

ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΕ ΕΔΑΦΙΚΑ ΚΑΙ ΥΔΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΤΗΝ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΩΝ ΕΞΥΓΙΑΝΣΗΣ*

Σ. Π. ΒΑΡΝΑΒΑΣ¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κυρίαρχη εφαρμογή της γεωχημείας σήμερα αποτελεί η εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε διάφορα περιβάλλοντα (π.χ. εδαφικά ή υδατικά) και η εφαρμογή μεθοδολογιών εξυγίανσης τους. Για το σκοπό αυτό, εκτός από τον καθορισμό των επιπέδων και την πηγή προέλευσης των ρύπων μελετώνται οι βιογεωχημικές διεργασίες και καθορίζεται η συμπεριφορά των ρύπων σε ειδικότερα περιβάλλοντα (π.χ. ρυθμός εμπλουτισμού ή αραίωσης στο χώρο και στο χρόνο, διασπορά κ.τ.λ.). Με βάση τα αποτελέσματα γεωχημικών ερευνών εφαρμόζονται μεθοδολογίες εξυγίανσης των περιβαλλόντων και παρεμπόδισης εισόδου βλαπτικών στοιχείων στη τροφική αλυσίδα, ενώ λαμβάνονται αποφάσεις για την ορθολογική διαχείριση υγρών και στερεών αποβλήτων. Ακόμα λαμβάνονται μέτρα για την προστασία της υγείας του ανθρώπου με τον καθορισμό κριτηρίων ποιότητας του καλλιεργήσιμου εδάφους, του νερού άρδευσης και ύδρευσης, των πηλινών οικιακών σκευών κ.α.

ABSTRACT

A main present day geochemical application is the assessment of the environmental conditions prevailing in a variety of natural and anthropogenic environments and the application of remediation methodologies. For this aim geochemical studies lead to the determination of the concentration levels and the source of pollutants. In addition through biogeochemical studies the behavior of pollutants in various environments is determined (i.e. rate of enrichment or dilution in space and time, dispersion processes etc.). On the basis of the results of geochemical studies remediation methodologies and methodologies leading to prevention of toxic elements in getting into the food chain are applied while criteria are put for the quality of soils, water etc. In addition decision makers are helped to make the necessary and right decisions in the management of toxic waste.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Αν ανατρέξει κανείς στην μακροαίωνα ιστορική διαδρομή της ανθρωπότητας και εντοκρίσει στον τρόπο ζωής του ανθρώπου θα διαπιστώσει με βεβαιότητα τον ύψιστο βαθμό σύνδεσης και εξάρτησής του από τη γη. Φτιαγμένος ο ίδιος με συστατικά της γης όπως τον θέλει η Αγία Γραφή αλλά και η επιστήμη όπως π.χ. το Ca, P κ.α ανέπτυξε εκτός από τις άλλες επιστήμες και την επιστήμη της Γεωχημείας.

Σήμερα που ο άνθρωπος απειλείται με αφανισμό, ως αποτέλεσμα της υπέρμετρης και αλόγιστης δράσης του πάνω στη γη που τον γέννησε και τον ανέθρεψε, καταβάλλει ατεγνωσμένες προσπάθειες να αναστρέψει τις βλαπτικές έως καταστροφικές διεργασίες που ο ίδιος ξεκίνησε.

Σ' αυτή την προσπάθεια εφαρμόζει γεωχημικές γνώσεις καθώς και διεργασίες που επικρατούν στο ίδιο το γήινο περιβάλλον.

Έτσι, ενώ η Γεωχημεία αναπτύχθηκε και εφαρμόστηκε έντονα τη δεκαετία του '50 για τον εντοπισμό ορυκτών πρώτων υλών, κυρίαρχη εφαρμογή της σήμερα είναι η εκτίμηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν στο φυσικό αλλά και ανθρωπογενές περιβάλλον, ενώ συμβάλλει στην ανάπτυξη μεθοδολογιών εξυγίανσης των εδαφικών και υδατικών συστημάτων και γενικά στη διαχείριση του περιβάλλοντος.

Παρατίθενται εδώ μερικά παραδείγματα των εφαρμογών αυτών, μέσα από τα οποία μπορεί να διαπιστώσει κανείς την αναγκαιότητα της αξιοποίησης και εφαρμογής των γεωχημικών γνώσεων για να μπορέσει να επιβιώσει ο άνθρωπος πάνω στη Γη και να διαβιώσει σε ένα υγιεινό περιβάλλον.

THE CONTRIBUTION OF GEOCHEMISTRY IN THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS IN SOILS AND AQUATIC SYSTEMS AND IN THE APPLICATION OF REMEDIATION METHODOLOGIES

* Η εργασία αυτή αφιερώνεται στη μνήμη των δασκάλων μου που έφεραν και διαίτησαν στον Αείμνηστο Καθηγητή και Ακαδημαϊκό ΑΘΛ-ΝΑΣΙΟ ΠΑΝΑΓΙΩ ως ένδειξη εφ'ημερέσων. Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

¹ Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα 26500

2. ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ

Η χρησιμότητα και αξία των γεωχημικών ερευνών και η συμβολή της γεωχημείας στην προστασία της υγείας του ανθρώπου θα γίνει περισσότερο κατανοητή αν κατανοήσουμε την επίδραση των ρύπων και ιδιαίτερα των μετάλλων στους οργανισμούς. Ιδιαίτερα, όταν αυτά συγκεντρώνονται συνεχώς σ' αυτούς, μέσω της ζωικής και φυτικής τροφής τους ή του πόσιμου νερού.

Έχει αποδειχθεί ότι στην περίπτωση έλλειψης των ουσιωδών μετάλλων, όπως π.χ. Cu, Zn οι οργανισμοί αναπτύσσονται με τη λήψη των μετάλλων αυτών. Οι συγκεντρώσεις τους μπορούν να φθάσουν σε μια άριστη τιμή, ενώ η συνεχιζόμενη λήψη μεγάλων ποσοτήτων Cu και Zn οδηγεί σε τοξικές και θανατηφόρες συγκεντρώσεις. Όταν πρόκειται για μη ουσιώδη μέταλλα, όπως π.χ. Cd, Pb οι οργανισμοί είναι ανεκτικοί σε ορισμένες συγκεντρώσεις, ενώ η υπέρβαση ορισμένων ορίων οδηγεί στη φθορά και στο θάνατό τους (Forstner and Wittman, 1983). Στην περίπτωση των φυτών η τοξικότητα των μετάλλων αποτυπώνεται στη μορφολογία τους (Κιάλφρουζιώτης, 1898).

Για να μην υπερβούν οι συγκεντρώσεις των μετάλλων στο σώμα του ανθρώπου τις άριστες ή ανεκτές συγκεντρώσεις τους ο παγκόσμιος οργανισμός υγείας έχει θέσει ανώτατο όριο στην εβδομαδιαία ποσότητα μετάλλων που μπορεί να πάρει ο άνθρωπος με την τροφή και το πόσιμο νερό (πίνακας 1).

