και υδροξείδια Fe-Mn σε μορφή ενστρώσεων ή μεταλλοφόρων κόκκων σαν συστατικά των ιζημάτων (μεταλλοφόρα ιζήματα) βρίσκονται στο εξωτερικό τμήμα της μεσο-ωκεάνιας ράχης και στις παρυφές της.**(ΦΩΤ.Θ6.)** Οι χημικές φάσεις, η ορυκτολογία σε κάθε τύπο κοιτάσματος από τα διάφορα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα παρουσιάζονται στον ΠΙΝ.Θ3.

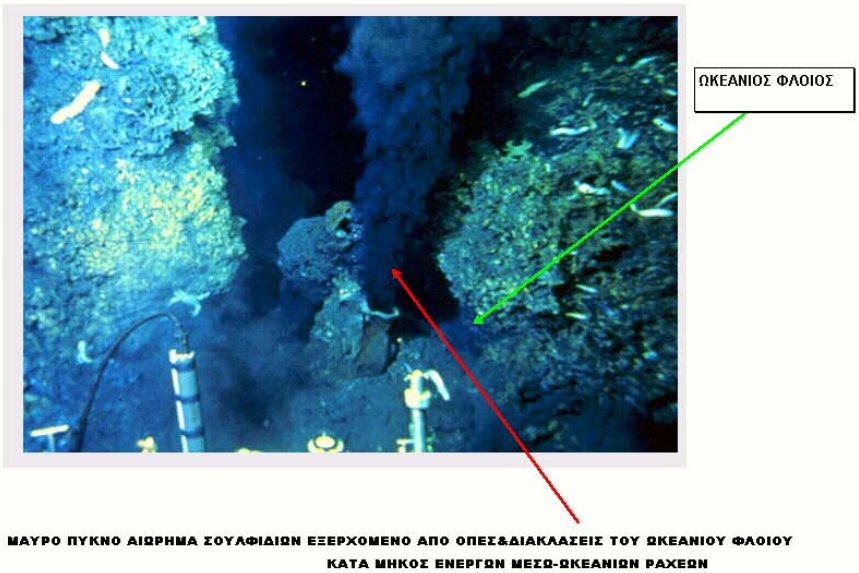
Οι διάφορες χημικές φάσεις δυνατόν να απαντώνται είτε ξέχωρα είτε σαν πολυφασικά συναθροίσματα υδροθερμικής προέλευσης ορυκτών, πολλές φορές εκτός φυσικοχημικής ισορροπίας, η σύσταση των οποίων εξαρτάται από τις συνθήκες της εναπόθεσης των.



ΦΩΤ.Θ6. Ολοκληρωμένο μοντέλο συστήματος υδροθερμικής μεταφοράς θερμότητας μέσω υδροθερμικών ρευστών, αποτελεσμάτων χημικής αλληλοεπίδρασης θαλασσινού νερού με το ωκεάνιο υπόβαθρο(κυρίως βασάλτη) και υδροθερμικών τηγμάτων προερχομένων από τον υποκείμενο μαγματικό θάλαμο, καθώς και του φαινομένου και των φάσεων της μεταλλογένεσης που προκύπτει από αυτή την αλληλοεπίδραση.

Στη **ΦΩΤ.Θ7**. εμφανίζονται χαρακτηριστικές φωτογραφίες από υποθαλάσσιες κάμερες σε περιοχές με έντονη και με μεγάλη πίεση εξερχομένων πυκνών,λεπτόκοκκων εναιωρημάτων μαύρων σουλφιδίων (black smoke) από οπές και ρήγματα ου ωκεάνιου φλοιού(συνήθως βασάλτης).



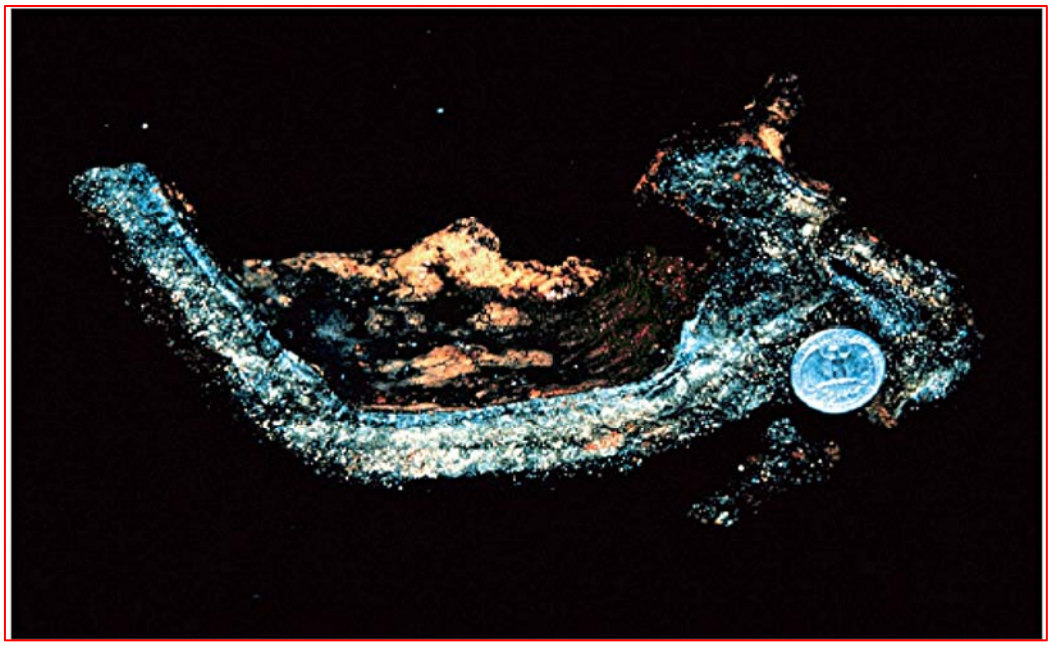


ΦΩΤ.Θ7. Εμφανίσεις πυκνών,λεπτόκοκκων εναιωρημάτων μαύρων σουλφιδίων (black smoke) από οπές και ρήγματα ου ωκεάνιου φλοιού(συνήθως βασάλτης).

ΠΙΝΑΚΑΣ Θ3. Οι κυριότερες χημικές φάσεις, η ορυκτολογία, τα κύρια παρόντα μέταλλα σε όλους τους τύπους των υδροθερμικών μεταλλοφοριών (Από P.Rona 1983,τροποποιημένο από Κ.Θ.Παπαβασιλείου 2004)

ΤΥΠΟΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ		ΘΕΙΟΥΧΟΣ ΦΑΣΗ		ΠΟΛΥΤΙΜΑ ΜΕΤΑΛΛΑ ΣΤΗ ΘΕΙΟΥΧΟ ΦΑΣΗ			ΘΕΪΚΗ ΦΑΣΗ		ΠΥΡΙΤΙΚΗ ΦΑΣΗ	ΦΑΣΗ ΟΞΕΙΔΙΩΝ ΚΑΙ ΥΔΡΟ-ΟΞΕΙΔΙΩΝ		ΑΝΘΡΑΚΙΚΗ ΦΑΣΗ
	ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ	ΣΥΜΜΕΤΟΧΗ ΤΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΦΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΟΛΟ ΚΟΙΤΑΣΜΑ	ΜΕΤΑΛΛΑ	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΤΗΝ ΟΛΗ ΘΕΙΟΥΧΟ ΦΑΣΗ(ppm)	ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΣΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΦΑΣΕΙΣ(% ξηρό βάρος)	ΚΥΡΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ	ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΚΗ ΣΥΝΘΕΣΗ	ΠΛΟΥΣΙΑ ΣΕ Fe	ΠΛΟΥΣΙΑ ΣΕ Mn	
ΣΥΜΠΑΓΗ ΘΕΙΟΥΧΑ	Cu	ΜΑΡΚΑΣΙΤΗΣ ΠΥΡΙΤΗΣ	50	Ag	290-480	<36	Cu	ΚΟΠΙΑΠΙΤΗΣ	ΝΟΝΤΡΟΝΙΤΗΣ	ΓΚΕΤΙΤΗΣ		
	Fe			Au	<0.2	0.1-3	Fe	ΧΑΛΚΑΝΘΙΤΗΣ	ΖΕΟΛΙΘΟΙ	ΛΕΙΜΟΝΙΤΗΣ		
	Zn	ΣΦΑΛΕΡΙΤΗΣ ΒΟΥΡΤΣΙΤΗΣ	34				Zn	ΜΕΛΑΝΤΕΡΙΤΗΣ	ΜΟΣΚΟΒΙΤΗΣ	ΟΞΥ-ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΑ Fe		
		ΠΥΡΡΟΧΟΪΤΗΣ						ΓΚΟΣΛΑΡΙΤΗΣ	ΤΑΛΚΗΣ	ΚΟΡΟΥΝΔΙΟ		
		ΧΑΛΚΟΠΥΡΙΤΗΣ						ΓΥΨΟΣ	ΕΝΥΔΡΟ-ΑΜΟΡΦΟ SiO_2			
		ΚΟΥΒΑΝΙΤΗΣ	16					ΓΙΑΡΟΣΙΤΗΣ				
		ΔΙΓΕΝΙΤΗΣ						ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ				
		ΚΟΒΕΛΙΤΗΣ						ΒΑΡΙΤΗΣ				
		ΑΥΤΟΦΥΗΣ Ag						ΕΝΥΔΡΑ ΘΕΪΚΑ ΥΔΡΟΞΕΙΔΙΑ Mn				
								ΕΝΩΣΕΙΣ ΘΕΪΚΟΥ Cu				
ΔΙΑΣΠΑΡΤΑ ΘΕΙΟΥΧΑ	Cu	ΧΑΛΚΟΠΥΡΙΤΗΣ										
	Fe	ΠΥΡΙΤΗΣ, ΠΥΡΡΟΧΟΪΤΗΣ										
	Zn, Ti	ΚΟΒΕΛΙΤΗΣ, ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ										
ΦΛΕΒΙΚΑ ΘΕΙΟΥΧΑ (Stockwork)	Cu	ΧΑΛΚΟΠΥΡΙΤΗΣ										
	Fe	ΠΥΡΙΤΗΣ, ΠΥΡΡΟΧΟΪΤΗΣ										
	Zn, Ti	ΚΟΒΕΛΙΤΗΣ, ΙΛΜΕΝΙΤΗΣ										
ΕΠΙΦΛΟΙΩΣΕΙΣ ΠΥΡΙΤΙΚΩΝ, ΟΞΕΙΔΙΩΝ, ΥΔΡΟ-ΟΞΕΙΔΙΩΝ									ΝΟΝΤΡΟΝΙΤΗΣ	ΓΚΕΤΙΤΗΣ	ΜΠΙΡΝΕΣΙΤΗΣ, ΤΟΝΤΟΡΟΚΙΤΗΣ, ΠΥΡΟΛΟΥΣΙΤΗΣ, ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗΣ, ΜΑΓΓΑΝΙΤΗΣ	
ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΙΖΗΜΑΤΑ	Fe			Ag	54			ΑΝΥΔΡΙΤΗΣ	ΝΟΝΤΡΟΝΙΤΗΣ	ΓΚΕΤΙΤΗΣ	ΜΑΓΓΑΝΙΤΗΣ, ΤΟΝΤΟΡΟΚΙΤΗΣ	ΡΟΔΟΧΡΩΣΙΤΗΣ ,ΜΑΓΓΑΝΙΟΣΙΔΕΡΙΤΗΣ
	Cu			Au	0.5			ΓΥΨΟΣ	ΧΑΜΟΣΙΤΗΣ	ΛΕΙΜΟΝΙΤΗΣ		
	Zn									ΛΕΠΙΔΟΚΡΟΚΙΤΗΣ		
	Cd, Pb, Hg									ΑΙΜΑΤΙΤΗΣ		
										ΜΑΓΝΗΤΙΤΗΣ		

Οι κυριότερες εμφανίσεις συμπαγών θειούχων βρίσκονται στην κορυφογραμμή των East Pacific Rise (21^{o} N) **(ΦΩΤ.Θ8)** ενώ το σημαντικότερο κοίτασμα μεταλλοφόρων ιζημάτων με σουλφίδια βρίσκεται στην Ερυθρά θάλασσα (Atlantis II Deep), όπου ένα σχεδόν καθαρής υδροθερμικής σύστασης ίζημα βρίσκεται ήδη σε δημιουργία. Το κοίτασμα αυτό περιγράφτηκε ήδη παραπάνω.



ΦΩΤ.Θ8.Εγκάρσια τομή συμπαγούς θειούχου μεταλλοφορίας από την περιοχή E.P.R

Σε αντίθεση με την Ερυθρά θάλασσα το υδροθερμικό κλάσμα των μεταλλοφόρων ιζημάτων κατά μήκος των μεσω-ωκεάνιων ράχεων είναι "αραιωμένο" σε διάφορες αναλογίες από χερσογενή, αυτογενή υδρογενούς προέλευσης συστατικά καθώς και από βιογενή συστατικά.

Η σημασία της ανακάλυψης και μελέτης των υποθαλάσσιων υδροθερμικών μηχανισμών υπήρξε σταθμός για τις γεωεπιστήμες. Κύρια γιατί σήμερα μετά από πολύχρονες μελέτες στην ξηρά και τη θάλασσα είναι φανερό ότι ένα μεγάλο ποσοστό των συμπαγών θειούχων κοιτασμάτων Cu, Pb, Zn που σήμερα βρίσκονται υπό εκμετάλλευση στην ξηρά, σχηματίστηκαν στον ή κάτω από τον θαλάσσιο βυθό. Κατά συνέπεια αντίστοιχα κοιτάσματα και μεταλλοφόρες εμφανίσεις που σήμερα σχηματίζονται στους ωκεανούς -κύρια κατά μήκος των ενεργών μεσο-ωκεάνιων ράχεων - μπορούν να θεωρηθούν και να χρησιμοποιηθούν αφ' ενός μεν σα μοντέλα εργασίας για να ερευνηθούν και αξιολογηθούν καλύτερα τα αντίστοιχα κοιτάσματα στην ξηρά, αφ' ετέρου δε τα ίδια σαν μελλοντικά εν δυνάμει εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα.
Ήδη η ερευνά τους που βρίσκεται σήμερα σε πλήρη εξέλιξη κατευθύνεται και προς τους δύο αυτούς στόχους. Πολλά προβλήματα περιμένουν ακόμη να λυθούν από μία έρευνα που πρακτικά με τις νέες

τεχνολογικές εξελίξεις, την δυνατότητα άμεσης παρατήρησης και δειγματοληψίας με ειδικά ερευνητικά βαθυσκάφη, άρχισε σχετικά πρόσφατα.

Είναι φανερό κατ' αρχήν ότι η υδροθερμική δραστηριότητα είναι άμεσα συνδεδεμένη με την υποθαλάσσια ηφαιστειακή δράση που εκδηλώνεται κατά μήκος των ενεργών μέσο-ωκεάνιων ράχεων των νησιωτικών τόξων και σε ορισμένες περιπτώσεις των υποθαλάσσιων ορέων.

Όταν φθάσει κανείς να αξιολογήσει τη δυνατότητα ύπαρξης τέτοιων κοιτασμάτων στα παραπάνω γεωτεκτονικά περιβάλλοντα πρέπει να λάβει υπόψη του ότι ***απαιτούνται πέντε (6) βασικές προϋποθέσεις για τον σχηματισμό και διατήρηση υποθαλάσσιων –συμπαγών κυρίως – θειούχων κοιτασμάτων που να έχουν και οικονομική διάσταση μελλοντικής αξιοποίησης.*** Αυτές είναι:

- **Υψηλή ροή θερμότητας, υψηλή γεωθερμική βαθμίδα που να προέρχεται από μία τοπική πηγή θερμότητας.**
- **Η πηγή αυτή πρέπει να είναι ικανού μεγέθους ώστε να προκαλέσει κυκλοφορία μεγάλης κλίμακας των υδροθερμικών ρευστών, σε μεγάλη απόσταση (κάποιων χιλιομέτρων) μέσω των υποθαλάσσιων πετρωμάτων.**
- **Πετρώματα με σχετικά υψηλή περιεκτικότητα σε βασικά μέταλλα και με εκτεταμένο σύστημα διακλάσεων –ρηγματώσεων – να είναι δηλαδή περατά, ώστε να επιτρέπει την κυκλοφορία των υδροθερμικών ρευστών μέσα από τον ωκεάνιο φλοιό και την εκφόρτισή τους κατόπιν στον πυθμένα της θάλασσας.**
- **Το θαλασσινό νερό στην περιοχή και κατόπιν το δημιουργούμενο υδροθερμικό ρευστό να είναι σχετικά υψηλού ιονικού δυναμικού έχοντας σαν βασικό ανιόν το Cl^-. Μία τέτοια φυσικοχημική προϋπόθεση επιτρέπει στο ρευστό να διαλύει από το πέτρωμα και να μεταφέρει διάφορα ppm μετάλλων και θείου (S) σε αναγωγική κατάσταση σε διάλυμα.**
- **Μηχανισμό για την καταβύθιση των θειούχων ορυκτών από το υδροθερμικό ρευστό.**
- **Ικανή προσφορά-καταβύθιση νέου ηφαιστειακού και ιζηματογενούς υλικού ώστε στοιχειωδώς να καλύψει και να διατηρήσει το δημιουργηθέν κοίτασμα.**

Η ροή θερμότητας προσδιορίζεται από το όλο πλαίσιο της τεκτονικής των πλακών και συγκεκριμένα από τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά μήκος των ακμών των απομακρυνόμενων ή συγκλινουσών πλακών.

Τα περατά πετρώματα είναι συνηθέστατα είτε μόνο θολειτικοί βασάλτες ή συνδυασμούς βασάλτη με μερικώς λιθοποιημένα ιζήματα θαλασσιάς και/ ή ηπειρωτικής προέλευσης. Οι μηχανισμοί καταβύθισης διαφέρουν συνήθως όμως περιλαμβάνουν είτε μία αύξηση του pH (μέσω αντίδρασης του θαλασσινού νερού με τα πετρώματα) είτε μία μείωση της θερμοκρασίας. Τα κοιτάσματα του τύπου αυτού συνδέονται με διάφορα τεκτονικά περιβάλλοντα. Το πλέον διαδεδομένο είναι είτε αυτό που συνδέεται με το ώριμο στάδιο εξέλιξης της ωκεάνιας λεκάνης κατά μήκος αποκλινουσών πλακών, με σχετικά χαμηλή προσφορά ιζήματος είτε αυτό του τύπου back-arc.

Τα πράγματα γίνονται πολύ πιο μπερδεμένα όταν έρθουμε στην περίπτωση της μετεξέλιξης ενός περιβάλλοντος νησιωτικού τόξου ή μη ρηγματωμένου (με μορφή τάφρου) ηπειρωτικού φλοιού σε ώριμη ωκεάνια λεκάνη. Στην περίπτωση αυτή έχουμε κατ' αρχήν ελάττωση του πάχους του φλοιού, έναρξη ρηγμάτωσης, αρχή διάνοιξης τάφρου. Σήμερα τέτοια παραδείγματα είναι σπάνια, τα πλέον όμως χαρακτηριστικά είναι στην Β. Ερυθρά Θάλασσα στο τρίγωνο του Afar (Τάφρος Α. Αφρικής)

και στην τάφρο της θαλάσσιας περιοχής του Salton. Ανάλογη περίπτωση δυνατόν να έχουμε και στον τάφρο του Β. Αιγαίου (N. Aegean Trough). Συχνά σε τέτοια περιβάλλοντα που είναι κοντά σε ηπείρους έχουμε έντονη ιζηματογένεση και σχηματισμό κατ' ακολουθία ιζηματογενών λεκανών. Τέτοιες λεκάνες δυνατόν να "φιλοξενούν" πετρέλαιο ή/και εκτεταμένες μεταλλοφορίες. Η μεταλλοφορία λαμβάνει χώρα σε περιβάλλον υψηλής ροής θερμότητας (υψηλής γεωθερμικής βαθμίδας), καθώς επεκτείνεται η ρηγμάτωση, διευρύνεται η τάφρος και αρχίζει η επέκταση των ωκεάνιου φλοιού η φύση των ιζημάτων που προσφέρονται στην τάφρο αλλάζει από ποτάμιας σε καθαρά θαλάσσιας προέλευσης.