Πίν. 1. Μεγίστη επιτρεπόμενη εβδομαδιαία κατανάλωση μετάλλων από τον άνθρωπο (Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, Merian, 1991).

Μέταλλο	mg / άτομο
Ολικός Υδράργυρος	0,3
Μεθυλικός Υδράργυρος	0,2
Μόλυβδος	3
Κάδμιο	0,4-0,5

Έχει βρεθεί ότι η μέση ημερήσια λήψη Pb στους ενήλικες άνδρες στην Μάλτα είναι πολύ μεγαλύτερη συγκριτικά με τη μέση ημερήσια λήψη Pb σε πολλές άλλες χώρες της Ευρώπης και την Αμερική.

Αυτό είναι ενδεχόμενο να οφείλεται στα πετρώματα και εδάφη της χώρας αυτής. Επομένως η γεωχημική επιστήμη στην περίπτωση αυτή καλείται να καθορίσει τις περιοχές υψηλών συγκεντρώσεων Pb και την εφαρμογή μεθοδολογιών παρεμπόδισης της εισόδου του στην τροφική αλυσίδα.

Η αρχική συμβολή της γεωχημείας στην προστασία του περιβάλλοντος συνίσταται στον καθορισμό:

- 1) των επιπέδων των συγκεντρώσεων των διαφόρων στοιχείων (στα διάφορα φυσικά περιβάλλοντα.
- 2) των περιοχών όπου επικρατούν υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων λόγω αποσάθρωσης πετρωμάτων και μεταλλευμάτων.
- 3) της επίδρασης της αέριας ρύπανσης στις μεταβολές των κανονικών συγκεντρώσεων στοιχείων στα εδάφη και τα φυτά.
- 4) των διεργασιών διάχυσης των στοιχείων στα εδάφη και εδαφικά διαλύματα διαμέσου των επιφανειακών και υπογείων νερών.
- 5) των χημικών χαρακτηριστικών των στερεών αποβλήτων της μεταλλευτικής και μεταλλουργικής δραστηριότητας, της διαλυτότητας των ουστατικών τους, της διασποράς τους γύρω από το χώρο απόθεσης (Cannon and Anderson, 1971).

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η περιβαλλοντική γεωχημική έρευνα περιλαμβάνει εκτός από την ανάλυση εδαφών, ιζημάτων, νερών, σκόνης, φυτικών και ζωικών οργανισμών κυρίως τη μελέτη των γεωχημικών και βιογεωχημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται στα εδαφικά και υδατικά συστήματα (Alloway, 1990). Η μελέτη των διεργασιών διάχυσης, προσρόφησης, ιοντοανταλλαγής, αποδόσεως ιόντων, ανθιγένεσης και της διαγένεσης σε ειδικότερα περιβάλλοντα οδηγεί στην απαραίτητη τεχνολογία για την διεξαγωγή γύρω και στα στερεά αποβλήτων.

Για τις μελέτες αυτές δεν αρκεί ο καθορισμός της ολικής συγκεντρώσεως των τοξικών στοιχείων αλλά απαιτείται επιπλέον ο καθορισμός του τρόπου ενσωμάτωσής τους στο έδαφος, το εδαφικό και ο βαθμός ευκολίας αποδόσευσής τους στο νερό της βροχής στο συγκεκριμένο χώρο. Η παρουσία του CaCO₃, των πυριτικών ορυκτών, των θειικών ενώσεων, των χλωριούχων ενώσεων και εβαποριτών, παίζουν ρυθμιστικό ρόλο στην επανενσωμάτωση των ιόντων ή την περισσότερο διαλυτότά τους.

Γι' αυτό, ο προσδιορισμός των συστατικών αυτών μαζί με άλλες παραμέτρους είναι απαραίτητος.

Για αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν γεωχημικές μέθοδοι κλασματικής χημικής ανάλυσης των εδαφών και ιζημάτων με τις οποίες καθορίζονται τα ποσοστά των στοιχείων (θρεπτικών και βλαπτικών) που είναι ενσωματωμένα στο:

- ανθρακικό κλάσμα
- οργανικό κλάσμα
- οξείδια μαγγανίου
- οξείδια σιδήρου
- αργιλοπυριτικές ενώσεις ή είναι
- θέσεις προσρόφησης.

(Varnavas, 1988; Varnavas and Cronan, 1991).

4. ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΙΚΗΣ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗΣ

Για τον καθορισμό των περιοχών με υψηλές συγκεντρώσεις τοξικών στοιχείων κατασκευάζονται γεωχημικοί χάρτες, η χρησιμότητα των οποίων είναι πολύπλευρη και πολύ σημαντική.

Με την ίδρυση της ερευνητικής ομάδας Εφαρμογών της Γεωχημείας (Applied Geochemistry Research Group) ως ειδικού τομέα Εφαρμογών της Γεωχημείας στο Τμήμα Γεωλογίας του Imperial College of Science Technology and Medicine του Πανεπιστημίου Λονδίνου στις αρχές της δεκαετίας του 1950 από το διακεκομμένο Καθηγητή John Webb αρχίζει ουσιαστικά η έρευνα επί των εφαρμογών της γεωχημείας στην κατεύθυνση της προστασίας του περιβάλλοντος.

Η διορατικότητα του καθηγητή Webb για τις μελλοντικές εφαρμογές της γεωχημείας προς την κατεύθυνση αυτή οδηγεί στην έγκαιρη κατασκευή και δημοσίευση το 1978 με το στενό συνεργάτη του Iain Thornton και τους Thompson M., Howarth R. J. και Lowenstein P. L. του Γεωχημικού Άτλαντα της Αγγλίας και Ουαλίας που περιλαμβάνει τους έγχρωμους γεωχημικούς χάρτες 24 στοιχείων με βάση την ανάλυση ιζημάτων ορυκτών (Webb et al., 1978).

Η χρησιμότητα του γεωχημικού άτλαντα αναγνωρίζεται αμέσως στη Μ. Βρετανία γιατί με βάση τους γεωχημικούς χάρτες λαμβάνονται μέτρα για την προστασία της φυτικής και ζωικής παραγωγής και των υδατικών συστημάτων από τα τοξικά μέταλλα και κατ' επέκταση της υγείας του ανθρώπου. Τονίζεται εδώ ότι η δημοσίευση του γεωχημικού αυτού άτλαντα αποτελεί σημαντικό ορόσημο για τη γεωχημεία.

Η παρόμοια έρευνα που γίνεται από τον I. Thornton και τον D. S. Cronan και τους συνεργάτες τους στα εδάφη και στο θαλάσσιο περιβάλλον τις τελευταίες τρεις δεκαετίες καθιστούν κατανοητή την αναγκαιότητα της αξιοποίησης των γεωχημικών αποτελεσμάτων στην ορθολογική διαχείριση του περιβάλλοντος και στην προστασία της υγείας του ανθρώπου (Thornton et al. 1986; Varnavas and Cronan 1988).

5. ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΕΔΑΦΩΝ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Εμπειρισματομένες γεωχημικές έρευνες στη μεταλλευτική περιοχή Derbyshire της Μ. Βρετανίας έδειξαν ότι η σκόνη που κυκλοφορεί στο περιβάλλον σημαντικού αριθμού κατοίκων της περιοχής χαρακτηρίζεται από υψηλές συγκεντρώσεις Pb και Cd, ενώ υψηλές συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών χαρακτηρίζουν και τα εδάφη των γήπων των κατοικιών αυτών (Culbard et al. 1983).

Στις περιοχές αυτές βρέθηκε ότι η συγγέντρωση Pb στο αίμα των παιδιών αυξάνεται με την αύξηση της συγγέντρωσης μολύβδου στο έδαφος των γήπων τους και της σκόνης του σπιτιού τους. Ως πηγή εισόδου του Pb στον οργανισμό των παιδιών, στην περιοχή αυτή, θεωρείται το αναπνευστικό σύστημα με την αναπνοή της μολυβδούχου σκόνης (Barltrop et al., 1975).

Ανάλογη μελέτη που έγινε κοντά στο χωριό Shipham στο Somerset της Μεγάλης Βρετανίας περιοχή στην οποία γινόταν εκτεταμένη εξόρυξη ομοιοπνή μεταξύ 1700 και 1850 με ευρεία διασπορά **Zn και Cd** έδειξε ότι:

- α) το Cd στο έδαφος των γήπων της περιοχής αυτής υπερέβαινε τα 60 ppm.
- β) Η σκόνη των σπιτιών χαρακτηριζόταν από μέση συγγέντρωση Zn 2.300 ppm και 26 ppm. Cd.
- γ) Από ανάλυσεις των λαχανικών προσδιορίστηκε ότι η μέση εβδομαδιαία ποσότητα Cd που λαμβανόταν από τους κατοίκους ήταν 200 μg/εβδομάδα. Η μέση εβδομαδιαία ποσότητα Zn που λαμβανόταν στην Μ. Βρετανία (140 μg/εβδομάδα).

δ) Από βιοχημικούς ελέγχους που έγιναν για έλεγχο της υγείας των 548 ατόμων της περιοχής και σύγκριση τους με αντίστοιχους ελέγχους 543 ατόμων από άλλη περιοχή (Control) βρέθηκαν ελάχιστες διαφορές που θα μπορούσαν να αποδοθούν στο Cd.

Αυτό αποδόθηκε σε αναστολή της δράσης του Cd από Zn και Ca που βρίσκονται στο περιβάλλον των ατόμων αυτών. Η ανασταλτική δράση του Zn είναι γνωστή και από άλλες μελέτες.

Το φαινόμενο αυτό προσδίδει ιδιαίτερη αξία στις γεωχημικές έρευνες που αφορούν τις ειδικότερες συσχετίσεις των στοιχείων που μπαίνουν στην τροφική αλυσίδα του ανθρώπου είτε μέσω των φυτών ή των θαλάσσιων οργανισμών. Ας σημειωθεί εδώ η έντονη παρουσία Ca στα ελληνικά πετρώματα.

Ο καθορισμός έντονης συσχέτισης: α) μεταξύ των συγκεντρώσεων τοξικών μετάλλων στο έδαφος και στα καλλιεργούμενα λαχανικά καθώς και β) μεταξύ των συγκεντρώσεων τοξικών μετάλλων στο έδαφος / λαχανικά και στο αίμα του ανθρώπου κατέδειξε την ανεγκυαυότητα άμεσης λήψης μέτρων. (Thornton and Webb, 1970; Thornton et al., 1986)

Μεθοδολογίες έρευνας που σήμερα θεωρούνται απλές και εύκολα εφαρμόσιμες λόγω της ταχύρυθμης εξέλιξης της αναλυτικής τεχνολογίας, εκεί όπου δεν εφαρμόζονται για διάγνωση του βαθμού υποβάθμισης του περιβάλλοντος και τη λήψη των κατάλληλων μέτρων, οι πληθυσμοί είναι καταδικασμένοι σε πνευματική υστέρηση και σωματικό μαρμαισμό. Πλείστα όσα αποτελέσματα ερευνών που έγιναν τόσο με πειραματόζωα όσο και με επιδημιολογικές μελέτες θεμελιώνουν το συμπέρασμα αυτό.

Είναι γνωστή η τοξική δράση του Cd, του Pb, Hg του Ni και πολλών άλλων μετάλλων στον άνθρωπο (Bennett, 1981; EPA, 1984; Merian, 1991; Ewers and Shlipkoter, 1991). Γίνεται εδώ αναφορά μόνο στη βλαπτική δράση του Al και Li που είναι λιγότερο γνωστές. Ως αποτέλεσμα της συσσώρευσης Al στο σώμα και ειδικότερα στον εγκέφαλο του ανθρώπου παρατηρούνται σημαντικές νευροτοξικές και άλλες επιπτώσεις π.χ. ένα είδος πάρυν-σων έχει συσχετισθεί με το Al. Υπάρχουν επίσης ενδείξεις για τερατογενετική δράση του Li (Merian, 1991; Nriagu, 1984).

Εδώ πρέπει να τονισθεί η σημασία των μεταβολών των επιπέδων του pH στα εδάφη λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας (βιομηχανικής, μεταλλευτικής κ.α). Η δραστηριτική μείωση του pH αυξάνει το βαθμό διαθεσιμότητας πολλών τοξικών στοιχείων.

Βλαπτική επίδραση αμιαντούχων εδαφών

Η βλαπτική δράση του αμιάντου στην υγεία του ανθρώπου μπορεί να ανιχνευθεί και να διερευνηθεί γεωχημικά. Υπολογίστηκε ότι η τροφή σε ξηρή βλάση που λαμβάνεται από τα πρόβατα και από τις αγελάδες περιέχει 15% και 10% έδαφος αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές αυξάνονται το χειμώνα λόγω προσκόλλησης του εδάφους στο χόρτο με το οποίο τρέφονται τα ζώα. Αποδείχθηκε ότι η συγγέντρωση Pb, Zn, Cu στο αίμα των αγελάδων σε μεταλλευτικές ζώνες της Μ. Βρετανίας ήταν ιδιαίτερα υψηλή. (Thornton et al., 1986). Ανάλογη αύξηση παρατηρείται επίσης εκεί όπου οι αγελάδες εκτρέφονται με χόρτο που φυτρώνει σε σερπεντινικά εδάφη. Στις περιοχές αυτές παρατηρείται ότι την ξηρή περίοδο όπου ανεμοθιέλλες εισάγουν σημαντικές ποσότητες αμιαντούχου εδάφους στο χόρτο, οι συγκεντρώσεις Ni και Mn στο αίμα των αγελάδων είναι ιδιαίτερα υψηλές. Αντίθετα, το χειμώνα όπου τα ζώα εκτρέφονται με διαφορετική τροφή οι συγκεντρώσεις των μετάλλων αυτών στο αίμα τους επανέρχεται σε κανονικά επίπεδα (Shreier, 1989).