Οι σχηματισμοί αυτοί διαπερνώνται κατόπιν από θολεϊτικές στρωματοειδείς διεισδύσεις (sills) ή φλέβες. Η δημιουργούμενη υδροθερμική δραστηριότητα προκαλεί μεταμόρφωση των ιζημάτων της λεκάνης και των ηφαιστειακών πετρωμάτων. Η μεταμόρφωση είναι πρασινοσχιστολιθικής φάσης (μέσος βαθμός καθολικής μεταμόρφωσης).

Τα υποθαλάσσια όρη (seamountains) που αποτελούν ξεχωριστά ηφαιστειακά κέντρα συνδέονται με όλα σχεδόν τα περιβάλλοντα που έχουμε διάνοιξη του φλοιού και δημιουργία τάφρου, ιδίως δε σε περιπτώσεις που έχουμε χαμηλές έως μέσες ταχύτητες επέκτασης του ωκεάνιου φλοιού. Σε τέτοια περιβάλλοντα έχουμε επίσης συχνά υδροθερμική δράση, που συνοδεύει την ηφαιστειακή και μεταλλογέννεση.

Το Φαινόμενο της μεταλλογέννεσης

Αναφέρθηκε πιο πάνω ότι χρειάζεται η ύπαρξη πέντε βασικών προϋποθέσεων για την γένεση και διατήρηση υποθαλάσσιων θειούχων κοιτασμάτων. Πιο κάτω θα αναλυθούν λόγο εκτενέστερα οι προϋποθέσεις αυτές :

Προϋπόθεση 1 : Θαλασσινό νερό και κατόπιν υδροθερμικό θερμό σχετικά υψηλού ιονικού δυναμικού ώστε να είναι σε θέση να διαλύει από το πέτρωμα και να μεταφέρει σε διάλυμα διάφορα ppm μετάλλων και ιόντων S^{-2} (σε αναγωγική κατάσταση).

Μελέτες και γεωτρήσεις σταθερών ισοτόπων και ρευστών εγκλεισμάτων σε μοντέρνα θειούχα υποθαλάσσια κοιτάσματα και σε αντίστοιχα παρόμοιας προέλευσης κοιτάσματα που σχηματίσθηκαν στην ξηρά, απέδειξαν ότι τα μεταλλοφόρα ρευστά καθώς ανέρχονται θερμαίνουν ταυτόχρονα το θαλασσινό νερό το οποίο αλληλεπιδρά χημικά με τον ωκεάνιο φλοιό στην διάρκεια της λειτουργίας των ρευμάτων μεταγωγής θερμότητας κάτω από τον θαλάσσιο πυθμένα όταν το μάγμα ανέρχεται προς τα πάνω. Στη διάρκεια της φυσικοχημικής αλληλοεπίδρασης πετρώματος-θαλασσινού νερού, μέταλλα αποσπώνται από το πέτρωμα, ενώ το SO_4^{-2} του θαλασσινού νερού ανάγεται σε HS^- (από θειούχα ρίζα σε ρίζα υδροσουλφιδίων). Μαγματικό ρευστό που έχει υψηλή αλατότητα και είναι εμπλουτισμένο σε μέταλλα δυνατόν να ενσωματωθεί στο θερμό ρεύμα μεταγωγής του θαλασσινού νερού. Πάντως η ποσότητα του πρέπει να είναι πολύ μικρή και έτσι πολύ δύσκολα μπορεί να ανιχνευθεί από ισοτοπικές μετρήσεις.

Προϋπόθεση 2 : Υψηλή ροή θερμότητας (υψηλή θερμική βαθμίδα) ικανού μεγέθους ώστε να προκαλέσει εκτεταμένη κλίμακας κυκλοφορία του υδροθερμικού ρευστού σε ακτίνα διαφόρων χιλιομέτρων μέσω των πετρωμάτων του ωκεάνιου φλοιού.

Μεγάλες πυριγενείς (πλουτώνιες) διεισδύσεις θεωρούνται οι βασικές πηγές θερμότητας κάτω από τα σημερινά υποθαλάσσια θειούχα κοίτασμα αλλά και τα παλαιά (που τώρα βρίσκονται στην ξηρά) ηφαιστειακής προέλευσης συμπαγή θειούχα. Φυσικά τέτοιες πηγές, θερμότητας δεν είναι εύκολα να εξακριβωθεί αν λειτουργούν κάτω από θειούχα που φιλοξενούνται σε ιζηματογενείς σχηματισμούς.

Από ότι φαίνεται τα κοιτάσματα αυτά σχηματίσθηκαν από ρευστό χαμηλότερων θερμοκρασιών και αν λειτούργησε κάποια πυριγενής πηγή θερμότητας αυτή πρέπει να βρισκόταν αρκετά μακριά από την περιοχή εξόδου των μεταλλοφόρων ρευστών.

Στις περιπτώσεις των θειούχων κοιτασμάτων που φιλοξενούνται σε ιζηματογενείς σχηματισμούς και σχηματίζονται στα περιθώρια ενεργών ηπειρωτικών τάφρων, έχουμε πάντα υψηλή ροή θερμότητας, υψηλή γεωθερμική βαθμίδα εξ αιτίας του ανώμαλου θερμικού καθεστώτος που δημιουργείται από την γένεση τέτοιων τεκτονικών περιβαλλόντων.

Προϋπόθεση 3 : Ύπαρξη πετρωμάτων με εκτεταμένο σύστημα διακλάσεων-ρηγματώσεων ώστε να επιτρέπει την κυκλοφορία των υδροθερμικών ρευστών μέσα από τον ωκεάνιο φλοιό Παράλληλα οι διακλάσεις και τα ρήγματα πρέπει να έχουν τέτοιο προσανατολισμό ώστε να κατευθύνουν τα ρευστά στον θαλάσσιο πυθμένα. Αυτό το εκτεταμένο σύστημα κατατμήσεων ή /και ρηγμάτων που έχουν μεγάλο βάθος μέσα στον ωκεάνιο φλοιό, και που διαπερνούν ανώτερο τμήμα ενός αρχικά μη πετρώματος, είναι ιδανικό.

Για να σχηματισθούν μεγάλα κοιτάσματα με οικονομικό ενδιαφέρον αυτό το σύστημα κατατμήσεων-ρηγμάτων πρέπει να κατευθύνει το ρευστό μόνο σε λίγες περιοχές. Σε αντίθετη περίπτωση τα προϊόντα από την αποφόρτιση των υδροθερμικών ρευστών θα διασκορπιστούν σε μεγάλη ακτίνα και θα είναι μη οικονομικά. Σύστημα κατατμήσεων που εμφανίζει ένα ορθογώνιο σχέδιο -πράγμα που σημαίνει ύπαρξη εφελκυσμού τεκτονικού περιβάλλοντος - όπως συμβαίνει σε αποκλίνουσες πλάκες έχει βεβαιωθεί από τον SCOTT (1980) για κάποιες περιοχές όπου υπάρχουν ηφαιστειακής προέλευσης συμπαγή θειούχα κοιτάσματα.

Προϋπόθεσεις 4 και 5 : Λειτουργία μηχανισμού για την καταβύθιση των θειούχων ορυκτών από το υδροθερμικό ρευστό. Υποθέτοντας ότι η διαμορφούμενη υδροστατική πίεση της στήλης του θαλασσινού νερού που σκεπάζει μία ενεργό μέσο-ωκεάνια ράχη, είναι αρκετή ώστε να εμποδίζει τον βρασμό η απλή ανάμιξη των υδροθερμικών ρευστών με το ψυχρό θαλασσινό νερό θα έχει σαν αποτέλεσμα την γρήγορη καταβύθιση από τα διαλύματα των πολυμεταλλικών σουλφιδίων και των θειικών ενώσεων (SO_4^{-2}) του Ca και του Ba (οι θεϊκές ρίζες προέρχονται από το κυκλοφορούν θαλασσινό νερό) με αποτέλεσμα να παράγεται το ήδη γνωστό από πολλές μέσο-ωκεάνιες ράχες φαινόμενο της "βεντάλιας" από μαύρο καπνό "black smoker plume" που δεν είναι τίποτε άλλο παρά τα παραπάνω σχηματισθέντα λεπτόκοκκα πυριτικά ορυκτά που καθιζάνουν στις περιοχές εξόδου των υδροθερμικών ρευστών και έχουν μαύρο χρώμα λόγω της επικράτησης των λεπτομερών σουλφιδίων.

Αν η έξοδος των υδροθερμικών ρευστών λαμβάνει χώρα σε "ρηχό" υποθαλάσσιο περιβάλλον τότε η υδροστατική πίεση της υπερκείμενης στήλης του θαλασσινού νερού δεν μπορεί να εμποδίσει τα φαινόμενο του βρασμού. Στην περίπτωση αυτή έχουμε διαφορετικό φυσικοχημικό φαινόμενο. Συγκεκριμένα ο βρασμός και κατόπιν ο αποχωρισμός της αέριας φάσης αφήνει πίσω ένα υπολειμματικό ρευστό που σε σχέση με το αρχικό υδροθερμικό ρευστό είναι: χαμηλότερης θερμοκρασίας (κύρια λόγω μεταβολών της ενθαλπίας) υψηλότερης αλατότητας (λόγω της συμμετοχής του NaCl στη ρευστή φάση), χαμηλότερης περιεκτικότητας σε H_2S (λόγω συμμετοχής και διαφυγής του μεγαλύτερου ποσοστού H_2S στην αέριο φάση).

Το φαινόμενο αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό φλεβών κάτω από τον ωκεάνιο πυθμένα ή την εκφόρτιση ρευστών υψηλής πυκνότητας που μεταναστεύουν σε κάποια απόσταση από τα σημεία εξόδου πριν αρχίσει η καταβύθιση των ορυκτών φάσεων. Στην περίπτωση αυτή σχηματίζονται τα λεγόμενα "αποστασιοποιημένα" κοιτάσματα (distal deposits) που προφανώς σχηματίσθηκαν σε κάποια απόσταση σε σχέση με το σημείο εξόδου των υδροθερμικών ρευστών. Η δημιουργία τέτοιων κοιτασμάτων διευκολύνεται από την ευξυνική παραγωγή βιογενούς H_2S κάτω από ισχυρές αναγωγικές συνθήκες ιδίως σε υποθαλάσσιες λεκάνες που είναι σχετικά κλειστές. Η λειτουργία ενός τέτοιου φαινομένου επιβεβαιώνεται από τα ετερογενή μεγέθη που δίνουν οι αναλύσεις των ισοτόπων του S.

Προϋπόθεση 6 : Ικανή προσφορά και καταβύθιση νεοφερμένου ηφαιστειακού και ιζηματογενούς υλικού ώστε να καλύψει και να διατηρήσει το δημιουργηθέν κοίτασμα.

Το τάχος κάλυψης των δημιουργηθέντων θειούχων πολυμεταλλικών ορυκτών από ηφαιστειακό και ιζηματογενές υλικό είναι ένας κρίσιμος παράγοντας. Η υπερπροσφορά υλικού στη διάρκεια της μεταλλογέννεσης "αραιώνει" τα θειούχα ορυκτά και κάνει το κοίτασμα μη οικονομικό. Από την άλλη πλευρά ένας πολύ βραδύς ρυθμός καταβύθισης ηφαιστειακού και ιζηματογενούς υλικού έχει σαν αποτέλεσμα την επικράτηση οξειδωτικών συνθηκών πράγμα που σημαίνει οξείδωση και αποσύνθεση των θειούχων ορυκτών που σχηματίζονται κάτω από και απαιτούν αναγωγικές συνθήκες για την διατήρηση τους.

ΠΟΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΙΚΑΝΟΠΟΙΟΥΝ ΤΙΣ ΠΑΡΑΠΑΝΩ ΠΡΟΫΠΟΘΕΣΕΙΣ

Είναι ένα εύλογο ερώτημα. Η απάντηση είναι σημαντική όχι μόνο για τα μοντέρνα ωκεάνια συστήματα αλλά και για τα παλιά που τώρα αποτελούν μέρος της ξηράς.

Οι τελευταίες έρευνες σε νέα και παλιά ωκεάνια συστήματα (Scott 1986 και , Cathles, κ.α. 1983) δείχνουν ότι το γεωλογικό περιβάλλον που ικανοποιεί λίγο ως πολύ ταυτόχρονα τις παραπάνω 5 προϋποθέσεις είναι αυτό της υποθαλάσσιας τάφρου που δημιουργείται στο πρώιμο στάδιο εξέλιξης του ωκεάνιου φλοιού την έναρξη απομάκρυνσης των αποκλινουσών λιθοσφαιρικών πλακών, υψηλής ροής θερμότητας (υψηλή γεωθερμική βαθμίδα), η έντονη και εκτεταμένη κατάτμηση και ρηγμάτωση δίνει τις αναγκαίες συνθήκες για μία σε βάθος κυκλοφορία των υδροθερμικών ρευστών και την ανάπτυξη σημείων εξόδου των ρευστών αυτών που είναι και υψηλής κυκλοφορίας. Η έξοδος τέτοιων ρευστών έχει ήδη παρατηρηθεί και μελετηθεί σε ενεργές μέσο-ωκεάνιες ράχες όπου το τάχος επέκτασης είναι μέσο έως υψηλό.

Επί πλέον η μάλλον ορθογώνια διάταξη του συστήματος ρηγματώσεων που εμφανίζεται σε αρκετές περιοχές που έχουμε συμπαγή θειούχα κοιτάσματα έχουν μία αναλογία με την γεωμετρία των αξόνων επέκτασης και ρηγμάτων μετασχηματισμού που παρατηρούνται στις μοντέρνες ενεργές μέσο-ωκεάνιες ράχες, με την προϋπόθεση ότι η ροή θερμότητας είναι υψηλή και η αναγκαία, πράγμα που σημαίνει ότι το τάχος επέκτασης της νεοσυσταθείσας λεκάνης-τάφρου είναι ›5 cm/χρόνο, ο σχηματισμός συμπαγών θειούχων σε τέτοια περιβάλλοντα είναι εξαιρετικά πιθανός.

ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΕΝΝΕΣΗΣ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΩΝ ΘΕΙΟΥΧΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΕΝΕΡΓΩΝ ΜΕΣΟ-ΩΚΕΑΝΙΩΝ ΡΑΧΕΩΝ

Υπάρχουν δύο βασικά μοντέλα τέτοιας μεταλλογένενσης που σε μεγάλο βαθμό εξαρτώνται από την φυσιογραφία και κυρίως τον βαθμό ιζηματογέννεσης της δημιουργούμενης ενεργής τάφρου.

Ο κρίσιμος παράγοντας που προσδιορίζει το πιο από τα δύό μοντέλα ισχύει σε ένα τέτοιο περιβάλλον είναι το είδος και κύρια η ποσότητα των υπαρχόντων ιζημάτων που καλύπτουν την περιοχή.

Έτσι έχουμε : ***i) τις μέσο-ωκεάνιες ράχες όπου επικρατεί πολύ χαμηλό τάχος ιζηματογέννεσης και τα υπάρχοντα ιζήματα είναι ελάχιστα πολύ μικρού πάχους που μόλις καλύπτουν τον βασικής σύστασης και ωκεάνιας προέλευσης βασάλτη (M.O.R.B) με τυπικό παράδειγμα την περιοχή του Α. Ειρηνικού (East Pacific Rise – E.P.R.)***

ii) τις μέσο- ωκεάνιες ράχες όπου έχουμε υψηλό τάχος ιζηματογένεσης και επομένως την ύπαρξη ιζημάτων μεγάλου πάχους που είναι και ο επικρατών σχηματισμός με τυπικό παράδειγμα την λεκάνη Guaymes και τον κόλπο της Καλιφόρνιας.

Και στις δύο περιπτώσεις το βασικό μεταλλογεννετικό φαινόμενο είναι το ίδιο. (ΦΩΤ.Θ7).Η διαφορά όμως στο τάχος ιζηματογένεσης και ο επικρατών τύπος της λιθολογίας του υλικού που γεμίζει την νέο-δημιουργούμενη λεκάνη-τάφρο, δηλ. ηφαιστειακό ή ιζηματογενές υλικό, έχει σαν αποτέλεσμα τον τελικό σχηματισμό διαφορετικών τύπων κοιτασμάτων. Το ενδιαφέρον είναι ότι και οι δύο περιπτώσεις έχουν ανάλογα σε "αρχαία" γεωλογικά παρόμοια κοιτάσματα που σήμερα βρίσκονται στην ξηρά.

Τα βασικά μεταλλογεννετικά χαρακτηριστικά στα δύο αυτά περιβάλλοντα περιγράφονται συνοπτικά πιο κάτω.

i. ΜΕΣΟΩΚΕΑΝΕΙΕΣ ΡΑΧΕΣ ΦΤΩΧΕΣ ΣΕ ΙΖΗΜΑΤΑ ΠΛΟΥΣΙΕΣ ΣΕ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΟ ΒΑΣΑΛΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ ΥΛΙΚΟ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: East Pacific Rise)

Χαρακτηριστικά :

- Επικρατούν πέτρωμα ο ωκεάνιος θολεϊτικής σύστασης βασάλτης (M.O.R.B).
- Ελάχιστα ιζήματα
- Υψηλό τάχος επέκτασης του ωκεάνιου φλοιού (10-120 cm/χρόνο) και επομένως και υψηλή ροή θερμότητας.

- Τα δημιουργούμενα θειούχα πολυμεταλλικά κοιτάσματα είναι κύρια σουλφίδια του Cu, Zn, Fe με μικρότερα ποσά θειικών ενώσεων του Ca και Ba . Η σχέση θειικών προς θειούχες ενώσεις είναι ‹ 1 ενώ οι περιεκτικότητες σε Ag είναι συχνά υψηλές (Scott, 1986 και). Αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις τέτοιων κοιτασμάτων από αυτού του τύπου τα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα δίνονται στον **Πίνακα Θ4**, ενώ στη **ΦΩΤ.Θ9** δίδεται το σχηματικό μοντέλο μεταλλογένεσης και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδροθερμικών ρευστών που δημιουργούνται και κυκλοφορούν σε ενεργές μεσο-ωκεάνιες

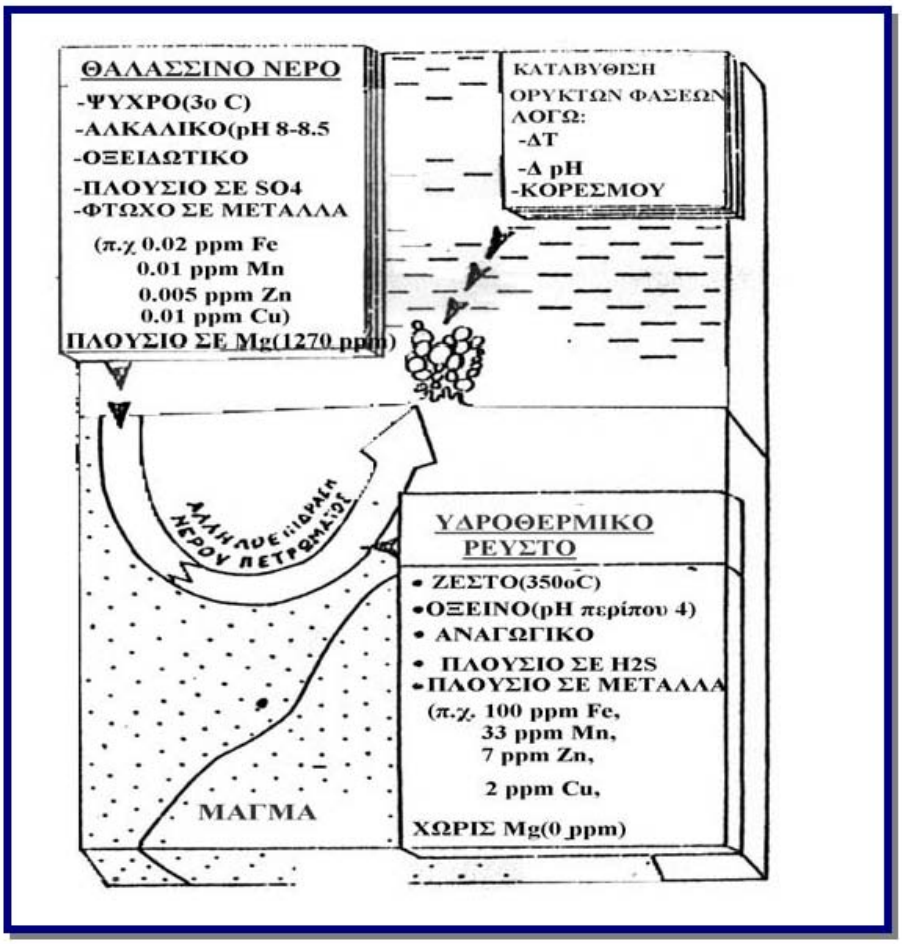
ράχες φτωχές σε ιζήματα(πολύ μικρό πάχος) και πλούσιες σε ηφαιστειακό(βασάλτες) υλικό.