Είναι φανερό ότι η γεωγραφική έκταση καθώς και ο βαθμός βλαπτικής επίδρασης του αμιάντου στα ζώα και στον άνθρωπο σε περιοχές σημαντικής παρουσίας του, είτε λόγω βιομηχανικής ή μεταλλευτικής δραστηριότητας ή απλώς λόγω της παρουσίας του στα πετρώματα μπορεί να ανιχνευθεί και να διερευνηθεί χρησιμοποιώντας ως δείκτες το Ni και το Mn.

Επειδή το θέμα αυτό είναι ειδικού ενδιαφέροντος για την Ελλάδα και την Κύπρο, σημειώνεται εδώ ότι σε αγροτικές περιοχές των χωρών αυτών αλλά και σε άλλες χώρες με αμιαντούχο γεωλογικό υπόβαθρο έχει θεμελιωθεί η βλαπτική επίδραση του αμιάντου στον άνθρωπο. Αυτό επιβεβαιώθηκε με την ταυτοποίηση μεσοθλασιώματος και την ανεύρεση ινών αμιάντου σε πνευμονικές βιοψίες σε άτομα των αγροτικών αυτών περιοχών (Shreier, 1989).

Μεθοδολογίες εξιγάνωσης αμιαντούχων εδαφών

Είναι κατανοητό ότι η εφαρμογή μεθοδολογιών εξιγάνωσης των περιοχών με αμιαντούχα εδάφη προϋποθέτει εμπειριατωμένη γεωχημική έρευνα.

Πρωταρχικός στόχος στην περίπτωση αυτή είναι η βελτίωση και σταθεροποίηση των εδαφών για να καταστεί δυνατή η ανάπτυξη γεωργικών και κτηνοτροφικών δραστηριοτήτων. Η εξιγάνωση εδαφών αντιμετωπίζεται με την προσθήκη Ν, Ρ, Κ, Ca. Ιδιαίτερη προσοχή όμως απαιτείται στην επιλογή της μορφής του Ca. Η τυχόν

περαιτέρω αύξηση του ήδη υψηλού pH που επικρατεί στο περιβάλλον του αμιάντου μπορεί να παρεμποδίσει την διαθεσιμότητα του P. Αποδείχθηκε ότι η εναντίθεση γύψου είναι αποτελεσματική στην εξυγίανση των αμιαντούχων εδαφών. Η γύψος είναι καλή πηγή Ca για την αντιμετώπιση της έλλειψης Ca και των μικρών λόγων Ca/Mg στο αμιαντούχο περιβάλλον (Meyer 1980).

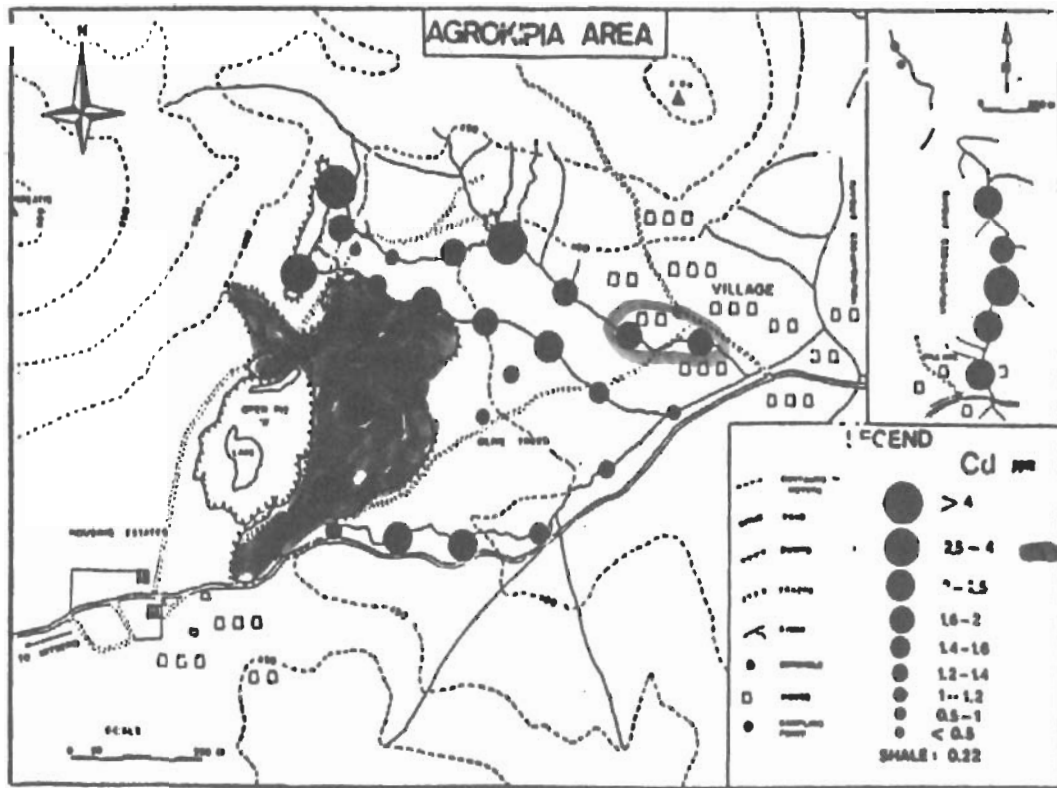
Βλαπτική επίδραση εδαφών που γειτνιάζουν σε αυτοκινητοδρόμους

Έχει αποδειχθεί ότι το χόρτο που προορίζεται για τροφή των ζώων και που καλλιεργείται σε εδάφη που βρίσκονται σε απόσταση μέχρι 50 μέτρων από το δρόμο, περιέχει 400 φορές μεγαλύτερες συγκεντρώσεις Pb από τις κανονικές συγκεντρώσεις.

Επίσης τα λαχανικά στα εδάφη αυτά περιέχουν 100 φορές περισσότερο Pb από τις κανονικές συγκεντρώσεις του Pb στα λαχανικά. Είναι αξιοσημείωτο ότι οι ποσότητες Pb που προσλαμβάνονται από τα λαχανικά που καλλιεργούνται σε ρυπαυμένα εδάφη είναι κατά πολύ μεγαλύτερες στη χειμερινή παρά στην καλοκαιρινή σοδειά (Thornton et al., 1986).