Πίνακας Θ4. Μέσες χημικές αναλύσεις δειγμάτων από υποθαλάσσια πολυμεταλλικά σουλφίδια προερχόμενα από ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες φτωχές σε ιζήματα(πολύ μικρό πάχος) και πλούσιες σε ηφαιστειακό(βασάλτες) υλικό (Από S.Scott 2000)

	21°N EPR	***13°N EPR***	***11°N EPR***	***Explorer Ridge***	***S.Juan de Fuca***	***Galapagos Rift***	***TAG MAR***	***Snake Pit MAR***
Αριθμός αναλυθέντων δειγμάτων	***5***	***33***	***11***	***48***	***3***	***18***	***59***	***31***
Βιβλιογραφία	***1***	***1***	***I***	***1***	***1***	***1,2***	***1***	***3***
Wt%								
Zn	19.8	8.2	28.0	5.3	36.7	4.0	25.2	7.0
Cu	0.6	7.8	1.9	3.2	0.2	4.5	6.3	12.4
Pb	0.21	0.05	0.07	0.11	0.26	0.04	0.04	0.07
Fe	12.4	26.0	22.4	25.9	19.7	32.6	15.4	35.5
SiO_2	19.0	9.2	1.2	9.1	5.1	21.5	6.0	4.2
Ba	0.15	0.4	0.06	7.4	0.06	0.04	‹0.01	0.0
Ca	11.2	4.5	0.02	1.2	0.05	0.3	5.0	0.6
Ppm								
Ag	98	49	38	97	178	46	378	111
Au	0.15	0.42	0.15	0.63	0.11	0.35	5.7	2.2
Hg	2	—	3	11	2	5	25	—
Cd	376	233	886	199	519	109	701	270
Sn	—	‹10	5	10	—	18	2	33
As	296	154	399	544	359	139	66	364
Sb	23	—	30	27	18	11	95	32

Βιβλιογραφία:

1. Hannington et al. (1991a).
2. Hannington et al. (1991a), 18 αναλύσεις, Hannington et al. (1995), 33-41 αναλύσεις.
3. Fouquet et al. (1993b).



ΦΩΤ.Θ9. ΣΣχηματικό μοντέλο μεταλλογένεσης και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδροθερμικών ρευστών που δημιουργούνται και κυκλοφορούν σε ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες φτωχές σε ιζήματα(πολύ μικρό πάχος) και πλούσιες σε ηφαιστειακό(βασάλτες) υλικό. Τα δεδομένα αφορούν ένα τυπικό τέτοιο κοίτασμα στην περιοχή 21° N East Pacific Rise (Από S.Scott 1992)

ii. ΜΕΣΟΩΚΕΑΝΕΙΕΣ ΡΑΧΕΣ ΠΛΟΥΣΙΕΣ ΣΕ ΙΖΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΚΑΙ Ο ΕΠΙΚΡΑΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ (ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ : ΛΕΚΑΝΗ GUAYMAS, ΚΟΛΠΟΣ ΤΗΣ ΚΑΛΙΦΟΡΝΙΑΣ

Χαρακτηριστικά :

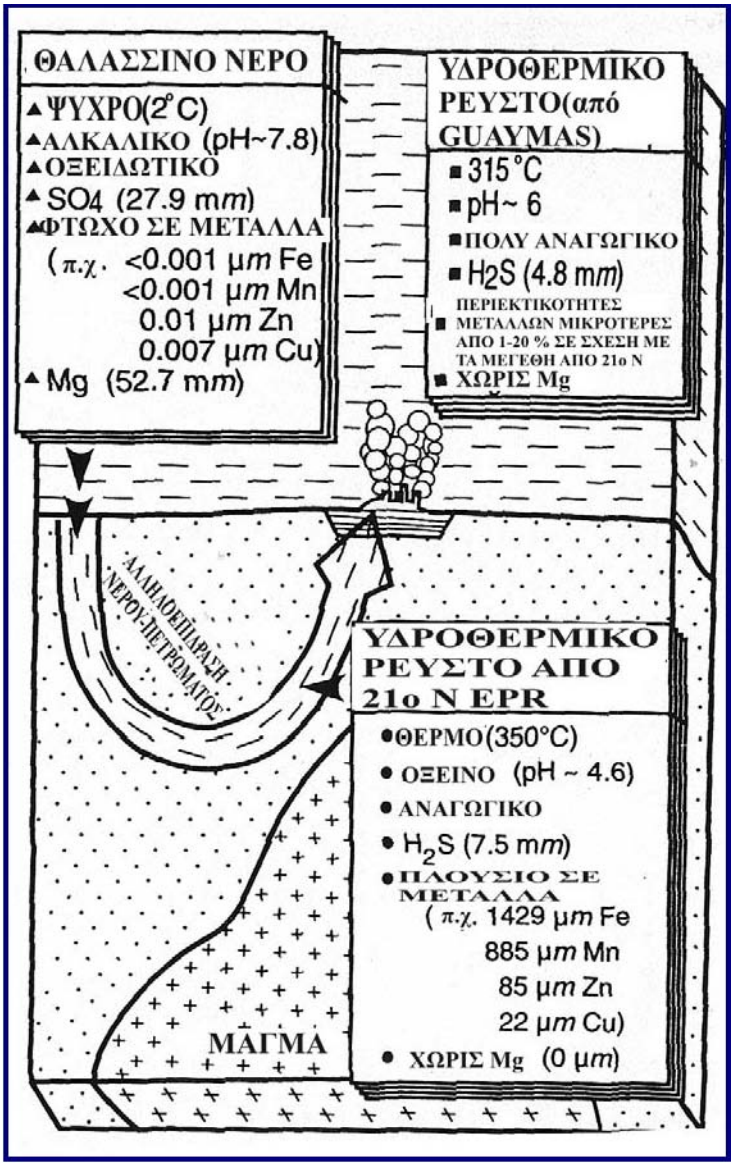
- Μέσο τάχος επέκτασης ωκεάνιου φλοιού (˜6 cm/χρόνο) και επομένως μέση-υψηλή ροή θερμότητας.
-

- Μεγάλο πάχος υπερκείμενων ιζημάτων › 400 m σύστασης σε παρόμοια ποσοστά πηλιτικής έως πλούσια σε οργανική ύλη

- Μικρότερες περιεκτικότητες μετάλλων σε σύγκριση με την περίπτωση (i)

Όπως τονίσθηκε πιο πάνω το βασικό μεταλλογεννετικό φαινόμενο είναι και εδώ το ίδιο έως κάποιο σημείο. Έτσι η αλληλοεπίδραση ζεστού βασάλτη και ψυχρού νερού αρκετά κάτω από τον ρηγματωμένο βυθό παράγει ένα υδροθερμικό ρευστό που δεν διαφέρει και πολύ από αυτό που δημιουργείται στην E.P.R. Στην περίπτωση όμως ύπαρξης μεγάλου πάχους υπερκείμενων ιζημάτων όπως στην λεκάνη της Guaymas τα υδροθερμικά ρευστά διαπερνούν ένα ίζημα πάχους τουλάχιστον 400 μ. σύστασης ανθρακικής και πλούσιο σε οργανική ύλη προτού εκχυθούν στον θαλάσσιο βυθό.

Έτσι τα υδροθερμικά ρευστά αντιδρούν με τα υπερκείμενα ιζήματα πράγμα που παράγει ρευστά πολύ πλουσιότερα σε CO2 και Ca, υψηλότερο pH, παρόμοια περιεκτικότητα H_2S, πολύ χαμηλό Eh (περιβάλλον πολύ αναγωγικό) και πολύ μικρότερες περιεκτικότητες μετάλλων σε σύγκριση με την περίπτωση (i) ΦΩΤ.Θ9.



ΦΩΤ Θ 10. ΣΣχηματικό μοντέλο μεταλλογένεσης και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδροθερμικών ρευστών που δημιουργούνται και κυκλοφορούν σε ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες πλούσιες σε ιζήματα(πολύ μεγάλου πάχους) που είναι και ο σχηματισμός που επικρατεί. Τα δεδομένα αφορούν ένα τυπικό τέτοιο κοίτασμα στην περιοχή Guaymas. Για να υπάρξει μέτρο σύγκρισης με το περιβάλλον (i) παρατίθενται και τα φυσικοχημικά χαρακτηριστικά από το κοίτασμα 21° N East Pacific Rise (Από S.Scott 1992)

Αντιπροσωπευτικές χημικές αναλύσεις τέτοιων κοιτασμάτων από αυτού του τύπου τα γεωτεκτονικά περιβάλλοντα δίνονται στον **Πίνακα Θ5**, ενώ στη **ΦΩΤ.Θ 10.** δίδεται το σχηματικό μοντέλο μεταλλογένεσης και φυσικοχημικών χαρακτηριστικών των υδροθερμικών ρευστών που δημιουργούνται και κυκλοφορούν σε ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες πλούσιες σε ιζήματα(πολύ μεγάλου πάχους).

Πίνακας Θ5. Μέσες χημικές αναλύσεις δειγμάτων από υποθαλάσσια πολυμεταλλικά σουλφίδια προερχόμενα από ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες πλούσιες σε ιζήματα(πολύ μεγάλου πάχους) που είναι και οι σχηματισμοί που φιλοξενούν αυτές τις μεταλλοφορίες. (Από S.Scott 2000)

	Guymas Basin	***Middle Valley***	***Escanaba Trough***	***Atlantis II Red Sea***
Αριθμός δειγμάτων	***14***	***43***	***32***	***53***[a]
Βιβλιογραφία	1, 2	***1***	***3***	
Βάρος %				
Zn	1.0	**2.5**	5.1	5.8
Cu	0.2	0.4	2.3	1.0
Pb	0.4	0.04	1.1	0.1
Fe	5.9	30.3	31.2	21.1
SiO_2	28.4	17.4	2.2	20.7
Ba	14.9	**2.0**	3.2	—
Ca	6.7	0.17	0.07	—
ppm				
Ag	69	9	117	85
Au	0.2	0.14	1.7	2.0
Hg	5	—	185	6
Cd	29	40	308	194
Sn	6	—	187	—
As	113	227	4,600	345
Sb	158	33	567	32

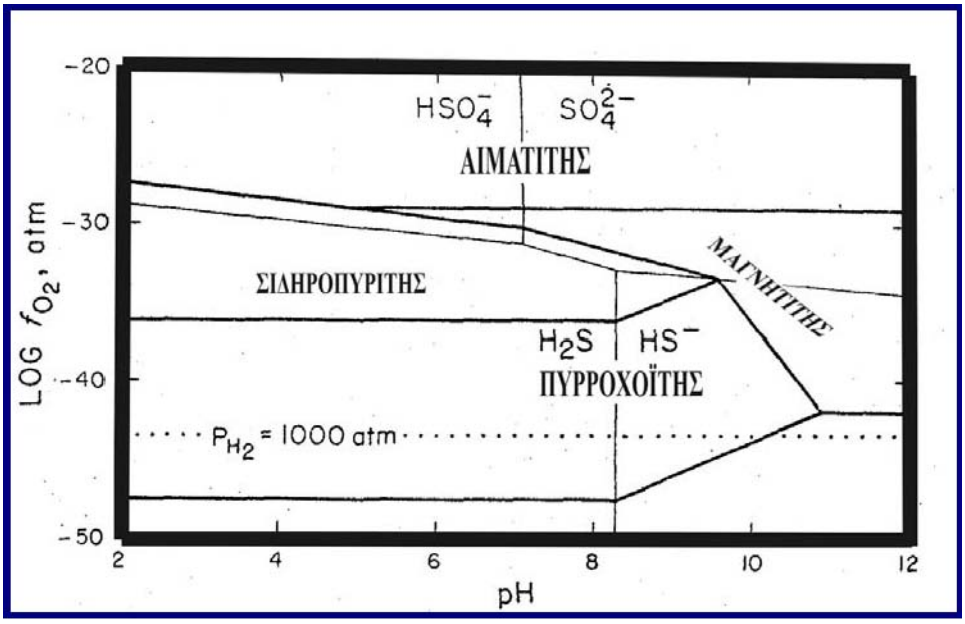
[a]Βέβαια αποθέματα της τάξης των 94 εκατομ. Τόνων με περιεκτικότητες: 2.07% Zn, 0.45% Cu, 39 ppm Ag,
και 0.5 ppm Au. Οι αναλύσεις έγιναν στη βάση μη ύπαρξης αλάτων (Mustafa et al., 1984).

1. Hannington et al. (1991a).
2. Sn από Peter and Scott (1988).
3. Koski et. al. (1994).

Ταυτόχρονα έχουν την δημιουργία υγρών υδρογονανθράκων σε μεγάλες ποσότητες. Το πετρέλαιο σχηματίζεται από την σε υψηλή θερμοκρασία και ταχεία ωρίμανση της οργανικής ύλης των ιζημάτων και μεταφέρεται με τα υδροθερμικά ρευστά σημεία εξόδου δίνοντας έτσι και την χαρακτηριστική οσμή του πετρελαίου.

Σε ότι αφορά τα δημιουργούμενα ορυκτά έχουμε αρκετές διαφορές με το περιβάλλον (i). Έτσι π.χ. στην λεκάνη του Guaymas τα μη μεταλλικά ορυκτά - θεϊκές ή ανθρακικές ως επί το πλείστον ενώσεις - είναι τα επικρατούντα και κύρια ανυδρίτης, βαρύτης, ασβεστίτης. Σε ότι αφορά τα θειούχα μεταλλικά ορυκτά και σε σχέση με το περιβάλλον ο πυροχοϊτης ($Fe_{1-x}S$) είναι το πλέον άφθονο σουλφίδιο με σημαντικά μικρότερες ποσότητες σουλφιδίων Zn, Cu-Fe και Pb, ενώ ο σιδηροπυρίτης FeS_2 συναντάται σπανίως. Η επικράτηση του πυροχοϊτη σε σχέση με τον πυρίτη στην περίπτωση αυτή οφείλεται στην υψηλή

αναγωγική κατάσταση του προκύπτοντος τελικά υδροθερμικού ρευστού (ΦΩΤ.Θ.11) παρά το γεγονός ότι η σχέση H_2S/Fe στο υδροθερμικό ρευστό από τη λεκάνη της Guaymas είναι σημαντικά υψηλότερη σε σχέση με αυτή του EPR (περιβάλλον i).

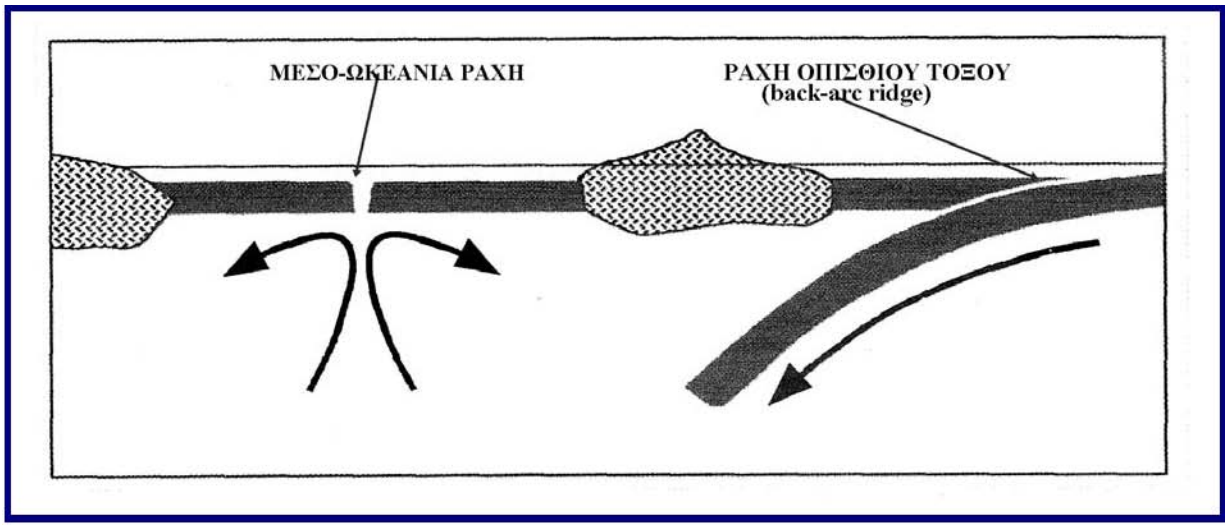


ΦΩΤ.Θ 11. Η πτητικότα του οξυγόνου(σε λογαριθμική κλίμακα) σε συνάρτηση με το pH για το σύστημα Fe-S-O στους 300° C και η συνολική ενεργότητα των ιόντων S^- σε συγκέντρωση 0.1(Από S.Scott 1985). Το πεδίο σταθερότητας του Πυρροχοϊτη βρίσκεται σε ισχυρότερες αναγωγικές συνθήκες (υψηλότερο LOG f O_2) σε σχέση με αυτό του Σιδηροπυρίτη ανεξάρτητα από την τιμή του pH της περιεκτικότητας σε ιόντα S ή τη θερμοκρασία.

Συχνά οι περιεκτικότητες μολύβδου και U είναι υψηλές (› 2% & 10 ppm αντίστοιχα) ασυνήθιστες για υποθαλάσσια κοιτάσματα και οφείλονται κατά πάσα πιθανότητα στα υπερκείμενα πηλιτικής-ανθρακικής φύσης ιζήματα.

(iii) ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΣΕ ΡΗΞΙΓΕΝΕΙΣ ΖΩΝΕΣ ΝΕΩΝ ΟΠΙΣΘΙΩΝ ΤΟΞΩΝ(back-arıc rifts) ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΜΕΝΑ ΠΙΣΩ ΑΠΟ ΝΗΣΙΩΤΙΚΑ ΤΟΞΑ ΟΠΟΥ ΩΚΕΑΝΙΟΣ ΦΛΟΙΟΣ ΥΠΟΒΥΘΙΖΕΤΑΙ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΩΚΕΑΝΙΟ ΦΛΟΙΟ

Τα υδροθερμικά ρευστά που δημιουργούνται σε πρόσφατες ρηξιγενείς ζώνες οπισθίων τόξων που δημιουργούνται πίσω από νησιωτικά τόξα καθώς ωκεάνιος φλοιός υποβυθίζεται κάτω από ωκεάνιο φλοιό διαφέρουν σε ότι αφορά τη σύσταση τους από τα ρευστά που σχηματίζονται κατά μήκος των ενεργών μεσο-ωκεάνιων ράχεων. **(ΦΩΤ.Θ12.)** Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς αντανακλούν τις διαφορές σε ότι αφορά την χημική σύσταση των μητρικών πετρωμάτων (Φελσικές ασβεστο-αλκαλικές λάβες σε αντίθεση με βασάλτες στις μεσο-ωκεάνιες ράχες).



ΦΩΤ. Θ12 Απλοποιημένο διάγραμμα στο οποίο φαίνονται τα δύο βασικά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα (Από P.Herzig και M.Hannington 2000)

Έτσι τα υδροθερμικά ρευστά από τέτοια περιβάλλοντα είναι εμπλουτισμένα σε Zn, Pb, As, Ba,και φτωχά σε Fe. Αυτές οι διαφορές στον χημισμό των υδροθερμικών ρευστών αντανακλώνται και στον χημισμό των σχηματιζομένων πολυμεταλλικών σουλφιδίων. Στον Πίνακα Θ6 παρουσιάζεται η σύγκριση της μέσης χημικής σύστασης θειούχων υποθαλάσσιων κοιτασμάτων από τα δύο αυτά γεωτεκτονικά περιβάλλοντα.

Πίνακας Θ6. Μέσες χημικές συστάσεις υποθαλασσίων πολυμεταλλικών σουλφιδίων από μεσο-ωκεάνιες ράχες και από περιβάλλοντα ενεργών οπισθίων τόξων (Από P.Herzig και M.Hannington 2000)

Στοιχεία	Μεσο-ωκεάνιες ράχες(Mid-Ocean Ridges)[1]	Ράχες οπισθίου τόξου(Back-Arc Ridges)[2]
Αριθμός αναλύσεων	890	317
Fe (wt%)	23.6	13.3
Cu	4.3	5.1
Zn	11.7	15.1
Pb	0.2	1.2
As	0.03	0.1
Sb	0.01	0.01
Ba	1.7	13.0
Ag (ppm)	143	195
Au	1.2	2.9

[1] Explorer Ridge, Endeavour Ridge, Axial Seamount, Cleft Segment, East Pacific Rise, Galapagos Rift, TAG, Snake Pit, Mid-Atlantic Ridge 24.5°N

[2] Mariana Trough, Manus Basin, North Fiji Basin, Lau Basin

ΠΩΣ ΔΗΜΙΟΥΡΓΟΥΝΤΑΙ ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΑ ΥΔΡΟΘΕΡΜΙΚΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ ΚΑΤΩ ΑΠΟ ΕΝΕΡΓΕΣ ΜΕΣΟ-ΩΚΕΑΝΕΙΕΣ ΡΑΧΕΣ

Κατά μήκος των μεσο-ωκεάνιων ράχεων όπως ήδη προανεφέραμε το θαλασσινό νερό δεισδύει σε μεγάλα βάθη στον νεοσχηματιζόμενο ωκεάνιο βασαλτικό φλοιό μέσω των συστημάτων ρηγμάτων και διακλάσεων που δημιουργούνται από σεισμούς και φαινόμενα που χαρακτηρίζουν τις ενεργές μεσο-ωκεάνιες ράχες.(ΦΩΤ. Θ5). Το θαλασσινό νερό κυκλοφορώντας μέσω αυτής της διαδικασίας μετατρέπεται σε ένα υδροθερμικό-μεταλλογενετικό ρευστό σε μια ζώνη αντίδρασης η οποία βρίσκεται λίγο πιο πάνω από τον μαγματικό θάλαμο. Το θαλασσινό νερό που κυκλοφορεί στο περιβάλλον αυτό υφίσταται δραστικές φυσικές και χημικές μεταβολές οι οποίες εμφανίζονται στον **Πίνακα Θ7** και περιλαμβάνουν: (i) σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας (ii) σημαντική ελάττωση του pH (iii) σημαντική ελάττωση του Eh.

Πίνακας Θ7. Μετατροπή του θαλασσινού νερού σε υδροθερμικό ρευστό μέσω της αλληλοεπίδρασης νερού/θερμού βασάλτη πάνω από ένα εκτεταμένο μαγματικό θάλαμο. (Από P.Herzig και M.Hannington 2000)

Θερμοκρασία :	2°C → >400°C Μαγματικός Θάλαμος (1200°C)
pH :	7.8 → < 4 λόγω : $H_2O \rightarrow OH^- + H^+$
	$2OH^- + Mg^{2+} \rightarrow Mg(OH)_2$ (> 350°C: Ca αντί Mg)
	Το $Mg(OH)_2$ ενσωματώνεται στον Σμεκτίτη (<200°C) και Χλωρίτη (>200°C)
	Περίσσεια H^+ = Μείωση pH
Δυναμικό Οξειδοαναγωγής) E_h :	+ → - $Fe^{2+} \rightarrow Fe^{3+}$ (στον Βασάλτη)
	Θαλασσινό νερό $SO_4^{2-} \rightarrow S^{2-}$ (H_2S) σε θερμοκρασία > 250°C
	Σημείωση: Ένα σημαντικό ποσό από τα ανιόντα S^{2-} στο υδροθερμικό ρευστό προέρχεται από την απόπλυση των εγκλεισμάτων σουλφιδίων στους Βασάλτες.

Η σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας από περίπου $2^{o}C$ σε μεγέθη › $400^{o}C$ είναι το αποτέλεσμα της αγώγιμης μετάδοσης θερμότητας σε ένα σχετικά μικρό όγκο νερού κοντά στην ψυχρή επιφάνεια ενός εκτεταμένου μαγματικού θαλάμου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεταφορά θερμότητας μέσω της κυκλοφορίας του συστήματος των υδροθερμικών ρευστών και τελικά την έκχυση μαύρων σουλφιδίων σε μορφή κολλοειδή(αιωρήματος) (black smokers) στον θαλάσσιο βυθό. Μελέτες με σεισμικές μεθόδους έδειξαν ότι αρκετοί από αυτούς τους μαγματικούς θαλάμους βρίσκονται σε βάθη μόλις 1.5-3.5 χιλιομέτρων από τον θαλάσσιο βυθό. Ο χρόνος παραμονής του θαλασσινού νερού κυκλοφορώντας στο σύστημα των υδροθερμικών ρευστών μέσα στον ωκεάνιο φλοιό έχει εκτιμηθεί ότι είναι της τάξης των 3 χρόνων ή και λιγότερο. (Herzing and Hannington 2000). Πειραματικά δεδομένα από την αλληλοεπίδραση νερεού/πετρώματος έδειξαν ότι με την μεγάλη αύξηση της θερμοκρασίας του θαλασσινού νερού που προαναφέραμε τα ιόντα Mg^{+2} που είναι διαλελυμένα σε μεγάλες στο θαλασινό νερό (περίπου 1280 ppm) αντιδρούν με τα ανιόντα OH^- (τα οποία προκύπτουν από την διάσπαση του θαλασσινού νερού στις υψηλές θερμοκρασίες) για να σχηματίσουν $Mg(OH)_2$. Τα ιόντα Mg^{+2} ενσωματόνονται σε δευτερογενή αυτογενή ορυκτά όπως Σμεκτίτες (σε θερμοκρασίες ‹ $200^{o}C$) ή Χλωρίτες (σε θερμοκρασίες ›$200^{o}C$). Παράλληλα η απώλεια ιόντων OH^- από το θαλασσινό νερό δημιουργεί περίσσεια ιόντων H^+ μετατρέποντας το ρευστό αυτό σε όξινο αφού το pH του θαλασσινού νερού που είναι περίπου 7.8 σε $2^{o}C$ γίνεται περίπου 2(pH 2). Επίσης η ανταλλαγή ιόντων H^+ για ιόντα Ca^{+2} και K^+ από το βασαλτικό πέτρωμα απελευθερώνει τα στοιχεία αυτά στο δημιουργούμενο υδροθερμικό ρευστό. Η έκπλυση των ιόντων Ca^{+2} από το πέτρωμα

εξισορροπεί την απώλεια των ιόντων Mg^{+2} από το θαλασσινό νερό σε ποσοτική βάση. Η περιεκτικότητα σε Mg^{+2} του προκύπτοντος υδροθερμικού ρευστού είναι πρακτικά 0. Επί πλέον σε υψηλές θερμοκρασίες ο σχηματισμός επιδότου(ενσωμάτωση ιόντων Ca^{+2}) δημιουργεί ακόμα μεγαλύτερη περίσσεια ιόντων H^{+} κάνοντας ακόμα πιο όξινο το υδροθρμικό ρευστό. Οι αντιδράσεις αυτές λαμβάνουν χώρα με σχέσεις νερού προς πέτρωμα λιγότερο του 5 και συνήθως κοντά στο 1.(Herzing and Hannington 2000). Το οξυγόνο το οποίο είναι παρόν στο θαλασσινό νερό υπό μορφή θειωδών ανιόντων (SO_4^{-2}) μετακινείται επίσης κυρίως λόγω της δημιουργίας Ανυδρίτη και εν μέρει μεσω της μετατροπής του πυρροχοϊτη σε πυρίτη και της οξείδωσης του δισθενούς σιδήρου σε τρισθενή στο βασαλτικό πέτρωμα.(Fe^{+2} Fe^{+3}). Η αναγωγή του SO_4^{-2} του θαλασσινού νερού έχει σαν αποτέλεσμα τον σχηματισμό H_2S αν και το μεγαλύτερο μέρος των ιόντων S^{-2} στο υδροθερμικό ρευστό προέρχεται από τη βασαλτική λάβα.

Το προκύπτον τώρα υδροθερμικό ρευστό όντας όξινο πλούσιο σε ανιόντα S^{-2} είναι πολύ διαβρωτικό και έτσι είναι σε θέση να αντιδράσει με την βασαλτική λάβα εκπλύνοντας από αυτή στοιχεία όπως Li, K, Rb, Ca, Ba, μέταλλα όπως Fe, Mn, Cu, Zn καθώς και Au, Ag και μικρές ποσότητες Si. (**Πίνακας Θ9**). (Βλέπε επίσης ΦΩΤ.Θ 10.).

Πίνακας Θ8. Αποτελέσματα της αλληλοεπίδρασης θαλασσινού νερού / πετρώματος στον ωκεάνιο βασαλτικό φλοιό σε συνάρτηση της θερμοκρασίας (Από P.Herzig και M.Hannington 2000)

Θερμοκρασία	Βασάλτης	Θαλασσινό νερό / Υδροθερμικό ρευστό
< 150°C	K, Rb, Li, B, ^{18}O	←
>70°C	Mg	←
> 350°C	Ca	←
> 150°C	→	Fe, Mn, Zn, Cu, Ba, Si, Ca, Rb, Li, K, B, H^+, ^{18}O, S
Σε όλες τις θερμοκρασίες	H_2O , CO_2, Na	←

Οι πολύ μικρές συγκεντρώσεις σουλφιδίων στη βασαλτική λάβα θεωρείται σήμερα σαν η κύρια πηγή για μέταλλα και S στο υδροθερμικό ρευστό. Τα μέταλλα μεταφέρονται σε αυτό υπό μορφή συμπλόκων χλωρίου σε υψηλές θερμοκρασίες ή σαν σύμπλοκα ημι-σουλφιδίων (bisulfide) ιδιαίτερα του Au σε χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Λόγω της αυξανόμενης ρευστότητας του σε υψηλές θερμοκρασίες το υδροθερμικό ρευστό ανέρχεται πολύ γρήγορα από την βαθύτερη ζώνη αντίδρασης στην επιφάνεια του βυθού μέσω του εκτεταμένου πλέγματος ρηγμάτων και διακλάσεων στην κοιλάδα της τεκτονικής τάφρου ή κοντά στις πλαγιές της τάφρου. Ιδιαίτερα οι περιοχές διασταύρωσης ρηγμάτων που είναι παράλληλα ή κάθετα στον άξονα της μεσο-ωκεάνιας ράχης είναι οι τόποι της διαρροής με μεγάλη ταχύτητα αιωρημάτων μαύρων σουλφιδίων ή σχηματισμού μεγάλων συγκεντρώσεων σουλφιδίων (ΦΩΤ. Θ5 και Θ6). Η καταβύθιση σουλφιδίων υπό μορφή σωρού ή πλέγματος φλεφιδίων στη ανώτερη ζώνη εκροής των υδροθερμικών ρευστών και στον θαλάσσιο πυθμένα (ΦΩΤ.Θ5) είναι το αποτέλεσμα της μεταβολής των φυσικοχημικών συνθηκών κατά την διάρκεια της ανάμιξης του υδροθερμικού ρευστού υψηλής θερμοκρασίας(250-400 ^{o}C) και πλουσίου σε μέταλλα με το οξυγονωμένο ψυχρό θαλασσινό νερό θερμοκρασίας περίπου 2 ^{o}C. (ΦΩΤ.Θ 10).

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ – ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ
ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΘΕΣΕΩΝ

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Πολύ συνοπτικά θα λέγαμε ότι η έρευνα των κοιτασμάτων αυτών ακολουθεί τρία στάδια.

1. Της έρευνας της ευρύτερης περιοχής, γενική έρευνα για περιορισμό του χώρου ενδιαφέροντος.
2. Έρευνα ενδιάμεσης φάσης όπου μελετάται καλύτερα η περιοχή ειδικότερου ενδιαφέροντος.
3. Έρευνα τελικής φάσης όπου έχουμε λεπτομερή έρευνα της περιοχής ενδιαφέροντος, εξαγωγή συμπερασμάτων και διατύπωση προτάσεων.

Οι έρευνα αυτή των τριών σταδίων απαιτεί:

ι. Σε ότι αφορά την τεχνολογία έρευνας

α. λεπτομερής ανάλυση και προσδιορισμός όλων των χημικών ιδιοτήτων του θαλασσινού νερού στην περιοχή της υδροθερμικής δράσης.

β. χρήση ηλεκτρικών και σεισμικών γεωφυσικών μεθόδων προκειμένου να προσδιορισθεί η έκταση και φύση της θειούχου μεταλλοφορίας στον βυθό.

γ. χρήση μεθόδων για οπτική παρατήρηση του βυθού από αποστάσεις 10-100 μέτρων από τον βυθό.

Και οι τρεις παραπάνω μέθοδοι και τεχνολογίες χρειάζονται περαιτέρω ανάπτυξη και βελτίωση.

δ. λεπτομερής γεωχημική μελέτη των δειγμάτων, των ρευστών, των ρευστών εγκλεισμάτων . Ειδικότερα ο προσδιορισμός των φυσικοχημικών συνθηκών γένεσης των δευτερογενών ορυκτών που σχηματίζονται στα πλαίσια της υδροθερμικής δραστηριότητας και της εξαλλοίωσης των ηφαιστειακών πετρωμάτων καθώς και των σουλφιδίων είναι μεγίστης σημασίας.

Κατόπιν απαιτείται η διενέργεια θεωρητικών (ή αν είναι δυνατόν και πειραματικών μελετών) προκειμένου να διερευνηθεί η φυσικοχημική ισορροπία μεταξύ στερεάς και ρευστής φάσης.

Τέλος η χρήση όλων των παραπάνω στοιχείων και δεδομένων οδηγεί στην ανάπτυξη (με την βοήθεια Η/Υ) χημικών και υδροδυναμικών μοντέλων προσομοίωσης με τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα υποθαλασσίως.

ιι. Σε ότι αφορά την τεχνολογία δειγματοληψίας:

α. Χρήση τεχνικών για να σπάζονται μεγάλα κομμάτια πετρωμάτων με θειούχο μεταλλοφορία και ανάκτηση στην επιφάνεια των δειγμάτων. Είναι μία τεχνολογία που βρίσκεται σε αρχικό στάδιο και χρειάζεται πολύ ανάπτυξη.

β. Γεωτρήσεις κατά περίπτωση των υπό μελέτη σχηματισμών, υποθαλάσσιες επιχειρήσεις με ερευνητικά βαθυσκάφη, για βιντεοσκόπηση, φωτογράφηση της περιοχής, του υδροθερμικού φαινόμενου, της μεταλλοφορίας. Μελλοντικά θα απαιτηθεί η σημαντική βελτίωση της γεωτρητικής δυνατότητας με χρήση εξοπλισμού που θα βρίσκεται στον βυθό και θα είναι σε θέση να τρυπά και να έχει πυρινοληψία έως τα 50 μ..

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΣΥΣΧΕΤΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ Η ΣΧΕΣΗ ΤΟΥΣ ΜΕ ΤΗΝ ΩΚΕΑΝΙΑ ΕΞΕΛΙΞΗ

Μέχρι τώρα αναφερθηκαμε στους κυριώτερους τύπους υποθαλάσσιων κοιτασμάτων.Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούμε σε μερικούς αλληλοσχηματισμούς ανάμεσα στις διάφορες κατηγορίες υποθαλάσσιων ΟΠΥ για να καθοριστεί σε ποιό βαθμό έχουν κοινά χαρακτηριστικά. Σε οποιαδήποτε τέτοιου είδους συζήτηση, ή κατανόηση της σχέσης των υποθαλάσσιων ΟΠΥ με τα διαφορετικά στάδια της εξέλιξης των ωκεανών είναι αναγκαία δεδομένου ότι και αυτη η ίδια είναι ιδιαίτερης σημασίας.

Εξέλιξη των ωκεανών

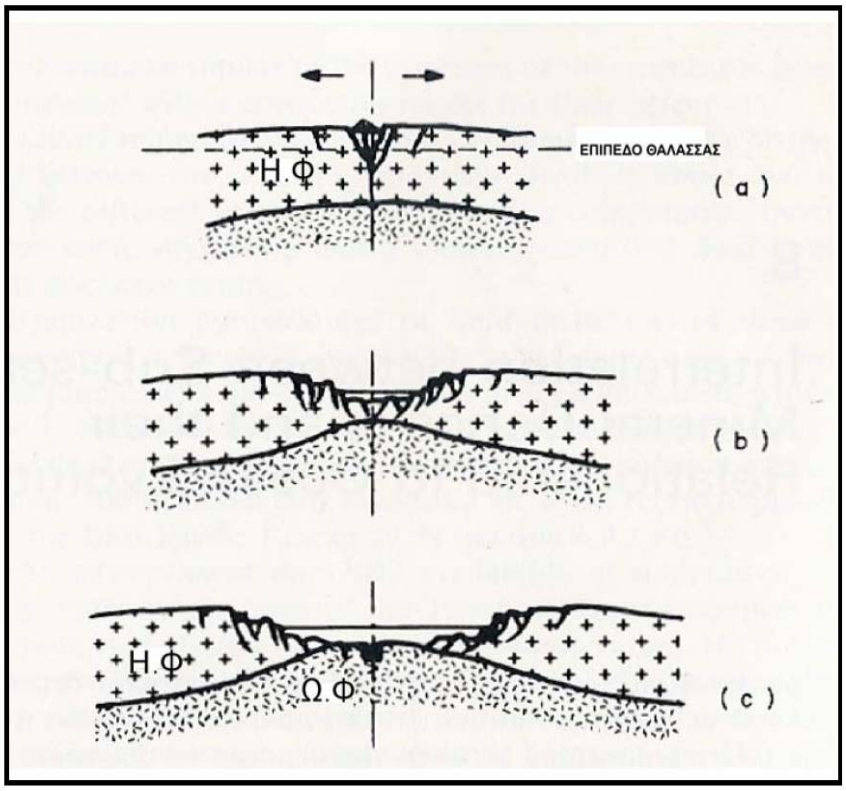
Στο κεφάλαιο Β έχει γίνει σύντομη εισαγωγή στην εξέλιξη των ωκεάνιων λεκανών σε σχέση και με την θεωρία
των πλακών αλλά απαιτείται τώρα πληρέστερη επεξεργασία του θέματος. Ο Blissenbach και ο Fellerer (1973) έχουνπεριγράψει πέντε στάδια ωκεάνειας εξέλιξης που σχετίζονται και με τη διαδικασία σχηματισμού κοιτασμάτων στο
θαλάσσιο πυθμένα.

Η ανάπτυξη νέων ωκεάνειων λεκανών αρχίζει με το πρώϊμο στάδιο της τάφρου που χαρακτηρίζεται από ρήγματα εφελκυσμού. Πιθανά σύγχρονα παραδείγματα της περιλαμβάνουν το ρήγμα Ανατολικής Αφρικής και τη λεκάνη και την οροσειρά Province των ΗνωμένωνΠολιτειών. Τα κεντρικά ρηξιγενή τεμάχη της τεκτονικής τάφρου υποχωρούν (καθιζάνουν) ενώ τα περιθώρια ανυψώνονται για να δώσουν μια επιμήκη κοιλάδα που περικλείεται από απότομες κλιτείς. Τα κοιτάσματα που συγκεντρώνονται μέσα στην τεκτονική τάφρο εξαρτώνται από το κλίμα και το ανάγλυφο και είναι κυρίως κλαστικής προέλευσης. Σε ξηρές περιοχές εμφανίζονται στα κράσπεδα των πλευρικών ιζημάτων η τεκτονική τάφρος είναι συχνά η περιοχή ενός μεγάλου ποταμού και συστήματα λιμνών. Ηφαιστειακή δράση απαντά σε μεγάλη έκταση σε τεκτονικές τάφρους, και αυξάνει το μεγάλο πάχος του ηφαιστειακού πετρώματος που μερικές φορές παρουσιάζει ενδιάμεσες στρώσεις ιζημάτων.