Εδάφη που γειτνιάζουν με τοξικά στερεά απόβλητα μεταλλευτικής δραστηριότητας

Τα στερεά απόβλητα που προέρχονται από τη μεταλλευτική δραστηριότητα αποτελούν παγκοσμίως σημαντική πηγή προέλευσης τοξικών μετάλλων που καταλήγουν στα εδαφικά και υδατικά συστήματα (Varnavas, 1994; Varnavas et al., 1992; 1993). Είναι γνωστό ότι στην περιφέρεια του οφιολιθικού συμπλέγματος του Τροόδου στην Κύπρο υπάρχουν μεγάλες ποσότητες στερεών τοξικών αποβλήτων που προέρχονται από την μακρόχρονη μεταλλευτική δραστηριότητα.



Εικ.1 Κατανομή του καδμίου (σε ppm) στα ιζήματα της περιοχής Αγκροκυπιάς, Κύπρου (Varnavas and Hatzirapanayiotou, 1989).

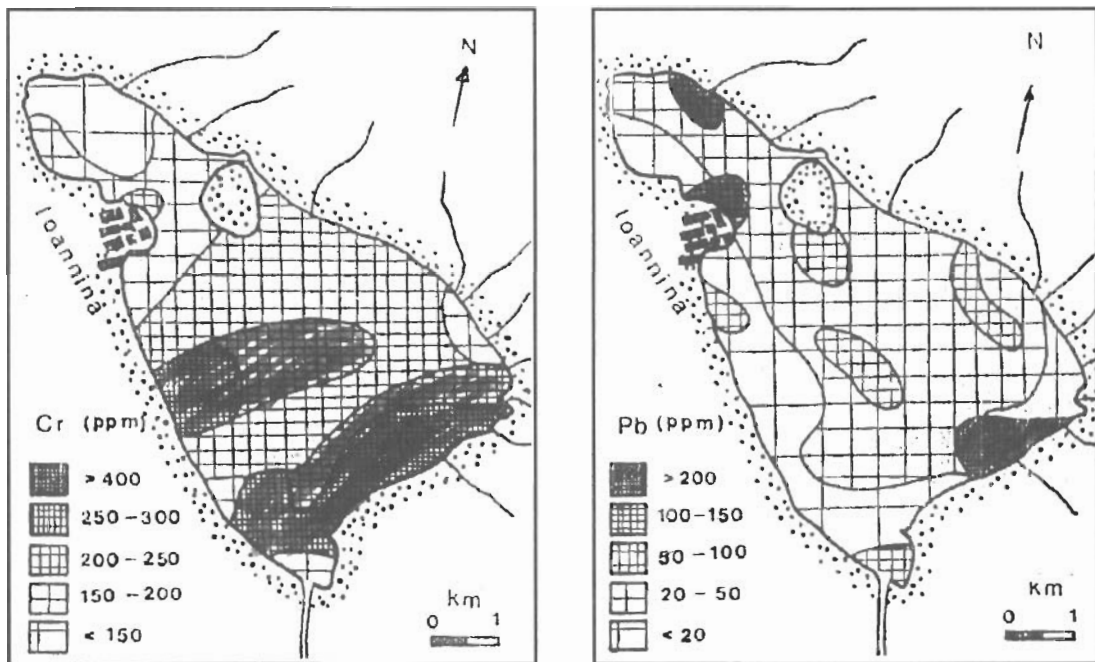
Πρόκειται κυρίως για στερεά απόβλητα που προέρχονται από την εξόρυξη θειούχων κοιτασμάτων και είναι πλούσια σε τοξικά μέταλλα (π.χ. Cd, Pb, As κ.α.).
 Από τη μελέτη της διασποράς τοξικών μετάλλων στα ιζήματα και εδάφη προέκυψε ότι σε γειτονικές προς

αυτά κατοικημένες περιοχές υποβαθμίζεται το περιβάλλον διαβίωσης ορισμένων πληθυσμών. Το χωριό Αγροκηλιά αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα της περίπτωσης αυτής (Εικ.1)

Η γεωμορφολογία σε συνδυασμό με τη θέση και τη φυσική κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα τοξικά στερεά απόβλητα διευκολύνει τη μεταφορά τοξικών μετάλλων μέσω των ρυακίων και του αέρα στο χωριό (Varnavas and Hatzipanayiotou, 1989).

6. ΜΕΤΡΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΥΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΘΡΩΠΟΥ

Τα πιο σημαντικά μέτρα τα οποία λαμβάνονται με βάση τα αποτελέσματα των γεωχημικών ερευνών και σε συνδυασμό με άλλες μελέτες όπως π.χ. επιδημιολογικές κ.α είναι η θέσπιση κριτηρίων από διεθνείς ή Εθνικούς Οργανισμούς (π.χ. EU, WHO, EPA κ.α) για την ποιότητα των καλλιεργούμενων εδαφών, του ποσίου νερού, του νερού άρδευσης, του εδάφους στους χώρους απόθεσης υλικών κατασκευών, του αργιλικού υλικού κατασκευής πήλινων οικιακών σκευών κ.α. (Merian, 1991; Niosh 1977).



Εικ.2 Κατανομή χρωμίου και μολύβδου στα ιζήματα της λίμνης των Ιωαννίνων (Varnavas et al., 1986)

Επειδή υπάρχει κίνδυνος αποδέσμευσης Cd από καινούργια κυρίως πήλινα οικιακά σκεύη, μερικές χώρες έχουν καθορίσει κοιτίτσια και ελέγχους πριν την πώλησή τους από το εργοστάσιο. Οι έλεγχοι αυτοί στηρίζονται στην έκπλυση των σκευών με οξικό οξύ 3-4% σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στην ανάλυση του διαλύματος αυτού (Πιν. 2).

Πιν.2. Μέγιστη επιτρεπτή συγκέντρωση Καδμίου σε πήλινα οικιακά σκεύη(μετά από έκπλυση με οξικό οξύ, Merian, 1991).

Χώρα	Μέγιστη συγκέντρωση (mg/l)
Σουηδία	0,1
Ηνωμένο Βασίλειο	0,2 - 0,7
Ιταλία	0,5
Η.Π.Α.	0,5
Δανία	1
Νότιος Αφρική	1

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

Επομένως με τη γεωχημική έρευνα απαιτείται ο εντοπισμός κατάλληλης ποιότητας αργιλικών υλικών για την κατασκευή των σπειρών αυτών.

Για την εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν στην ποιότητα του νερού άρδευσης εκτός από το διαχρονικό έλεγχο της ποιότητας των επιφανειακών νερών που χρησιμοποιούνται οι γεωχημικοί χάρτες του πυθμένα των υδατινών συστημάτων (π.χ. λιμνών), έχουν ιδιαίτερη χρησιμότητα. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας τους χάρτες κατανομής των μετάλλων στα ιζήματα της λίμνης των Ιωαννίνων (Ειχ. 2) μπορεί κανείς να αποφύγει κατά την υδροληψία περιοχές που είναι πλούσιες σε Cr, Pb κ.α. (Varnavas et al., 1986).