Σύμφωνα με τον Blissenbach και τον Fellerer (1973) το προχωρημένο στάδιο τεκτονικής τάφρου επιτυγχάνεται όταν το θαλάσσιο νερό εισέρχεται στο ρήγμα και το πλημμυρίζει.Ετσι δημιουργούνται οι στενές επιμήκεις θάλασσες που έχουν στις πλευρές τους ανυψωμένες περιοχές. Η απόθεση εβαπορίτη, κατά την διάρκεια του προχωρημένου στάδιου ωκεάνειας εξέλιξης της τεκτονικής τάφρου, ειδικώτερα σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, όπως αποδεικνύεται από το μεγάλο πάχος των εβαποριτών του Μειόκαινου που υπάρχουν στις δύο πλευρές της Ερυθράς Θάλασσας είναι συνήθης. Τα περιθώρια του Βόρειου Ατλαντικού πιστεύεται επίσης ότι περιέχουν αποθέσεις εβαπορίτη που θεωρείται ότι σχηματιστηκαν όταν ο Ατλαντικός βρισκόταν σε παλαιότερη φάση ρηγμάτωσης (Paulot κ.α. 1970).

Αλλα χαρακτηριστικά ιζήματα του προχωρημένου σταδίου τεκτονικής τάφρου περιλαμβάνουν τρία στοιχεία i) τα αδρομερή κλαστικά ιζήματα που έχουν πορέλθει από τη γειτονική περιοχή, ii) πλούσια σε οργανικές ουσίες, ιζήματα που εναποτέθηκαν κάτω από αναγωγικές συνθήκες, όπου η

τοπογραφία λεκανών ή άλλοι παράγοντες οδηγούν σε έλλειψη οξυγόνου και iii) τα προϊόντα της ηφαιστειακής δράσης. Οι Blissenbach και Fellerer (1973) ορίζουν το πρώϊμο στάδιο ρηγμάτων κατά τη διάρκεια της ωκεάνειας εξέλιξης ότι αρχίζει ότι ο ηπειρωτικός φλοιός διαρηγνύεται και αρχίζει να εκτείνεται το θαλάσσιο δάπεδο ΦΩΤ. Ι1 .



ΦΩΤ.Ι1. Πρώϊμα στάδια ωκεάνιας εξέλιξης : (a) Πρώϊμο στάδιο τεκτονικής τάφρου, (b) Προχωρημένο στ τεκτονικής τάφρου, (c) Πρώϊμο στάδιο ρηγμάτωσης. Η.Φ= Ηπειρωτικός Φλοιός, Ω.Φ= Ωκεάνιος Φλοιός (. Blissenbach and Fellerer 1973).

Η λεκάνη διαιρείται τότε σε μία περιθωριακή περιοχή που υπόκειται του ηπειρωτικού φλοιού και σε ένα κεντρικό ρήγμα που υπόκειται ωκεάνειου φλοιού.

ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Η σύγχρονη Ερυθρά Θάλασσα είναι ένα καλό παράδειγμα ωκεάνειας λεκάνης στην πρώϊμη φάση ρηγμάτωσης στην διάρκεια της οποίας δημιουργείται νέος θαλάσσιος βυθός από την έκχυση νέων βασαλτικών στην κεντρική ζώνη ρήγματος.

Το πρώϊμο στάδιο ρηγμάτωσης μεταπίπτει στην προχωρημένη φάση με συνεχή ηπειρωτικό διαχωρισμό. Το κεντρικό ρήγμα της αρχικής φάσης ρηγμάτωσης μετατρέπεται βαθμιαία σε μεσο-ωκεάνειο ράχη καθώς ο παλαιότερος θαλάσσιος βυθός μακρυά από το κέντρο επέκτασης κρυώνει και καθιζάνει (ΦΩΤ.Ι1). Ο σύγχρονος Ατλαντικός Ωκεανός μπορεί να χρησιμεύσει σαν παράδειγμα της προχωρημένης φάσης της ωκεάνειας εξέλιξης. Τα φαινόμενα πελαγικής ιζηματογέννεσης επικρατούν, με χερσογενείς αποθέσεις που αφθονούν κοντά στις ηπείρους και

ηφαιστειακή προσφορά υλικού κοντα στην μεσο-ωκεάνεια ράχη.

Η τελική φάση ρηγμάτωσης εμφανίζεται όταν πλάκες του φλοιού, που δημιουργούνται σε διάφορα κέντρα επέκτασης συγκρούονται και εμφανίζεται υποώθηση (βλ. Κεφ. Α).Ενα καλό παράδειγμα υποώθησης που έχει προκύψει από σύγκρουση ωκεάνειου και ηπειρωτικού φλοιού βρίσκεται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Νότιας Αμερικής, όπου η υποώθηση σε συσχετισμό με τη σύγκρουση των δύο ωκεάνειων πλακών πιστεύεται ότι εμφανίζεται στον νοτιοδυτικό Ειρηνικό.

Ορυκτές αποθέσεις που συνδέονται με διάφορες φάσεις ωκεάνειας εξέλιξης

Από τις διάφορες ορυκτές αποθέσεις που έχουν βρεθεί στο θαλάσσιο πυθμένα η εμφάνιση ορισμένων μπορεί να συσχετισθεί με συγκεκριμένες φάσεις ωκεάνειας εξέλιξης. Αλλες σε αντίθεση φαίνεται να μην έχουν καθόλου σχέση με ωκεάνεια εξέλιξη. Μεταξύ των τελευταίων μπορούν να περιληφθούν τα προσχωματικά αλλούβια και ορισμένα αυτογενή ορυκτά. Τα ορυκτά αυτά μπορεί να εμφανιστούν σε λίμνες, ποταμούς και σε παραθαλάσσιες περιοχές κατά την διάρκεια τόσο των αρχικών όσο και των προχωρημένων σταδίων ωκεάνειας εξέλιξης.

Από τις λοιπές κατηγορίες υποθαλάσσιων κοιτασμάτων τα μεταλλοφόρα ιζήματα μπορούν να σχηματισθούν σε όλα τα στάδια στη διάρκεια της ωκεάνειας εξέλιξης αλλά οι ποικιλίες αλλάζουν καθώς προχωρεί η ωκεάνεια εξέλιξη, ενώ οι κόνδυλοι μαγγανίου και οι φωσφορίτες σχηματίζονται σε αφθονία κατά τη διάρκεια μιάς φάσης ωκεάνειας εξέλιξης.

Η αρχική πρώϊμη φάση ωκεάνειας εξέλιξης

Κατά τη διάρκεια των αρχικών και των τελευταίων φάσεων δημιουργίας τεκτονικής τάφρου στη διάρκεια της ωκεάνειας εξέλιξης, η ηφαιστειακή μπορεί να δώσει γέννεση στα επιγεννετικά όσο και τα συγγενετικά κοιτάσματα.

Τα επιγεννετικά κοιτάσματα σχηματίζονται σε φλέβες τόσο στα τοιχώματα όσο και στον πυθμένα του σχηματισμού της ηφαιστειακά ενεργής τάφρου, ενώ στρωματοειδή κοιτάσματα σχηματίζονται σε λίμνες στο δάπεδο της τεκτονικής τάφρου κατά τη διάρκεια καθίζησης από υδροθερμικά ρευστά. Χωρίς αμφιβολία τα καλύτερα γνωστά παραδείγματα μεταλλοφόρων αποθέσεων συνδεδεμένα με τις αρχικές φάσεις ωκεάνειας εξέλιξης είναι εκείνα της "Ερυθράς Θάλασσας", που ήδη περιγράφησαν. Εκει ένας συνδυασμός ηφαιστειακής δράσης, υδροθερμικής απόπλυσης των βασαλτών και πιθανά αλλών πετρωμάτων, όπως ο μαύρος σχιστόλιθος, και η έκχυση των προκυπτόντων σιαλυμμάτων σε περιορισμένες λεκάνες με κλασματικό αποχωρισμό των μετάλλων τους, έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μιά πολύπλοκη σειρά κοιτασμάτων.

Η ρηγμάτωση σε συσχετισμό με τη μετάπτωση των λεκάνων, μπορεί να είναι, σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνη για τον εντοπισμό των αλμυρών και μεταλλοφόρων ιζημάτων με ιζήματα μεγάλου βάθους στις θέσεις που βρίσκονται σήμερα (Bignel, 1975b). Η εμφάνιση υδροθερμικών ορυκτών αποθέσεων στην "Ερυθρά" θάλασσας που συνδέεται με την πρώϊμη φάση ρηγμάτωσης της ωκεάνειας εξέλιξης σημαίνει ότι παρόμοια κοιτάσματα πρέπει να απαντούν κατά μήκος των περιθωρίων των παλαιότερων ωκεάνειων λεκανών, αλλά είτε είναι θαμένα βαθειά από πιό πρόσφατα ιζήματα ή επωθημένες επάνω στις Ηπείρους, εφ'όσον έχει συμβεί ηπειρωτική σύγκρουση. Σήμερα δεν έχουν βρεθεί τέτοιου είδους κοιτάσματα γύρω στα περιθώρια των σύγχρονων ωκεανών που είναι Μεσοζωϊκής έως Τριτογενής ηλικίας. Μερικά Παλαιοζωϊκής ηλικίαςκοιτάσματα όμως που είχαν θεωρηθεί αυτούτου τύπου έχουν βρεθεί στην ξηρά, πιθανά σαν αποτέλεσμα επώθησης συνδεδεμένη με ηπερωτική σύγκρουση (Siletol, 1978). Η πιθανότητα ανεύρεσης κοιτασμάτων υποκείμενων των ρηγματωμένων ηπειρωτικών περιθωρίων που περιβάλλουν τους σύγχρονους ωκεανούς είναι αρκετά καλή, αν χρησιμοποιούνται βαθειές γεωτρήσεις. Πολύ μεγάλο πάχος ιζημάτων εμφανίζεται χαρακτηριστικά σε τέτοιου είδους περιθώρια και έτσι δεν εχει ακόμα τρυπηθεί πέτρωμα βάσης (basement rock). Κατά τον Blissenbach και τον Fellerer (1973) ο Βόρειος Ατλαντικός όταν βρισκόταν σε πρώϊμο στάδιο εξέλιξης είχε πιθανά παρουσιάσει συνθήκες κατάλληλες για τη

δημιουργία μεταλλοφόρων ιζημάτων του τύπου της "Ερυθράς" Θάλασσας.

Οι συνθήκες αυτές θα είχαν περιλάβει εκτεταμένη υδροθερμική δράση, σε μία στενή κεντρική ζώνη ρηγμάτων, μέσα σε τάφρο κλειστή και από τα δύο άκρα και μεγάλα βάθη που έχουν προκύψει από τεκτονική δράση. Οι πιό πιθανές περιοχές για την εμφάνιση τέτοιου είδους μεταλλοφόρων ιζημάτων έχει θεωρηθεί ότι είναι αυτές που είναι πλησιέστερα στα ηπειρωτικά περιθώρια, ειδικά αυτές που γειτονεύουν με περιοχές σχηματισμού εβαποριτών.

Το ότι ο σχηματισμός κοιτασμάτων τύπου "Ερυθράς" Θάλασσας έχει εμφανιστεί στον Ατλαντικό φαίνεται από το αποτέλεσμα του DSDP 105 στον δυτικότερο Βόρειο Ατλαντικό. Στην περιοχή αυτή υπάρχουν 50περίπου μέτρα πολύχρωμων ιζημάτων πιθανής Μεσοζωϊκής ηλικίας που περιέχουν άφθονα οξείδια Mn και Fe μαζί με σφαλερίτη και σιδηροπυρίτη. Οι αποθέσεις αυτές μοιάζουν με τα μεταλλοφόρα ιζήματα της "Ερυθράς" Θάλασσας τόσο σε εμφάνιση όσο και σύνθεση, αν και είναι χαμηλότερων περιεκτικοτήτων σε μέταλλα αλλά δεν συγκρίνονται στρωματογραφικά άμεσα με αυτά γιατί εμφανίζουν υπερκείμενη στρώση 350 μ Μεσοζωϊκών ιζήματων. Παρ'όλα αυτά ο σχηματισμός τους, κατά τη διάρκεια μιας πρώϊμης φάσης εξέλιξης στον Ατλαντικό Ωκεανό, δείχνει ότι μία πιό λεπτομερής έρευνα για τέτοια κοιτάσματα γύρω στα περιθώρια του Ωκεανού αυτού και σε άλλες ρηγματωμένες ηπειρωτικές περιθωριακές περιοχές, θα μπορούσε να έχει ενδιαφέροντα αποτελέσματα για ανεύρεση τέτοιων κοιτασμάτων.

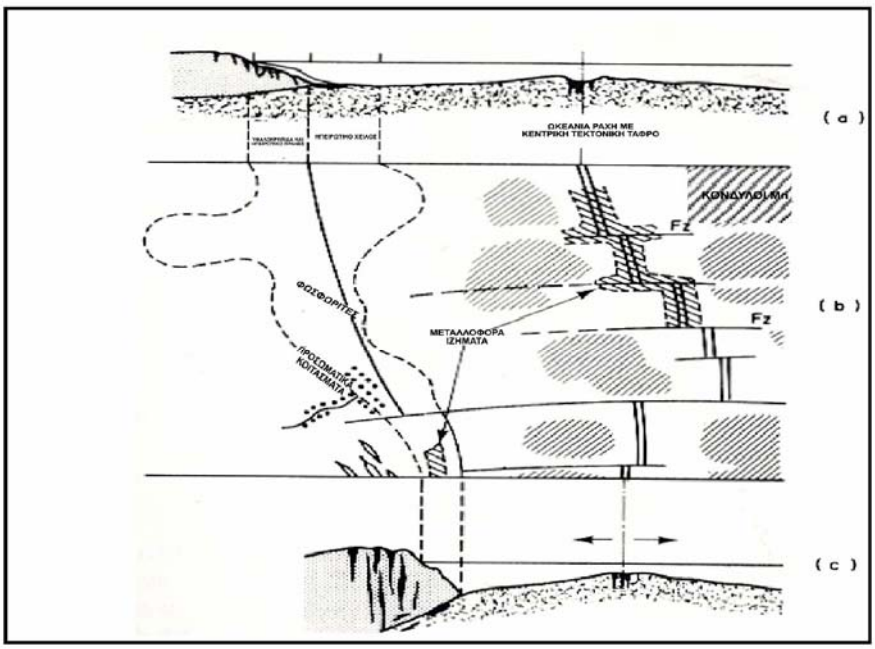
Ωριμη φάση ωκεάνειας εξέλιξης

Η ώριμη φάση ωκεάνειας εξέλιξης χαρακτηρίζεται από ένα ευρύ ωκεανό με μία σαφώς σχηματισμένη ωκεάνια ράχη με εκτεταμένες περιοχές πελαγικών ιζημάτων πλευρικά. Και οι τρείς μεγάλοι ωκεανοί πληρούν τις προϋποθέσεις αυτές. Με εξαίρεση τα αλλουβικά προσχωματικά κοιτάσματα τρείς τύποι ορυκτών πρώτων υλών συνδέονται με**τα** ώριμα στάδια εξέλιξης ωκεάνειων λεκανών που είναι**:**

α) ένα συνεχε**ς φάσμα** πολυμεταλλικών θειούχων κοιτασμάτων και μεταλλοφόρων ιζημάτων, που άρχισε ήδη όπως είπαμε παραπάνω από την πρώϊμη φάση ωκεάνειας εξέλιξης,

β) φωσφορικοί σχηματισμοί και

γ) σχηματισμοί κονδύλων **και επιφλοιώσεων οξειδίων** μαγγανίου**–σιδήρου** (ΦΩΤ.Ι2).



ΦΩΤ.Ι2. Μέσα και τελικά στάδια ωκεάνιας εξέλιξης : (a) Προχωρημένη φάση ρηγμάτωσης, (b) Κατανομή των υποθαλασσίων ορυκτών πρώτων υλών στην ωκεάνιο λεκάνη σε προχωρημένο στάδιο ρηγμάτωσης και μετατόπισης, (c) Τελική φάση ρηγμάτωσης και μετατόπισης (Από Cronan 1980).

α.Πολυμεταλλικά συμπαγή θειούχα κοιτάσματα και μεταλλοφόρα ιζήματα

Το μεγαλύτερο μέρος των μεταλλοφόρων ιζημάτων που βρίσκονται σήμερα σε καλά διαμορφωμένες μεσοωκεάνειες ράχες διαφέρουν από εκείνα της Ερυθράς Θάλασσας ιδιαίτερα ως προς την παρατηρούμενη έλλειψη θειούχων ορυκτών. Τα υδροθερμικά τους συστατικά αντιπροσωπεύουν υλικά που διαχέονται από υδροθερμικές εκχύσεις σαν λεπτόκοκκα συστατικά αν και κάποια διαδικασία διαχωρισμού υπολειμματικών φάσεων από τέτοια διαλύμματα όπως το μαγγάνιο, είναι επίσης πιθανή.

Η μεταφορά και ανάμιξη τέτοις είδους συστατικών από ρεύματα βυθού πριν από τη διαδικασία διαχωρισμούτους, μπορούν πιθανά να ερμηνεύσουν τη σχετική τους ομογένεια σε μεγαλες περιοχές μεσο-ωκεάνειων ράχεων. Οπως όμως τονίσθηκε ήδη εάν υπάρχουν κατάλληλες συνθήκες απόθεσης δεν αποκλείεται ύπαρξη μεταλλοφόρων ιζημάτων υψηλών περιεκτικοτήτων σε μέταλλα που περιέχουν θειούχες ενώσεις και τα οποία απαντούν στον θαλάσσιο πυθμένα σε περιοχές όπως οι ζώνες διάρρηξης ή σε περιορισμένες τοπικά περιοχές. Παρά τη σχετική τους ομογένεια σε σύγκριση με τα ιζήματα Ερυθράς Θάλασσας και με ορισμένα, ασυνήθη στη σύνθεση ιζήματα μεσο-ωκεάνειων ράχεων , η σύνθεση του μεγαλύτερου μέρους των μεσο-ωκεάνειων μεταλλοφόρων ιζημάτων δεν είναι ενιαία. Σύγκριση μέσου όρου των συγκετνρώσεων ορισμένων στοιχείων σε μεταλλοφόρα ιζήματα σύγχρονων κορυφογραμμών ράχεων από διάφορους ωκεανούς (Cronan, 1974) αποδεικνύει ότι υπάρχουν ενδο-ωκεάνειες διαφορές μεταξύ των αποθέσεων όσον αφορά τη χημική και ορυκτολογική τους σύνθεση. Ετσι τα μεταλλοφόρα ιζήματα του Ανατολικού Ειρηνικού (East Pacific) είναι πιόμεταλλοφόρα από αυτά της Μεσο-Ατλαντικής Ράχης που είναι λιγότερο μεταλλοφόρα. Σύγκριση ακόμη της σύστασης των βασικών μεταλλοφόρων ιζημάτων ηλικιών αποδεικνύεται μεγάλες διαφορές στους ρυθμούς συσσώρευσης των μεταλλικών συγκεντρώσεων (Cronan, 1976a, Leinen & Stakes, 1979). Τόσο οι δι-ωκεάνειες όσο και οι εσω-ωκεάνειες συγκρίσεις αποδεικνύουν αλληλοεξάρτηση μεταξύ της περιεκτικότητας Fe των ιζημάτων και του ρυθμού επέκτασης τουθαλάσσιου πυθμένα κατά τον χρόνο που σχηματιστηκαν (Bostrom, 1973, Cronan, 1974,1976a). Ετσι τα πιό πλούσια σε σίδηρο ιζήματα σχηματίζονται στις μεσο-ωκεάνειες ράχες όπου ο ρυθμός επέκτασης είναι υψηλότερος. Αυτή η σχέση μπορεί να οφείλεται στη σύνθεση των ηφαιστειακών διαλυμμάτων η οποία έχει σχέση με την ταχύτητα επέκτασης της μεσο-ωκεάνειας ράχης. Οι ταχείας επέκτασης μεσο-ωκεάνειες ράχες όπως η Ράχη Ανατολικού Ειρηνικού (E.P.R) είναι πιό ενεργή από τις βραδύτερα επεκτεινόμενες (όπως η Μεσο-Ατλαντική Ράχη) σε ότι αφορά τη δημιουργία ενός νέου ωκεάνειου φλοιού, καθώς και η ταχύτητα με την οποία ο ωκεάνειος φλοιός δημιουργείται, θα μπορούσε να επηρεάσει την σύνθεση των μεταλλοφόρων ιζηματων όπως περιγράφεται παρακάτω. Παραλλαγές όμως στην εισροή των ηπειρωτικής (χερσαίας) προέλευσης υλικών πουποικίλει από ωκεανό σε ωκεανό, και η οποια ήταν διάφορη και στο παρελθόν, μπορεί επίσης να επηρεάσει το μεγαλύτερο μέρος της σύνθεσης των μεταλλοφόρων ιζημάτων των ράχεων. Ο Scott (1978) έχει θεωρήσει ότι υπάρχει τεκτονικής ελεγχος των διαφορών στη σύνθεση των ιζημάτων από ράχες που επεκτείνονται ταχύτερα και βραδύτερα. Σύμφωνα με τον Scott (1978) Μ.Ω. ράχες που επεκτείνονται ταχύτερα χαρακτηριζόνται από λιγότερες και σε πιό αραιά διαστήματα διαρρήξεις από τις αργά επεκτεινόμενες Μ.Ω.Ρ. το οποίο σημαίνει ότι η επιφανειακή περιοχή του πετρώματος εκτεθειμένη στο νερό της θάλασσας που κυκλοφορεί είναι χαμηλότερη στις Μ.Ω.Ρ. που επεκτείνονται με μεγαλύτερη παρά με μικρότερη ταχύτητα.