Αν λάβει κανείς υπόψη το μικρό βάθος της λίμνης και το φαινόμενο της συχής και έντονης επαναώρησης των ιζημάτων και την ενσωμάτωση των μετάλλων στο λεπτόκοκκο κυρίως υλικό, προκύπτει ότι στις περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις Pb, Cr κ.α στον πυθμένα, το νερό θα είναι επίσης συχνά εμπλουτισμένο στα μέταλλα αυτά.

7. ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ – ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΥΓΡΩΝ ΚΑΙ ΣΤΕΡΕΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΑΗΤΩΝ

Η διάθεση στερεών και υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον προσδίδει στη θαλάσσια γεωχημική έρευνα ιδιαίτερη χρησιμότητα και αξία. Η απόρριψη των αποβλήτων στο θαλάσσιο χώρο γίνεται είτε μέσω αγωγών στον θαλάσσιο πυθμένα ή από πλοία στην επιφάνεια της θάλασσας.

Σ' όλες τις περιπτώσεις είναι απαραίτητο να προβλεφθούν εκ των προτέρων αλλά και να καθορισθούν μετά την απόρριψη :

- 1) Ο βαθμός και η ταχύτητα ανάμειξης και αραίωσης των συστατικών των αποβλήτων.
- 2) Η έκταση της υδάτινης στήλης που επηρεάζεται και για πόσο χρονικό διάστημα.
- 3) Ο βαθμός αλλοίωσης των χημικών συνθηκών που επικρατούν στο θαλάσσιο περιβάλλον απόθεσης.
- 4) Η αλλοίωση της μορφολογίας και σύστασης του πυθμένα (Voutsinou-Taliadouri and Varnavas, 1987; 1992).
- 5) Μετά από πόσο χρόνο θα επανέλθει το περιβάλλον στις προηγούμενες κανονικές του συνθήκες.

Ατλαντικός Ωκεανός

Δίνεται πιο κάτω χαρακτηριστικό παράδειγμα καθορισμού των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν σε θαλάσσιο χώρο απόθεσης υγρών βιομηχανικών αποβλήτων στην επιφάνεια του Ατλαντικού Ωκεανού, νότια του Long Island των ΗΠΑ.

Στην περιοχή αυτή απορρίφθηκαν 4.10^8 litre υγρά βιομηχανικά απόβλητα από εργοστάσιο παραγωγής TiO_2 με μεγάλη οξύτητα (2-4 M HCl) και με περιεχτικότητα 0.5 - 1 M Fe, εκατοντάδες ppm Cr και V, 10-100 ppm Cu, Zn, Ni και Pb και 1 ppm Cd. Η απόρριψη των αποβλήτων γινόταν με ρυθμό 7.10^4 - 12.10^4 litre/ Km^2 σύμφωνα με τα κριτήρια της υπηρεσίας Προστασίας του Περιβάλλοντος (Environmental Protection Agency) των ΗΠΑ (Simpson et al., 1981).

Οι μετρήσεις και τα πειράματα που έγιναν έδειξαν ότι το pH του θαλάσσιου νερού επανήλθε πολύ γρήγορα στα κανονικά επίπεδα. Η παρουσία όμως του Fe στα απόβλητα οδηγεί στο σχηματισμό κολλοειδών $Fe(OH)_3$ τα οποία στη συνέχεια προσροφούν τον Pb. Αντίθετα ο Cu και το Cd παραμένουν ανεξάρτητα από την φάση του Fe.

Για τη διερεύνηση όλων των πιο πάνω συνθηκών χρησιμοποιήθηκε η μελέτη της διασποράς του Fe στο θαλάσσιο περιβάλλον. Βρέθηκε ότι τα απόβλητα διεσπάρησαν κατά κύριο λόγο μεταξύ της επιφάνειας και του πυκνοκλινοῦς, το οποίο κυμαινόταν μεταξύ 10 και 30 μ. Η παρουσία του πυκνοκλινοῦς μπορεί να παρεμποδίσει την διασπορά προς τα κάτω των ρύπων και να οδηγήσει στην οριζόντια διασπορά του. Νεώτερες έρευνες στην περιοχή έδειξαν ότι ο Fe βούρτζεται κατά κύριο λόγο στο ανάμεικτο στρώμα (Simpson et al., 1981).

Τονίζεται εδώ με έμφαση ότι πριν από την διάθεση υγρών ή στερεών αποβλήτων στο θαλάσσιο περιβάλλον είναι απαραίτητη η πλήρης εμπειροστατωμένη και λεπτομερής μελέτη των γεωχημικών διεργασιών που πραγματοποιούνται τόσο στην ειδικότερη θέση απόρριψης, όσο και στην ευρύτερη περιοχή. Οι γεωχημικές συνθήκες θα πρέπει να καθορισθούν διαχρονικά σε όλες τις εποχές του έτους τόσο στην υδάτινη στήλη όσο και στον πυθμένα.

Έχει παρατηρηθεί ότι στο Βενθικό στρώμα της υδάτινης στήλης σε περιοχή του ΒΑ Ατλαντικού Ωκεανού (Porcupine Abyssal Plain) παρατηρείται αύξηση της συκέντρωσης Fe και Mn από τον πυθμένα προς τα πάνω η οποία οφείλεται σε επανααώρηση των ιζημάτων. Σ' αυτή συμβάλλουν σημαντικά οι οργανισμοί με την ανάδευση του ιζήματος. Το φαινόμενο αυτό ανταγωνίζεται το ρυθμό χημικής διαγένεσης (Varnavas et al., 2001).

Η γνώση του φαινομένου αυτού για η γεωγραφική έκταση όπου αυτό επιζωοειεί στους ωκεανούς έχει ιδιαίτερη χρησιμότητα όταν λαμβάνονται αποφάσεις για τη διάθεση διαφόρων αποβλήτων.

Μεσόγειος Θάλασσα

Με την εφαρμογή γεωχημικών μεθόδων καθορίστηκε ο ρυθμός εισόδου σημαντικών ρύπων στη Μεσόγειο θάλασσα καθώς και το ποσοστό των ρύπων που οφείλεται στις βασικές πηγές εισόδου :

- α) τα οικιακά λύματα,
- β) τα βιομηχανικά απόβλητα,
- γ) τα ποτάμια.

Για το μόλυβδο βρέθηκε ότι:

Ο ρυθμός εισόδου του μολύβδου είναι πολύ μεγαλύτερος στο βόρειο παρά στο νότιο τμήμα της Μεσογείου.

Ο ρυθμός εισόδου του μολύβδου είναι γενικά μεγαλύτερος στη δυτική παρά στην ανατολική Μεσόγειο.

Το ποσοστό του μολύβδου που προέρχεται από βιομηχανικά απόβλητα είναι μεγαλύτερο στη δυτική παρά στην ανατολική Μεσόγειο.

Το ποσοστό του μολύβδου που προέρχεται από τα ποτάμια είναι μεγαλύτερο στην ανατολική παρά στη δυτική Μεσόγειο.

Γενικά η συμβολή των οικιακών αποβλήτων σε μόλυβδο είναι μικρή.

Στην ανατολική Μεσόγειο συμπεριλαμβανομένου και του Αιγαίου η συμβολή των ποταμίων στην είσοδο μολύβδου στη θάλασσα είναι μεγαλύτερη συγκριτικά με τη δυτική Μεσόγειο.

Αιγαίο Πέλαγος

Το πιο πάνω συμπέρασμα επιβεβαιώνεται και από το γεωχημικό χάρτη κατανομής του Pb στο Θερμαϊκό Κόλπο από τον οποίο φαίνεται ότι οι ποταμοί που εκβάλλουν στο Θερμαϊκό αποτελούν σημαντικές πηγές Pb (Voutsinou -Taliadougi and Varnavas, 1995, ειζ. 3).

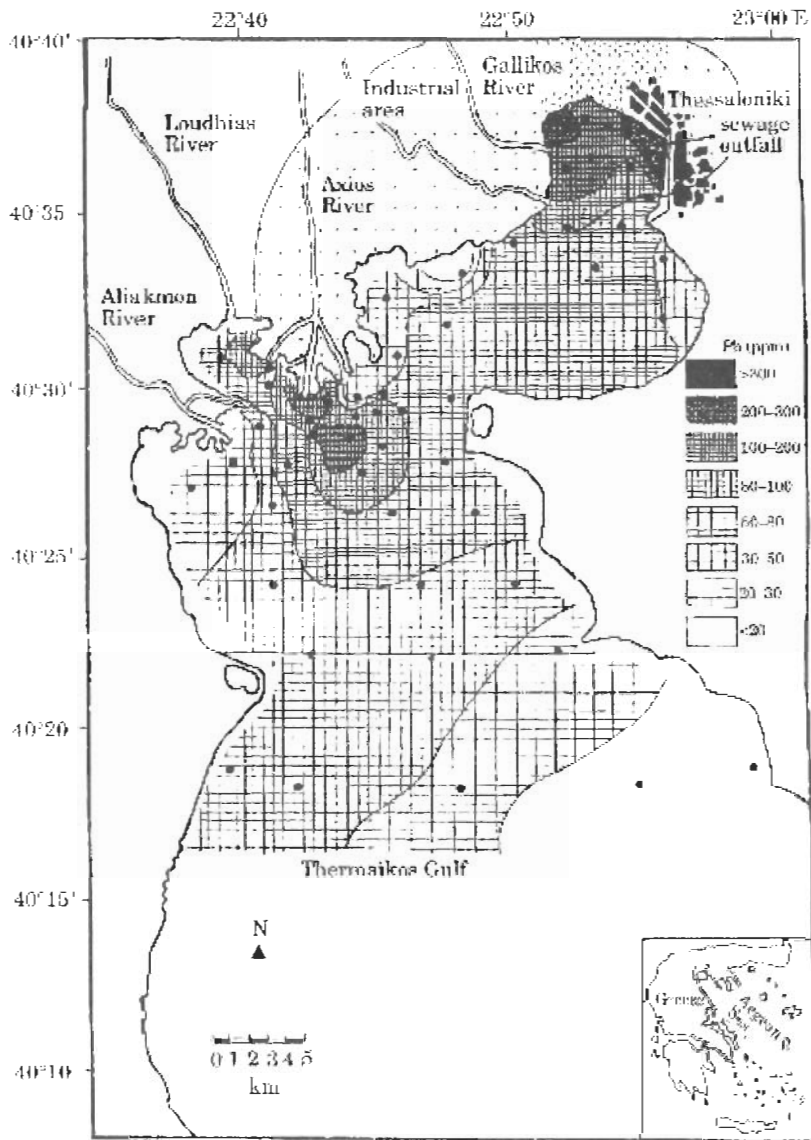
Από τη μελέτη της κατανομής ιχνοστοιχείων μεταξύ της στερεάς και διαλελυμένης φάση στα στενά Κάσου, Αντικυθήρων και στο νοτιοδυτικό Αιγαίο Πέλαγος, προέκυψε ότι σε βάθος 200 μ. οι συγκεντρώσεις του διαλελυμένου Mn αυξάνονται απότομα σε βάρος της στερεάς μορφής του. Η διερεύνηση του φαινομένου αυτού έδειξε ότι αυτό οφείλεται στη διάλυση των οξειδίων Mn που βρίσκονται στο αιωρούμενο υλικό όταν αυτά εισέρχονται στο μεταβατικό στρώμα νερού της Μεσογείου (TMW) (200 - 500 μ.) το οποίο χαρακτηρίζεται από χαμηλή περιεκτικότητα σε διαλελυμένο οξυγόνο, χαμηλή αλατότητα και υψηλή συγκέντρωση θρεπτικών αλάτων. Στις συνθήκες με χαμηλή περιεκτικότητα διαλελυμένου οξυγόνου το Mn (II) είναι σταθερό στην διαλυτή του μορφή ενώ σε περιβάλλον με υψηλή συγκέντρωση διαλελυμένου οξυγόνου η σταθερή μορφή του Mn είναι Mn (+ IV) (Voutsinou - Taliadougi et al. 1997; Νακοπούλου et al., 2001).

Η παρατήρηση του φαινομένου αυτού σε συνδυασμό με τη μεγάλη γεωγραφική έκταση που οδηγεί στο παρακάτω συμπέρασμα: Η τυχόν εναπόθεση βιομηχανικών αποβλήτων οξειδιακής μορφής στην επιφάνεια της θάλασσας με στόχο να οδηγηθούν αυτά μέσω της υδάτινης στήλης στον πυθμένα ή προερχόμενα από ενδεχόμενο ναυτικό ατύχημα, όταν αυτά φθάσουν στο Μεταβατικό Νερό της Μεσογείου (TMW) θα υποστούν σημαντικό βαθμό διάλυσης με δυσμενείς επιπτώσεις στους οργανισμούς.

Δεν αρζει λοιπόν να καθορίσει κανείς θεωρητικά ή και πειραματικά την επίδραση του θαλάσσιου νερού στα βιομηχανικά απόβλητα πριν την απόρριψή τους, λαμβάνοντας υπόψη τα γενικά χαρακτηριστικά του θαλάσσιου νερού αλλά θα πρέπει να μελετηθεί με κάθε λεπτομέρεια όλη η υδάτινη στήλη και ο πυθμένας διαχρονικά.