Σαν συνέπεια η αναλογία νερού/πετρώματος θα είναι χαμηλότερη στις Μ.Ω.Ρ. βραδείας επέκτασης από ότι στις ταχείας επέκτασης, που με την σειρά τους θα έχουν επιδράσεις στην χημεία των διαλυμμάτων που σχηματίζονται από αλληλοεπίδραση πετρώματος/νερού. Οπου υπάρχουν χαμηλές αναλογίες νερού/πετρώματος π.χ. σε συστήματα βραδείας επέκτασης Μ.Ω.Ρ., οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται έχουν σαν αποτέλεσμα να εισχωρούν στα διαλύμματα μικρότερα ποσοστά μετάλλων από ότι σε συστηματα που επικρατεί το νερό σε ταχείας επέκτασης Μ.Ω.Ρ. και

έτσι μικρότερα ποσοστά μετάλλου είναι διαθέσιμα για διαδικασία διαχωρισμού κατά την εκροή των διαλύσεων στο θαλάσσιο βυθό.

Τα μέταλλα εκείνα που έχουν εισχωρήσει σε διαλύμματα που συνδέονται με Μ.Ω.Ρ. βραδείας επέκτασης κατά την διάρκεια των πρώτων φάσεων κυκλοφορίας όταν ένα σύστημα στο οποίο επικρατούσε το νερό, θα μπορούσε, για ορισμένη περίοδο να επικρατεί, θα υποστεί πιθανά διαδικασία διαχωρισμού πριν από την εκροή στο θαλάσσιο βυθό λόγω του αυξανόμενου pH καθώς η αναλογία νερού/πετρώματος αλλάζει προς ένα σύστημα που θα επικρατεί το πέτρωμα. Ετσι όχι μόνο θα μπορούσαν οι μεταβολές στην αναλογία νερού/πετρώματος να είναι μία εξήγηση για τον μέσο όρο των διαφορών στο μεγαλύτερο μέροςτης σύνθεσης των μεταλλοφόρων ιζημάτων μεταξύ της ταχείας επέκτασης Ράχης του Ανατολικού Ειρηνικού, της με ενδιάμεση ταχύτητα επεκτεινόμενης Κεντρικής Ράχης του Ινδικού Ωκεανού και της βραδείας επέκτασης μεσο-Ατλαντικής Ράχης, αλλά θα μπορούσαν επίσης να βοηθήσουν στον καθορισμό πιθανώς μεταβολών στη φύση των υπό τον πυθμένα της θάλασσας αποθέσεων που προέρχονται από υδροθερμικά διαλύμματα κάτω από διάφορες Μ.Ω.Ρ.

β. Φωσφορίτες

Αν και είναι κοιτάσματα που συνδέονται με τα ηπειρωτικά περιθώρια, οι φωσφορίτες παρουσιάζονται κύρια στα περιθώρια των ωρίμων ωκεανικών λεκανών (κεφ.) και πιστεύεται ότι έχουν σχηματισθεί κύρια σαν αποτέλεσμα ανόδου ρευμάτων νερών συνδυασμένου με ένα καλά γενικά αναπτυγμένο σύστημα ρευμάτων. Οι μη ώριμες ωκεανικές λεκάνες σε πρώϊμο δηλ. στάδιο μετατόπισης σεν περιέχουν τέτοια αναπτυγμένα συστήματα ρευμάτων, όπως οι ώριμες ωκεανικές λεκάνες και έτσι θα ήταν απίθανο να παρουσιάσουν τέτοια ανοδικά ρεύματα στο επίπεδο που απαιτείται για τη δημιουργία φωσφοριτών. Σε αυτή τη βάση λοιπόν οι φωσφορίτες μπορούν να θεωρούνται σαν προϊόν υποχωρημένου σταδίου της ωκεανικής εξέλιξης, περισσότερο, παρά σαν τυχαίο γεγονός που παρουσιάζεται γύρω απότα περιθώρια των ώριμων ωκεανικών λεκανών.

Υπάρχουν μόνο δύο περιοχές στον κόσμο όπου είναι γνωστό να αναπτύσσονται σήμερα φωσφορίτες η μία στο ηπειρωτικό περιθώριο έξω από το Περού καιτη Χιλή και η άλλη έξω από τη νοτιο-δυτική Αφρική. Και οι δύο αυτές περιοχές παρουσιάζουν ανοδικά ρεύματα συνδυασμένα μαζί με ένα κύριο σύστημα ρευμάτων που κινείται προς τα βόρεια.

Αλλα φωσφορικά κοιτάσματα έχουν σχηματισθεί στο παρελθόν κατά μήκος των δυτικών περιθωρίων των ηπείρων, πιθανόν κάτω από συστήματα ρευμάτων περισσότεροο ισχυρών απο αυτά που έχουν βρεθει πρόσφατα σε αυτές τις περιοχές. Οι αλλαγές στη φάση των ρευμάτων μπορεί να προέχρονται από κινήσεις των πλακών που οδηγούν στην μεταβαλλόμενη διαμόρφωση και προσανατολισμό των ωρίμων ωκεανικών λεκανών με το χρόνο, η οποία με τη σειρά της θα επηρεάζει τις τοποθεσίες σχηματισμού φωσφορικών κοιτασμάτων.

Στον Ατλαντικό ωκεανό, για παράδειγμα, οι εκτεταμένοι φωσφορίτες που βρέθηκαν έξω από την βορειο-δυτική Αφρική, άρχισαν να σχηματίζονται στο κρητιδικό και τέλειωσαν τον σχηματισμό τους στο Τεταρτογενές (Summerhayes 1970, McArthur 1974). Η διαμόρφωση του Ατλαντικού και ίσως και άλλοι παράγοντες πρέπει να συντέλεσαν στα ισχυρά ανοδικά ρεύματα που οδήγησαν στον σχηματισμό των φωσφοριτών σ'εκείνη τη περιοχή, εκείνο τον καιρό και έχουν από τότε αλλάξει.

Μία λεπτομερής αναπαράσταση της παλαιο-ωκεανογραφίας των παλαιών περιοχών απόθεσης φωσφοριτών θα ήταν μία μέθοδος για να επιβεβαιωθεί μία τέτοια υπόθεση.

γ. Κόνδυλοι οξειδίων μαγγανίου-σιδήρου

Οι κόνδυλοι του μαγγανίου είναι το πιό χαρακτηριστικό και το πιό άφθονο από τα ορυκτά αποθέματα στον πυθμένα των ωρίμων ωκεανικών λεκανών. Παρουσιάζονται σε τεράστιες

ποσότητες στις ευρείες διακυμαινόμενες περιοχές μεταξύ των συστημάτων μεσο-ωκεανικών ράχεων και των αβυσσικών πεδίων οι οποίες περιβάλλον τα ηπειρωτικά περιθώρια σε περιοχές χωρίς κάποιο συστήματα περιθωριακής τάφρου. Μερικές από τις προϋποθέσεις για εκτεταμένη απόθεση οξειδίων του σιδηρομαγγανίου που θα αναφερθούν πιό κάτω, είναι συνήθεις μόνο σε ώριμες ωκεανικές λεκάνες. Για παράδειγμα απαιτούν έντονο οξειδωτικό περιβάλλον για να αναπτυχθούν. Αυτό καθιστά αναγκαία την ελεύθερη ροή του νερού στον πυθμένα, το οποίο είναι χαρακτηριστικό των ευρέων βαθειών ωκεανικών λεκανών.

Σε μικρές ωκεανικές λέκανες όπως η Μαύρη Θάλασσα ή η Ερυθρά θάλασσα οι οποίες είναι κλειστές ή περιορισμένες, τα κοιτάσματα τωνοξειδίων του σιδηρομαγγανίου ή δεν σχηματίζονται καθόλου ή σχηματίζονται μόνο γύρω από περιθώρια της λεκάνης, όταν υπάρχουν οξειδωτικές συνθήκες.

Δεδομένου ότι τα οξείδια αυτά κύρια καθιζάνουν από το θαλάσσιο νερό δηλ. από θαλάσσιο διάλυμμα απαιτούν επίσης χαμηλούς ρυθμούς απόθεσης των συναφών με τους κονδύλους ιζημάτων ώστε να μπορέσουν να συσσωρευθούν σε κάποια μεγάλη έκταση.

Εκτος από κάποιες μεμονωμένες περιοχές κοντά σε ακτές Ερήμων ή σε τοπογραφικές περιθωρικές ανυψώσεις, τέτοιες συνθήκες συναντιώνται μόνο σε βαθειές ωκεανικές λέκανες μακρυά από Ηπείρους. Επιπρόσθετα, οι περισσότεροι κόνδυλοι που συνδέονται με βαθειές Ωκεάνειες λεκάνες πιθανόν συσσωρεύονται σιγά-σιγά και έτσι θα απαιτούσαν μεγάλες περιόδους σταθερών συνθηκών για να φθάσουν την σημερινή τους αφθονία σε περιοχές όπως ο βορειο-ανατολικός Ισημερινός. Είναι απίθανο να επικρατήσουν τέτοιες συνθήκες κατά το πρώϊμο στάδιο μετατόπισης της ωκεανικής εξέλιξης.

Γενικά ο όγκος των οξειδίων σιδηρομαγγανίου που αποτέθηκαν μέσα σε μία ωκεανική λεκάνη, εξαρτάται από τον χρόνο και έτσι θα αυξάνεται καθώς τα στάδια εξέλιξης του Ωκεανού ευρίσκονται στο τέλος. Για παράδειγμα ο Cronan (1967) παρατήρησε λεπτές επιφλοιώσεις κονδύλων Mn πάνω σε πετρώματα από τη ράχη του υψώματος Calsberg, αλλά και πιό παχειές επιφλοιώσεις στα πετρώματα πάνω στις παλαιότερες πλευρές τους. Παρόμοια και ο Aumento κ.α (1968) βρήκε επιφλοιώσεις μαγγανίου που αυξάνονται απομακρυνόμενες απότον άξονα του μεσο-Ατλαντικού υψώματος με κανονικό τρόπο καθώς ο βυθός της θάλασσας γινόταν παλαιότερος. Αυτό σημαίνει ότι έχουμε ανάπτυξη εξαρτώμενη από τον χρόνο, με σταθερό ρυθμό σαν αποτέλεσμα καθίζησης από το θαλάσσιο νερό. Αν και κόνδυλοι και επιφλοιώσεις παρατηρήθηκαν και στο Ανατολικό Ειρηνικό ανύψωμα E.P.R. ποσοτικά είανι πολύλιγώτερο άφθονα από ότι στις παλιότερες λεκάνες προς τα δυτικά με απόθεση ξανά εξαρτώμενη από τον χρόνο.

Παρ'όλα αυτά δεν πρέπει να πιστεύουμε ότι οι κόνδυλοι που βρήκαμε σε αβυσσικές περιοχές μακριά από τις μεσοωκεανικές ράχες άρχισαν την ανάπτυξή τους στη ράχη και τοιουτοτρόπως έχουν την ίδια ηλικία με το υπόβαθρο που υπόκειται των ιζημάτων των οποίων επικάθονται. Πιθανώτατα οι κόνδυλοι αναπτύσσονται μέχρι ένα καθορισμένο μέγεθος σε σχέση μόνο με το περιβάλλον του βυθού, προτού θαφτούν ή σπάσουν. Ετσι οι περισσότεροι κόνδυλοι είναι πιθανότατα πολύ νεώτεροι από το υποκείμενο υπόβαθρο.

Σχέσεις ανάμεσα στα κοιτάσματα

Η ύπαρξη διαφορετικών τύπων κοιτασμάτων δηλ. προσχωματικών, φωσφοριτών, μεταλλοφόρων ιζημάτων και θειούχων, κονδύλων μαγγανίου, που ως επι το πλείστον, βρίσκονται σε διαφορετικά περιβάλλοντα στον ωκεάνιο βυθό, υποδηλεί την γενική έλλειψη σχέσης μεταξύ των. Αυτό βέβαια δεν είναι απαραίτητο για όλες τις περιπτώσεις..

Κλαστικά κοιτάσματα, όπως τα προσχωματικά και συσσωματώματα, φαίνεται να έχουν πολύ λίγα κοινά με τα άλλα κοιτάσματα και πιθανώς δεν δείχνουν καμμία σχέση με αυτά, τουλάχιστον καμμία χημική σχέση. Για τον λόγο αυτό εξαιρούνται από την παρακάτω συζήτηση.

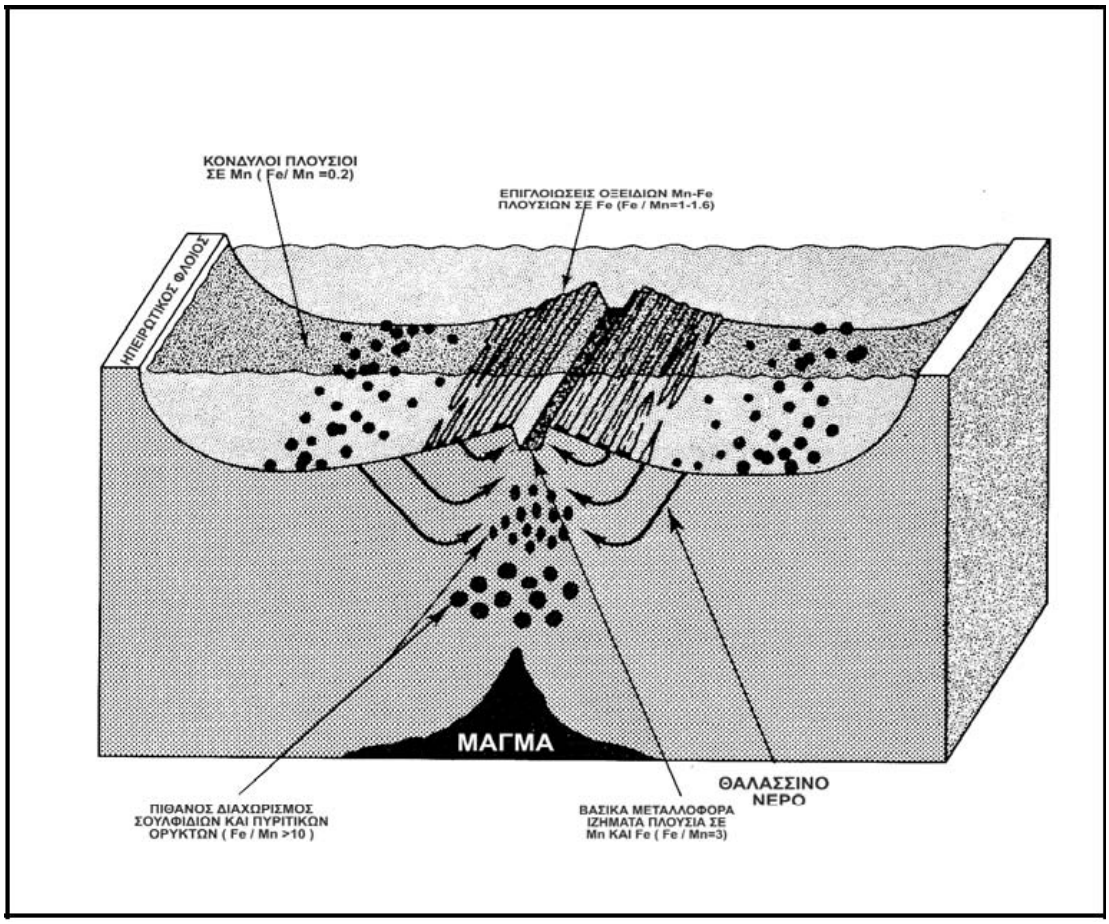
Σχέσεις ανάμεσα στους φωσφορίτες και τα οξείδια του σιδηρομαγγανίου

Μία φυσική σχέση μεταξύ των φωσφοριτών και των κονδύλων του μαγγανίου έχει παρατηρηθεί ανάμεσα στο Campbell Pleatear (Summerhays 1967) και στο Blaka Platean και σε άλλα μέρη. Ο φωσφορίτης μερικές φορές ενεργεί σαν πυρήνας για την απόθεση οξειδίου του σιδηρομαγγανίου και σε μερικές περιπτώσεις οι δύο φάσεις είναι εναλασσόμενες και συναναπτυσσομενες, υπό μορφή στρωμάτων.

Χημική σχέση έχει παρατηρηθεί μεταξύ των φωσφοριτών και των σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων από διάφορους ερευνητές. Οι κόνδυλοι από περιβάλλον παράκτιο είναι πλουσιώτεροι σε φώσφορο παρά οι κόνδυλοι από βαθειά νερά και γενικά, ο φώσφορος συγκεντρώνεται σε φάσεις πλούσιες σε σίδηρο. Υπάρχει πιθανότητα να σχηματισθεί σιδηρο-φωσφορούχος φάση, αλλά ο Wintehalter και ο Siivola (1967) παρατήρησαν ότι υπήρχε περισσότερος σίδηρος στις συγκεντρώσεις φωσφοριτών που εξέτασαν ώστε θα μπορούσαν να ταξινομηθούν σαν σιδηρούχοι φωσφορίτες. Πιστεύεται ότι ο φώσφορος σ'αυτά τα συσσωματώματα ήταν πιθανώτερο να συγκεντρώθηκε σαν αποτέλεσμα απορρόφησης ανιόντων PO_4^{-3} από οξείδια τρισθενούς σιδήρου παρά λόγω καθίζησης σαν φωσφορική ένωση τρισθενούς σιδήρου. Η εμφάνιση φωσφόρου στα μεταλλοφόρα ιζήματα της μεσο-ωκεάνειας ράχης μελετήθηκε από τον Clavert (1978). Ο Berner (1973) βρήκε ότι ο φωσφόρος ήταν εμπλουτισμένος στα ιζήματα της Ανατολική Ράχης του Ειρηνικού και ότι συσσωρεύεται αρκετά γρήγορα, έβγαλε όπως το συμπέρασμα ότι προερχόντα μάλλον απότο θαλασσινό νερό παρά από υδροθερμική δράση. Ο Froelich και άλλοι (1977) επιβεβαίωσαν λίγο-πολύ τις παρατηρήσεις αυτές. Ο εμπλουτισμός αυτός του φωσφόρου σε τέτοια ιζήματα μπορεί να είναι αποτέλεσμα απορρόφησης απο τα φρεσκο-καθιζάνοντα, οξείδια σιδήρου και μαγγανίου στα ιζήματα της κορυφογραμμής της ράχης, και από την άποψη αυτήμπορεί να ενεργούν με τον ίδιο τρόπο για μερικά από τα ιχνοστοιχεία που εμπλουτίζονται στα ιζήματα αυτά.