Στο Νότιο Αιγαίο η ειζόνα που προκύπτει από τη συνηθισμένη κατανομή του αιωρούμενου υλικού δείχνει μείωση της συγκέντρωσής του, αυξανόμενου του βάρους του νερού. Σε πολλές όμως περιοχές παρατηρούνται σε ορισμένα βάθη, στα ανώτερα τμήματα της υδάτινης στήλης, έντονα κηλίδες αιωρούμενου υλικού. Η διερεύνηση αυτών έδειξε ότι πρόκειται για υλικό υδροθερμικής προέλευσης (Varnavas and Cronan, 1988; 1991; Varnavas et al., 1991; Dando et al., 1999) στο οποίο επικρατούν τα ζολλοειδή υδροξείδια Fe. Οι κηλίδες διατηρούνται για μεγάλα χρονικά διαστήματα και καταλαμβάνουν μεγάλες εκτάσεις. Η υποθαλάσσια υδροθερμική δραστηριότητα αποτυπώνεται στα ιζήματα του Νότιου Αιγαίου Πελάγους (Varnavas, 1981).

Αξιοσημείωτο είναι το συμπέρασμα ότι οι κηλίδες αυτές παίζουν σημαντικό ρόλο στην οριζόντια και ερριεία διασπορά ρύπων και στην παρεμπόδιση ορισμένων συστατικών αποβλήτων να φθάσουν κατακόρυφα στον πυθμένα.



Εικ.3 Κατανομή Μολύβδου στα ιζήματα του θεσσαλικού κόλπου (Voutsinou – Taliadouri and Varnavas, 1995).

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τους Καθηγητές μου Α. Γ. Πανάγο και D. S. Cronan που με ενέπνευσαν και με οδήγησαν στο χώρο της Γεωχημείας. Ευχαριστώ ακόμα τους συνεργάτες μου που εκπόνησαν διδακτορική διατριβή με την καθοδήγησή μου διδάκτορες Σ. Αλεξανδροπούλου, Φ. Βουτσίνου – Ταλιαδούρη, Ι. Καλαβρουζιώτη και Χ. Νακοπούλου του μεταδιδάκτορα συνεργάτη μου, Π. Αχιλλεόπουλο, καθώς και τους υποψήφιους διδάκτορες Δ. Παναγιωτάρα, Κ. Χατζηπαναγιώτου και Ε. Σκληράζου για τη δημιουργική, επιστημονική επιχορήγηση που είχαν μαζί μου, συμπορευόμενοι στη γεωχημική έρευνα. Ευχαριστίες οφείλω επίσης στον διδάκτορα Ι. Καραντζή ο οποίος με πολλή προθυμία και επιμέλεια επιξεργάστηκε το κείμενο της εργασίας αυτής, καθώς και το Μαθηματικό Δ. Καραντζή για την προσεκτική επιξεργασία και παρουσίαση των εικόνων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ALLOWAY, B. (1990) Heavy Metals in soils. Blackie, USA.
- BARLTROP, D., STREHLOW, C.D., THORNTON, I AND WEBB, I. (1975): Postgraduate Medical I. 51, 81-804.
- BENNETT B.G. (1981). Exposure of man to environment arsenic - an exosure commitment assessment. *Sci. Tot. Envir.* 20, 99-107.
- CANNON, H.L. AND ANDERSON, B.M. (1971). In: *Environmental Geochemistry in Health and Disease* (Eds. H.L. Cannon and H.C. Hopps), pp. 155-177; Geol. Soc. Am. Inc. Memoir 123, Boulder.
- CULBARD, E., THORNTON, I., WATT, J., MOORCROFT, S. AND BROOKS, K. (1983). In: *Heavy Metals in the Environment: Heidelberg* pp.426-429; CEP Consultants, Edinburgh.
- DANDO P.R., STUBEN D., VARNAVAS S.P. (1999). Hydrothermalism in the Mediterranean Sea. *Progress in Oceanography*, 44, 333-367.
- EWERS, V. AND SCHLIPKOTER, H. W. (1991) Lead. In : *Metals and their compounds in the environment* Merian, E. (edit) VCH, Weinheim, pp. 971 - 1014.
- EPA (U.S. Environmental Protection Agency) (1984). Health assessments. Document for Chromium Final Report. Washington D.C.
- FORSTNER, U. AND WITTMANN, G.T.W. (1983); *Metal pollution in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, 486p.
- ΚΑΛΑΒΡΟΥΖΙΩΤΗΣ, Ι. (1998). Διερεύνηση της συμπεριφοράς φυτών σε σχέση με τις συγγεντώσεις μετάλλων στο έδαφος. Διδακτορική διατριβή. Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών.
- MERIAN E., (Edit) (1991). Metals and their compounds in the environment. VCH, Weinheim.
- MEYER, E. 1980. Nutritional problems associated with the establishment of vegetation on tailings from an asbestos mine. *Env. Poll. (Series A)*, 23, 287-298.
- ΝΑΚΟΠΟΥΛΟΥ, C., ΒΟΥΤΣΙΝΟΥ-ΤΑΛΙΑΔΟΥΡΙ, F. AND VARNAVAS, S.P. (2001). Distribution and behavior of dissolved trace metals in the Cretan Sea and the Straits of the Cretan Arc, Aegean Sea. (in preparation).
- NIOSH. (National Institute of Occupational Safety and Health) (1977) Criteria for recommended standards : Occupational Exposure to Inorganic nickel, pp. 1-282, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Washington, D.C.
- NRIAGU, J. O. (edit), (1984) Nickel in the environment pp. 1-833, Wiley, New York.
- SHREIER, H. (1989). Asbestos in the natural environment. Elsevier, Amsterdam, 159p.
- SIMPSON, D.C., O'CONNOR, TH.P., PARK, P.K. (1981). Deep ocean dumping of industrial wastes. In *Marine Environmental pollution, 2. Dumping and Mining*. Elsevier, Amsterdam, pp. 381-400.
- THORNTON, I., ABRAHAMS, P.W., CULBARD, E., ROTHER J.A.P. AND OLSON B.H. (1986). The Interaction Between Geochemical and Pollutant Metal Sources in the Environment: Implications for the Community. In: *Applied Geochemistry in the 1980s*, pp.270-308.
- THORNTON, I. AND WEBB, J.S. (1970). In: *Trace Element Metabolism in Animals* Proc.WAAP/IBP Int. Symp. (Mills, C. F., ed.), pp. 397-407. Livingstone, London.
- VARNAVAS, S.P., PANAGOS, A.G. and AGIORGITIS, G. (1986) : Anthropogenic input of heavy metals in the lake Ioannina, N.W. Greece. Source and fate of the metals. Proceedings of 2nd International Conference «Environmental Contamination» Amsterdam, pp 285-287.
- VARNAVAS, S.P.. (1988). Hydrothermal metallogenesis at the Wilkes Fracture Zone-East Pacific Rise Intersection. *Mar. Geol.*, 79, 77-104.
- VARNAVAS, S. P. and CRONAN, D.S. (1988) : Arsenic Antimony and bismuth in sediments and waters from the Santorini hydrothermal field. *Chem. Geol.*, 67, pp. 295-305.
- VARNAVAS, S. P. (1989). Submarine hydrothermal metallogenesis associated with