Αλληλοσυσχετισμός ανάμεσα στους κονδύλους Mn και τα μεταλλοφόρα ιζήματα

Οπως προκύπτει από τις μέχρι τώρα παρατηρήσεις οι κόνδυλοι του μαγγανίου, οι επιφλοιώσεις και τα μεταλλοφόρα ιζήματα έχουν πολλές διαφορές. Ωστόσο, παρουσιάζουν, ένα συνεχές μπορούμε να πούμε, φάσμα στη σύνθεσή τους. Αν τα κοιτάσματα εξετάζονται αποκλειστικά από την άποψη της αναλογίας τους σε Fe/Mn (σίδηρο/μαγγάνιο) (ΦΩΤ.Ι3) είναι φανερό πως γενικά η αναλογία είναι πιό μεγάλη στα πρώϊμα σχηματισθέντα μεταλλοφόρα ιζήματα, δηλαδή τα θειούχα, πυριτικά και τα κοιτάσματα οξειδίων της Ατλαντίδας ΙΙ στον πυθμένα της Ερυθράς Θάλασσας και κατά συνέπεια στον ωκεάνειο φλοιό τον υποκείμενο του κέντρου επέκτασης (spreading centers). Η αναλογία αυτή είναι ακόμη μικρότερη στις επιφλοιώσεις σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων των πλευρών των μεσο-ωκεάνειων ράχεων.



ΦΩΤ.Ι3. Σχέσεις Fe / Mn κονδύλων και επιφλοιώσεων οξειδίων μαγγανίου-σιδήρου καθώς και άλλων συνδεομένων με αυτά κοιτασμάτων από όλο το φάσμα γεωτεκτονικών περιβαλλόντων (Από Cronan 1980)

Πιό μικρή επίσης είναιστους κονδύλους μαγγανίου που σχηματίζονται σε ανοικτές θάλασσας και ακόμη μικρότερη σε κονδύλους Mn που σχηματίζονται σε διαγεννετικά ηπειρωτικά περιθώρια. Η διαφορά αυτή είναι εξηγήσιμη αν λάβουμε υπόψη μας ότι, έχουμε επικράτηση υδροθερμικής πηγής σιδήρουςκαι μαγγανίου, στις μεσο-ωκεάνειες ράχες, η οποία μειώνεται μακρυά από τις μεσο-ωκεάνειες ράχες με ταυτόχρονη αύξηση προσφοράς χημικών στοιχείων απο το κανονιμό θαλάσσιο νερό, τα οποία καθιζάνουν απ'ευθείας στην περίπτωση των επιφλοιώσεων και μερικών κονδύλων ή στοιχείων που διαγεννετικά ανακυκλώνονται, μέσω των εσωτερικών νερών πόρων των ιζημάτων στην περίπτωση κονδύλων με τις μεγαλύτερες αναλογίες σε Mn/Fe. Φυσικά υπάρχουν εξαιρέσεις στον γενικό κανόνα. Τα πλούσια σε μαγγάνιο υδροθερμικά κοιτάσματα μπορεί να σχηματισθούν σε ενεργές ράχες, όπως στην περιοχή της TAG, κλπ. Αυτά όμως έχουν μικρό όγκο, σε σχέση με τον όγκο των ωκεάνειων κοιτασμάτων σιδηρομαγγανιούχων οξειδίων και αντιπροσωπεύουν ένα ακραίο διαχωρισμό μετάλλων κάτω από κάπως εξαιρετικές συνθήκες. Παρομοίως, φλοιοί, πλούσιοι σε Fe, εμφανίζονται στις ηπειρωτικές περιθωριακές περιοχές που οι συνθήκες, εναπόθεσης είναι ακατάλληλες για καταβύθιση μαγγανιούχων ιζημάτων. Οι φλοιοί αυτοί, ποσοτικά είναι επισης χωρίς ενδιαφέρον. Οι φλοιοί που είναι πλούσιοι σε σίδηρο εμφανίζονται στα κωνικά όρη ή σε άλλες εμφανίσεις πετρωμάτων, σε περιοχές που κυρίως καλύπτονται από ιζήματα, π.χ. στις ωκεάνειες λεκάνες, αρκετάμακρυά από τις Μσεο-ωκεάνειες ράχες, πιθανώς γιατί δεν μπορούν να πάρουν μαγγάνιο μέσω δαγεννετικής διαδικασίας και μπορούν να πάρουν σίδηρο και μερικά άλλα στοιχεί από την εξαλλοίωση του ηφαιστειακού τους υπόβαθρου.

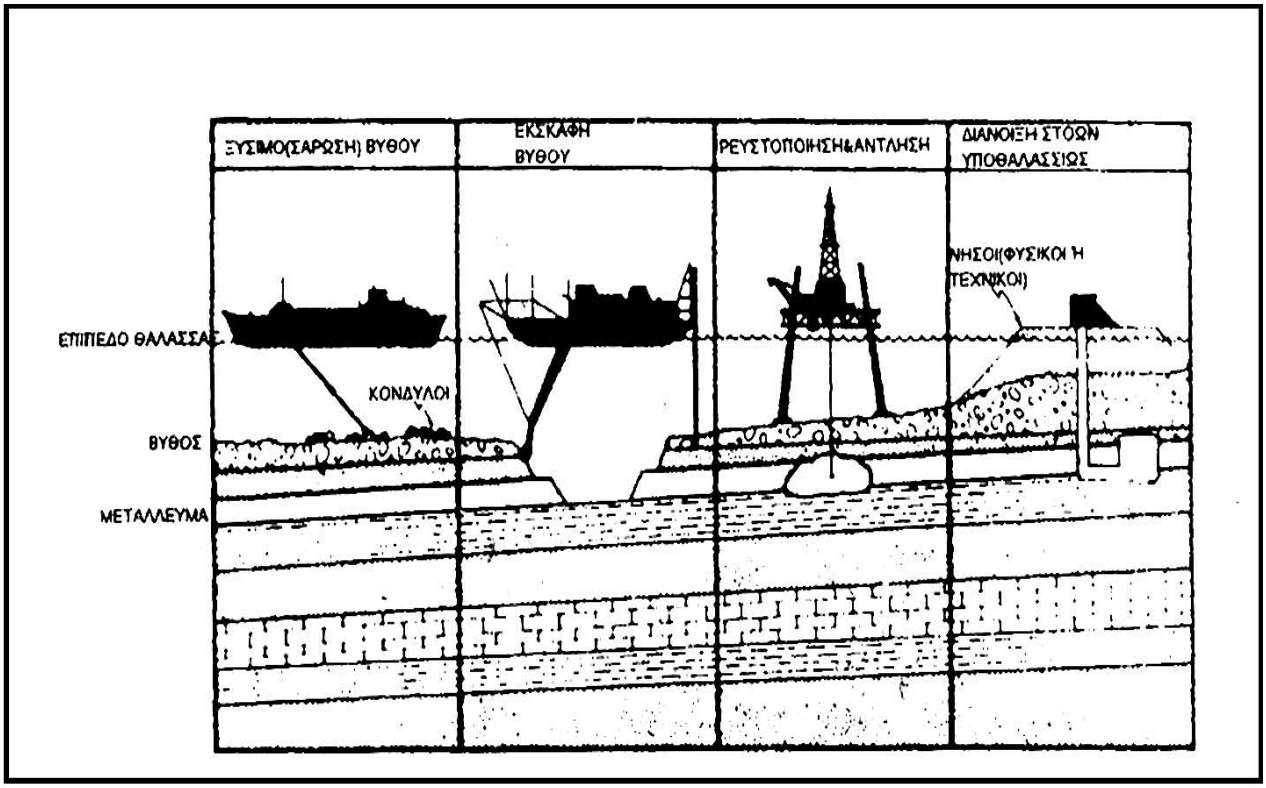
Παρ'όλες αυτές τις εξαιρέσεις τα κοιτάσματα του σιδηρομαγγανίου, στο βυθό (δάπεδο) του Ωκεανού, είναι δυνατόν να θεωρούνται ότι αντιπροσωπεύουν μία συνεχόμενη σειρά, ένα συνεχές φάσμα, που αποτελείται από κοιτάσματα, πλούσια σε Fe (σίδηρο), κόντα στην πρωτογενή ηφαιστειακή πηγή των μετάλλων από την μία πλευρά και κοιτάσματα πλούσια σε μαγγάνιο αλλά μακρυά από ηφαιστειακές πηγές, από την άλλη πλευρά. Βάσει αυτού, συνεπώς, οι κόνδυλοι μαγγανίου και τα μεταλλοφόρα ιζήματα μπορεί να εκλαμβάνονται όχι σαν διαφορετικές κατηγορίες κοιτασμάτων, αλλά σαν διαφορετικές ποικιλίες κοιτασμάτων της αυτής γεννετικής κλάσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Κ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΛΗΨΗΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΟΥΣ

Υπάρχουν 4 βασικοί μέθοδοι απόληψης-εξόρυξης υποθαλασσίων ορυκτων πρώτων υλών.Οί μέθοδοι αυτοί (ΦΩΤ.Κ1) είναι:

- ΞΥΣΙΜΟ (ΣΑΡΩΜΑ) ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΟΥ ΒΥΘΟΥ
- ΕΚΣΚΑΦΕΣ ΟΡΥΓΜΑΤΩΝ&ΟΠΩΝ ΣΤΟΝ ΒΥΘΟ
- ΡΕΥΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΛΗΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΛΥΜΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΓΕΩΤΡΗΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ.
- ΔΙΑΝΟΙΞΗ ΣΤΟΩΝ ΕΝΤΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΦΟΡΙΑΣ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΣ.



ΦΩΤ.Κ1 Οι 4 βασικές μέθοδοι εξόρυξης Υποθαλασσίων Ορυκτών Πρώτων Υλών

Είναι γνωστό ότι τά πλείστα τών χερσαίων κοιτασμάτων εξορύσσονται μέ μιά από τίς παραπάνω 4 μεθόδους ή από κάποιες παραλλαγές τους.Έτσι καί γιά τίς υποθαλάσσιες Ο.Π.Υ υπάρχουν οί ίδιες προσεγγίσεις σέ ότι αφορά τή εξόρυξη τους είτε βρίσκονται στήν υφαλοκρηπίδα είτε σέ τμήματα τού βυθού πού βρίσκονται στήν ανοικτή θάλασσα καί τούς ωκεανούς.

Κάθε μιά από τίς παραπάνω μεθόδους έχει τίς παραλλαγές της,πού προκύπτουν από τίς επί τόπου υπάρχουσες συνθήκες μεταλλείας.Παράλληλα οί περισσότεροι τύποι τών υποθαλασσίων Ο.Π.Υ δυνατόν νά εξορύσσονται μέ περισσότερες τής μίας από τίς παραπάνω μεθόδους.Η επιλογή στό σημείο αυτό έχει σχέση μέ τό ποιά μέθοδος είναι η οικονομικότερη.

Υποθαλάσσιες ΟΠΥ οί οποίες βρίσκονται επί ή κοντά στήν επιφάνεια τού θαλάσσιου βυθού,μπορούν νά εξορυχθούν μέ μηχανικά μέσα(Dredges) τά οποία "ξύνουν" ή "σαρώνουν" τόν βυθό συλλέγοντας τό μετάλλευμα σέ άλλα μηχανικά μέσα προκειμένου νά ανέλθει στήν επιφάνεια.Η ανάκτηση κονδύλων μαγγανίου(σέ χαλαρή κατάσταση) καί κονδύλων φωσφωριτών γίνεται καλύτερα μέ την μέθοδο αυτή.Η μέθοδος αυτή προτιμάται επίσης καί γιά τήν εξόρυξη συσσωματωμάτων βαρέων ορυκτών.

Υποθαλάσσιες ΟΠΥ οί οποίες βρίσκονται εξ ολοκλήρου ή μερικώς κάτω από τόν θαλάσσιο βυθό μπορούν νά ανακτηθούν μέ τήν μέθοδο τών εξορύξεων υπό μορφή τρανσερών,μεγάλων οπών κλπ. Οί ΟΠΥ οί οποίες εξορύσσονται μέ τίς μεθόδους αυτές περιλαμβάνουν στρώματα άμμων μεγάλου πάχους,μεταλλοφόρα ιζήματα καθώς καί διασκορπισμένα προσχωματικά κοιτάσματα σέ χαλαρή μορφή.Η μέθοδος αυτή έχει διάφορες παραλλαγές,εξαρτώμενες από τό πόσο εύκολα εξορύσσεται τό υλικό καί μετακινείται στήν επιφάνεια,από τό βάθος τής θάλασσας καθώς καί από τό κλίμα που επικρατεί στήν συγκεκριμένη θαλάσσια περιοχή.

Ωρισμένοι τύποι υποθαλασσίων ΟΠΥ ανακτώνται μέ τήν μέθοδο τής διαλυτοποίησης καί κατόπιν αντλησης στήν επιφάνεια.Συγκεκριμένα υπερθερμασμένο νερό σέ υψηλές πιέσεις διοχετεύεται στήν μεταλλοφορία,τήν ρευστοποιεί καί κατόπιν μέσω ειδικών γεωτρήσεων αντλείται τό ρευστό αυτό στήν επιφάνεια.Σέ άλλες περιπτώσεις τά συστατικά τής μεταλλοφορίας,δυνατόν νά υποστούν συλλεκτική απόπλυση καί τά συστατικά πού είναι πρός εκμετάλλευση να ανακτηθούν υπό μορφή διαλύμματος.Κοιτάσματα πού συνδέονται μέ σκληρά πετρώματα καί μπορουν νά υποστούν υδρομεταλλουργική επεξεργασία δυνατόν νά εξορυχθούν μέ τήν μέθοδο αυτή.Επίσης συσσωματώματα άμμων κάτω από τήν επιφάνεια τού βυθού,εξορύχθησαν μέ παραλλαγές αυτής τής μεθόδου στήν Ιαπωνία από τό 1974.Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει σειρά πρβλημάτων,πού δέν έχουν λυθεί καί σχετίζονται με τούς τοξικούς καί διαβρωτικούς διαλύτες πού δημιουργούν όχι μόνο περιβαλλοντικά προβλήματα αλλά καί προβλήματα πού σχετίζονται μέ τίς ίδιες τίς εγκαταστάσεις.

Κοιτάσματα τά οποία βρίσκονται σέ μεγάλο βάθος κάτω από τόν θαλάσσιο βυθό δυνατόν νά εξορυχθούν μέ τίς γνωστές συμβατικές μεθόδους τής υπόγειας εκμετάλλευσης,μέσω τής χρήσης στοών,πηγαδιών ειδικών εξόδων εξαερισμού κλπ.Τέτοιου είδους εκμετάλλευση μπορεί νά γίνει από τήν ξηρά πρός τήν θάλασσα(στήν περίπτωση πού τό κοίτασμα βρίσκεται πλησίον τής ξηράς,στήν υφαλοκρηπίδα) ή από φυσικά ή καί τεχνητά νησιά στό απώτερο μέλλον.Τά επί πλέον προβλήματα(σέ σχέση μέ τά υπάρχοντα στην ξηρά) πού έχουν οί μέθοδοι αυτοί σέ υποθαλάσσιο περιβάλλον είναι αρκετά καί έχουν σχέση μέ τήν πρόσβαση,τόν αερισμό,τήν στερεότητα τών στοών κλπ.Πρός αυτή τήν κατεύθυνση πρέπει νά γίνει πολύ δουλειά ακόμη καί η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε πολύ λίγο γιά τήν εξόρυξη υποθαλάσσιων κοιτασμάτων ποτάσας,άνθρακος,καί σιδηρολίθων πού ευρίσκοντο πολύ κοντά στήν ξηρά.Κοιτάσματα πού συνδέονται μέ σκληρά,λιθοποιημένα πετρώματα καί βρίσκονται σέ μεγάλο βάθος κάτω απο τόν πυθμένα π.χ φλέβες πολυμεταλλικών θειούχων δυνατόν νά εξορυχθούν μέ παραλλαγές αυτής τής μεθόδου.

ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΥΠΟΘΑΛΑΣΣΙΩΝ Ο.Π.Υ

Η εκμετάλλευση των υποθαλάσσιων ορυκτών πρώτων υλών δεν είναι μια καθόλου ανώδυνη υπόθεση σε ότι αφορά τίς πιθανές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Το περιβάλλον αυτό σε αντίθεση με την ξηρά είναι πολύ πιο ευάλωτο καί οι παράμετροι πού το καθορίζουν πιο πολύπλοκοι αλλά καί αλληλοεξαρτώμενοι μεταξύ τους.

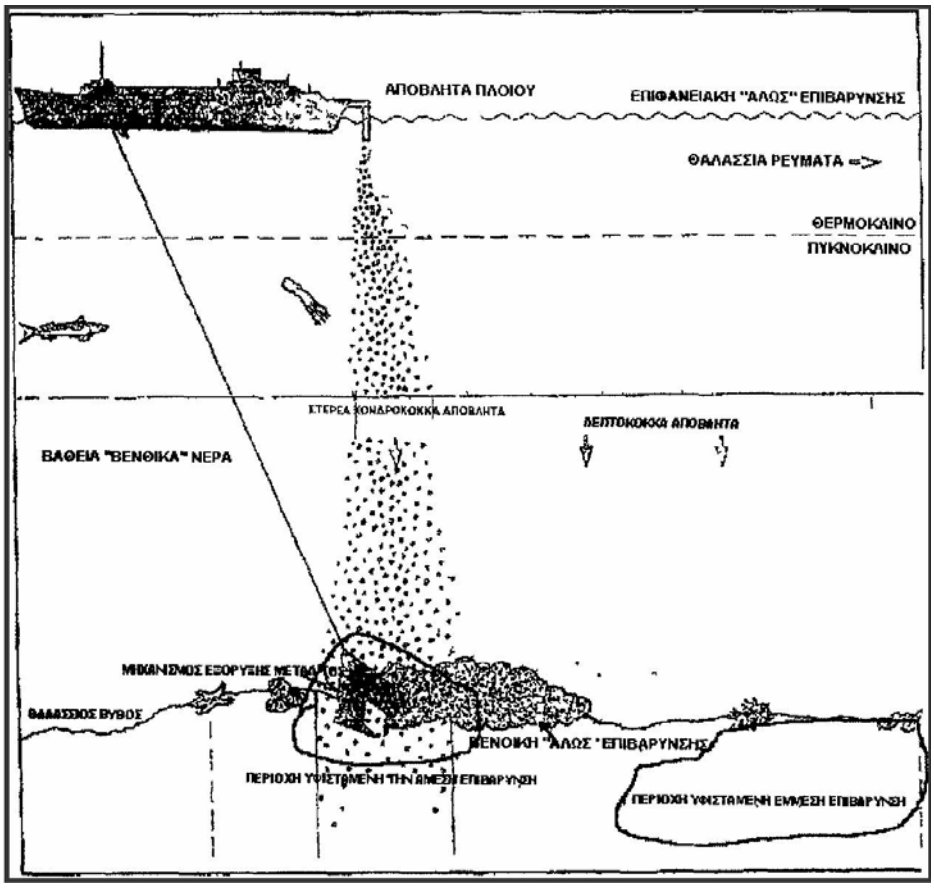
Ήδη η πράξη έδιξε ότι η υπάρχουσα σημαντική υποθαλάσσια μεταλλευτική δραστηριότητα σε ότι αφορά τα ΠΡΟΣΧΩΜΑΤΙΚΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ καί τα ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΑ ΒΑΡΕΩΝ

ΟΡΥΚΤΩΝ(Σ.Β.Ο) καί μάλιστα στο ανώτερο τμήμα της υφαλοκρηπίδας γεγονός πού **πρακικά σημαίνει παράκτια μεταλλευτική δραστηριότητα** είχε σε αρκετές περιπτώσεις δυσμενείς επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον. Ιδιαίτερα η εξόρυξη τεραστίων ποσοτήτων αδρανών υλικών(ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΑ ΒΑΡΕΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ) σε αρκετές περιοχές του πλανήτη προκάλεσε όχι μόνο άμεσα προβλήματα στο θαλάσσιο περιβάλλον αλλά καί έμμεσα πού εκδηλώνονται με προβλήματα διάβρωσης των ακτών. **(ΦΩΤ.Κ2)**

Υπάρχει ήδη σε πολλές κυρίως βιομηχανικές χώρες μια αυξανόμενη ευαισθησία αλλά καί αντίδραση στην υποθαλάσσια εξόρυξη Σ.Β.Ο.Έτσι σε χώρες όπως στην Βρεττανία,ΗΠΑ καί την Ιαπωνία αυξάνει ό έλεγχος καί η αυστηρότητα των κανονισμών εξόρυξης σε ότι αφορά τα Σ.Β.Ο καί ιδίως άμμων καί λατυπών γεγονός πού είχε ήδη αρνητική επίδραση στους ρυθμούς παραγωγής. Έτσι στην Ολλανδία π.χ επεβλήθη σχετικά πρόσφατα ο κανονισμός ότι η υποθαλάσσια εξόρυξη άμμων καί λατυπών που σχεδόν πάντα γίνεται στα ανώτερα σημεία της υφαλοκρηπίδας καί πλησίων των ακτών πρέπει να γίνεται σε βάθη τουλάχιστον 20 μ. ή καί περισσότερο από την στάθμη της θάλασσας. Σημειώνουμε ότι με στοιχεία του 1990 μόνο στην Βρεττανία εξορύχθηκαν υποθαλάσσιος πάνω από 16 εκατ.τόννοι άμμων καί λατυπών σε σύνολο 100 εκατ.τόννων συνολικής παραγωγής ενώ το ποσοστό υποθαλάσσιας εξόρυξης τέτοιων προϊόντων αναμενόταν να φθάσει το 16% της συνολικής παραγωγής στην Βρεττανία στίς αρχές της δεκαετίας του «90».Η Ιαπωνία κατέχει τα σκήπτρα υποθαλάσσιας εξόρυξης Σ.Β.Ο σε παγκόσμιο επίπεδο. Έτσι με στοιχεία του 1990 η χώρα αυτή παράγει πάνω από το 50% των υποθαλάσσιων Σ.Β.Ο με μια μέση παραγωγή της τάξης των 70 εκατομ.τόννων ετησίως.

Οι ήδη αυξανόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις αλλά καί οι προκαλούμενες εκ του λόγου αυτού αντιδράσεις για την υποθαλάσσια μεταλλευτική δραστηριότητα γενικότερα επιβάλλουν ειδικούς σχεδιασμούς,ειδικές τεχνολογίες στίς μεθόδους καί εξοπλισμούς για τέτοιες δραστηριότητες. Την πραγματικότητα αυτή ήδη λαμβάβουν υπ'όψη τους οι εταιρείες πού προσανατολίζονται σε τέτοιες μελλοντικές δραστηριότητες καί τίς περιλαμβάνουν στίς οικονομοτεχνικές τους αναλύσεις αλλά και ερευνητικές τους επενδύσεις. Στο παρακάτω σχήμα δίδεται σχηματικά απλοποιημένη μια εικόνα των δυνατών περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την υποθαλάσσια μεταλλευτική δραστηριότητα.

Από την άλλη πλευρά η υποθαλλάσια μεταλλευτική δραστηριότητα υπόκειται σε μια σειρά από περιβαλλοντικά προβλήματα καί κινδύνους πού δεν συναντώνται στην ξηρά. Οί ισχυροί άνεμοι, οι τυφώνες, τα τεράστια συχνά στους ωκεανούς κύματα,τά υποθαλάσσια ρεύματα θολότητας,η αδυναμία του ανθρώπου να σταθεί στο θαλάσσιο περιβάλλον όπως στέκεται στην ξηρά , η φυσική τοξικότητα του θαλασσίου νερού είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά ειδικά προβλήματα πού έχει να αντιμετωπίσει η υποθαλλάσια μεταλλευτική δραστηριότητα.



ΦΩΤ.Κ2. Απλοποιημένη εικόνα όπου παρουσιάζονται οι επιδράσεις της εξόρυξης υποθαλασσίων ορυκτών πρώτων υλών σε υποθαλάσσιο περιβάλλον(Από SME Mining Engineering Handbook V.2 p:1995 1992).

ΒΑΣΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

A

1. ADDY, S.K. (1978) Prog. Abstr. 5th Symposium of the International association for the oenesis of ore deposits. Snowbird Utah August, 1978 p:35.
2. ALTSCHULER, Z.S, CLARKE, R.S & YGUNG, e.J (1958) U.S. Geol. Surv, Proj. Paper 314-D, 45.
3. ARRHEYIUS, G & MERO, J & KORKISH, J (1964) Science V:144 p: 170-173.

B

1. BATURIN, G.fd (1969) Dokl. Acad. Sci. USSR Earth Sci Sect. V.-189 p:227-230.
2. BATURIN, G.N. KOCHENON A.V. & PETERLIN, V.P. (19?0) Lithal Miner Resour (USSR) V:3 p: 15-26.
3. BERNER, R.A. (1969) Marine Geology V:71 p:253-260
4. BERNER R.A. (1973) Earth Planet Sci. Letts. V:18 p; 77-86.
5. BERZUKOV P.L & BATURIN, G.N (1979) Marine Geology V:31 p:317-332.
6. BIGNELL R.D. (1975) The geochemistry of metalliferous brine precipitates and other sediments from the Red Sea. Unpublished Ph.D. thesis, University of London.
7. BIGNELL R.D. (1978) Marine Mining V:1 p:209-236.
8. BISCHOFF J.L. & DICKSON, F (1975) Earth Planet Sci. Letts V:25 p: 385-397.
9. BLISSENBACH, E & FELLERER, R (1973) Geol. Rundschau 62, 812-840.
10. BONNATTI, E, KRAMER, T & RYDELL, H (1972). Ano TO (3i(3Aio "Ferromanganese deposits on the Ocean floor" (D.R.HORN Editor) p:149-165 N.S.F., Washington D.C.
11. BONATTI E. HONNOREZ, J., JOENSUM 0. & RYDELL H.S. (19?2). Ano TO pipAfo "The Mediterranean Sea" (D.J. Stanley editor) p:701-710 Dowden Hutchinson & Ross - New York.

13. BOSTROM K (1973) Stockholm Contr. in Geology V:27 p:149-243 (Acta Universitis Stockholmiensis).

14. BOSTROM.K, HALLBERG.A, ABEAG.A., DE SAISSY.H.M.(1990). Metallogenesis at Santorini-A subduction zone related process. Deposition of hydrothermal sediments.In Volume II. from the Symposium:"THERA AND THE AEGEAN WORLD III" p: 1-15 VOL.C

15. BURNETT, W.C (1974) Hawaii Inst. Geophys. Rept. No. 743.
16. BURNETT, W.C. (1977) Geol. Soc. Am. Bull. V:88 p:813-823
17. BURNS, R.G & BURNS, V.M (1977) : The Mineralogy of Marine Manganese Deposits. Από το βιβλίο "Marine Manganese Deposits" (G.P Glasby Editor p:185-248 Elsevier Amsterdam.)
18 BURNS, V.M & BURNS R.G [1978). Earth Planet Sci. Letts V:39 p: 341-348.
19. BURNS, V.M& BURNS R.G. (1979) In "Sur la genese des nodules de Manganese" (C. Lalou Editor) Proc. Collogue International du CNRS No.289.
20. BUSER, W&GRUTTEP, A (1956). Schweiz Mineral Petrogr. Metts V:36, p:49-62.

C

1. CALVERT, S.E. & PRICE N.B. (1977) Shallow water, continental margin and lacustrine nodules : Distribution and geochemistry. Από το βιβλίο : "Marine Manganese Deposits" (G.P: Glasby Editor) p:45-86 Elsevier Amsterdam.

2. CALVERT, S.E (1978). Από το βιβλίο «Sea floor development : Moving into deeper watrer» p:43-73. The Royal Society, London.
3.CRONAN, D.S (1967). The geochemistry of some manganese nodules and associated pelogic deposits. Unpublished Ph.D thesis. University of London.
4. CRONAN D.S & TOOMS, J.S (1969) Deep Sea Res. V:16, p:335-359
5. CRONAN D.S (1974). Από το βιβλίο «The Sea» (E.D. Goldberg Editor) V:5, p:491-525. Wiley Interscience, New York.
6. CRONAN, D.S (1975). Trans. Instn. Min. Metall V:B84 p:30-32.
7. CRONAN, D.S (1976).Geol. Soc. Am. Bull. V:87 p:928-934.
8.CRONAN,D.S(1992).Marine minerals in exclusive economic zones. CHAPMAN&HALL London-N.York-Tokyo-Melboume-Madras,209pp.
9. CRONAN,D.S Editor (2000) Handbook of Marine Mineral Deposits.CRC Press. P:406.

D

1. DAVIES, T.A & GORSLINE, D.S (1976). Από το βιβλίο "Chemical Oceanography (J.P. Riley and R. Chester Editors) V:5 p:1-69. Academy Press, London-New York.
2. DEAN W.E. & GHOSH, S.K (1980) In "International monograph on the geology and geochemistry of Manganese (I.M. Varentsov Editor). Publishing House of Hungarian Acad. of Science.
3. DEWEY, J (1972). Plate Tectonics. Από "Continental Adrift and Continents Aground". Εκδόση του «SCIENTIFICAMERICAN» p:34-45.
4. DYMOND,J. , LYLY,M. ,FINNEY,B. , PIPER. D.Z, MURPHY.K. CONRAD.N, PISIAS,N.(1984). Fenomanganese nodules from MANOP Sites H,S and R control of mineralogical and chemical composition by multiple accretionary process.Ceochem.Cosmochlm.Acta V:48,p:931-49.

E

1. EMERY. K.O & NOAKES, L.C (1968) Tech. Bull. ECAFE V:l, p:95-111
2.EARNEY,F.C (1990) Marine Mineral Resources.Ocean Mnagement and policy series.Routlege London-New York. p:387.

F

1. FELLERER,R. (1975). Από το βιβλίο "Oceanology International 1975". p:121-127. HPS Exhibitions Ltd, London.
2. FUERSTENAU, D.N. & HAN, K.N (1977) Marine Manganese Deposits
' Extractive metallurgy. Ano TO pipAfo "Marine Manganese deposits" (G.P. Glasby Editor) p:357-390 Elsevier Amsterdam.

G

1. GLASBY, G.P & ANDREWS, J.E (1977). Pasific Science V:31 p:363-379.
2. GLOVER E.D. (1977). American Mineralogist V:62 p:278-285.
3. GOLDHERG. E.D. & ARRHENIUS, G.O.S (1958).Geochim. Cosmochim. Acta V:13 p: 153-212.
4. GULDBRANDSEN, R.A (1969) Econ. Geol. V:64 p:365.

H

1. HAJASH A (1975). Contrib. Mineralogy and Petrology V:53 p:205-226.
2. HARRISON, C.G.A & BONATTI (1981). The oceanic lithosphere. In the Sea V:7 C. Emiliani (Editor) p:21-48. Wiley Interscience - New York.

3. HEATH, G.R & DYMOND, J (1977), Geol. Soc. Am. Bull V:88 p: 723-733.
4. HEKINIAN, R (1979) In "Metallogenesis at Oceanic Spreading Centers" Journ. Geol. Soc. London V:136 p:621-626,
5. HEKINIAN,R., FEVRIER, M., NEEDHAM, H.D.,AVEDEK F.,& CARRIBON,P (1981). Sulfide deposits . East Pasific Rise near I3°N. EOS, Trans. Amer. Geophys. Union, V:62 p:913.
6.HERZING,P., AND HANNINGTON ,M (2000). Input from the Deep: Hot Vents and Cold Seeps. In "Marine Geochemistry" H.D. SCHULZ Editor, Spinger 2000, p:397-416

I

1.ΙΩΑΝΝΟΥ,Κ, ΣΤΡΑΤΗ,Α(2000) Δίκαιο της θάλασσας. Εκδόσεις Α.Ν.Σάκκουλα(2η έκδοση)

K

1. KRUMBEIN W.C & GARRELS, R.M (1952) Journ. Geol. V:60 p:1-33.
2. KUNZENDORF, H (1987). Geochemical methods in manganese nodule exploration. Ano TO (3i(3Aio "Marine Minerals" -P.G.Teleki K.a (editors) p:221-234.

L

1. LEINEN & STAKES, D (1979). Bull. Geol. Soc. Am. V:90 p:357-375.
2. LE PICHON,X (1968). Sea, Floor Spreading and continental drift. Journ. Geophys. res. V:7 p: 3661-3697
3. LI Y.H, BISCOFF J.L & MATHIEU, G (I969). Earth Planet. Sci. Letts. p:265-270.
4. LYLE, M. DYMOND, J. & HEATH, (1977), Earth Planet. Scin. Letts. V:35 p:55-64.
5. LYNN,,D.C. & BONATTI, E (1965). Marine Geology, V:3 p:457-474 M

M

1. MANHEIM F.T (1965). Manganese-iron accumulations in the shallow marine environment. In symposium on marine geochemistry , D.R Shrink& J.T.Corless(editors) p:217-276.Narragansett.Mar. lab. Univ.Rhode Island, Occas.Publ. no3-1965.
2. MALAHOFF, A (1982) Pollymetallic Sulfides from the oceans to the continets. Sea Tect. V:23 p: 515-55
3. MANHEIM F,T, FRATT R.M, and McFARLIN P.F(1978) Composition and origin of phosphorites from the Blake plateau (Unpublished).
4. MANHEIM F.T, ROWE, G.T & JIPA D (1975). Journ. Sediment Petrol. V:45 p:243
5. MARTENS C.S & HARRIS, R.C (1970) Geochim. Cosmochim. acta V:34 p:62l.
6. MERO, J.L (1965). The Mineral Resources of the Sea". Elsevier Amsterdam.
7. MOORBY, S.A 1978 : The geochemistr and mineralogy of some ferromanganese oxides and associated deposits from the Indian and Atlantic Oceans. Unbublished PH. D Thesis. University of London.
8. MOORBY S.A, CRONAN D.S, GLASBY G. P. (1984). Geochemistry of hydrothermal Mn-oxide deposits from the S.W. Pacific island arc.Geochem.Cosmochem.Acta V:48,p:433-41.
9. MORPE, J.R (1976). Origin and exploration of marine Placers. Symposium 108, 25th Internal Geol. Cong. Sydney (abs.)
10. MOORE, J.R. & WELKIE C.J (1976). Metal BearinG sediments of economic interest, coastal Baring Sea. Symposium on Sedimentation Alaska, Geol. Soc.
11. MOORE W.S, VOGT P. R. (1976). Hydrothermal manganese crust from two sites near the Galapagos axis. Earrh Planet. Sci.Lett. V:29,p: 349-56.
12. MURRAY J.W, RENARD A.F (1891). Deep Sea Deposits. Rept. Sci.Results of Voyage of H.M.S.

Challenger (C.W.Thompson Editor) H.M.S.O. London.
13. MURRAY J.W. & BREWER P.G (1977).An6 TO (3i(3Aio «Marine manganese deposits»(G.P.GIasby Editor) p:291-326 Elsevier Amsterdam.

P

1. PAPAVASSILIOU.C.T, BOSTROM.K, PARITSIS.S, GALANOPOULOS.V ARVANITIDES.N., & KALOGEROPOULOS.S.(1990).Drilling of an ore-forming shallow hydrothermal system.Santorini Volcano, Greece. In Volume II from the Symposium ″TH ERA AND THE AEGEAN WORLD III″ p: 119-125.
2. PRICE, N.B. & CALVERT, S.E (1978)Chem. Geol. V:23 p: 151-170
3. PUCHLET, H (1972) Από το βιβλίο «0res in Sediments» D (G.Amstutr Editor) p:227-245. Springer-Verlag, BERLIN.

R

1. RIGGS, S (1987). Model of tertiary phosphorites on the wolrd's continental Margins. Από το βιβλίο ″Marine Minerals″ P.G. Teleki K.a (Editors) p:99-118. D. Reidel. Publishing Company.
2. RIGGS, S etal. (1987) Marine Minerals. Reidel. Publishing Company p:9-19.
3. ROBERTSON C.E (1966). U.S. Geol.Surv. Prof. Paper 550-D, 178.
4. RONA A.P. (1982) Polymetallic sulfides at sea floor spread ing centers:
a global overview. Mar. Technol. Soc. Journ. V:16 ,p:81-86.
5. RONA A.P.(1985) Hydrothermal mineralization at Slow-Spreading Centers:Red Sea, Atlantic Ocean and Indian Ocean. Marine Mining V:5 p: 117-145.

S

1. SCOTT R.B (1978) E.O.S. Trans. Am. Geophys. Union v:59 p:389 (abs).
2. SCOTT D.S (1985) Sea floor polymetallic sulfide deposits: Modern and Ancient. Marine Mining V:5 p: 191-212.
3. SCOTT D.S (1987). Seafloor polymetallic sulfides:scientific curiosities or mines of the future? Από το βιβλίο ″Marine Minerals″. P.G. Teleki K.a. (Editors) p:227-300. D. Reidel Publishing Company.
4.SCOTT D.S (1997). Submarine Hydrothermal Systems and Deposits. In " Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits" H.L.BARNES Editor. (Third Edition). J.Wiley&Sons, Inc. New York p:797-875
5. SILLITOE R.H (1978). Prog. Abstr. 5th Symposium of the International Association for the genesis of ore deposits. Snowdird, Alt. Utah p:175.
6. SMITH P.A & CRONAN D.S (1975). ″Oceanology International 1975″ p:111-114. BPS Exhibitons Ltd, LONDON.
7. STRIDE A. H (1963) Journ. Geol. Soc. London V:119, p: 175-199.
8. STUMM W & MORGAN J.J (1970) «Aquatic Chemistry» . EK5oon Wiley Interscience, New York.
9. SUMMERHAYES C.P (1967) N.Z.J. Geol. Geophys. V:10, p:1372-1381.
10. SUMMERHAYES C.P (1969). Bull. N.Z. Dept. Scient.lnd.Res. No 190 ,92 pp.
11. SUMMERHAYES C.P (1970). Phosphorite deposits of the N.W African Continencal shelf and slope. Unpublished Ph.D Thesis, University of London.

T

1. TARLING H.D(1981) Introduction to Plate Tectonics. Από το βιβλίο «Economic Geology and Geotectonics» D. Tarlirg Ediitor p:1-30.
2. The TIMES ATLAS OF THE OCEANS (1983)- Times Books. LONDON.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ INTERNET

1. http *//www* dae.gov.in/amd/bsoi htm

2. http *//www.mines* 98.com

3. http //pubs.usgs.gov/info-handout/ofrshore/

4. http //www.ea.gov.au/soe/techpapers/marine-disturbance/appendix4. html

5. http *//www.*gsi.gov.in/marinecap.htm

6. http //dod nic.in

7. http //www.cnie.org/nle/crsreports/bnefingbooks/oceans/u.cfm

8. http *//www.*ifremer.fr/drogrn/index-uk.html

9. http//www.mms.gov/

10. http *//www.* ngdc.noaa.gov/mgg/geology/mmdb.html

11. http//geography.tqn.corn

12. http //www.whoi.edu/no

13. http //www.mhhe.com/earthschi/geology/oceanography/no

14. http //gs.ucsd.edu/gc/no

15. http *//www.*ngdc.noaa.gov/mgg/geology/siodesc.html

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης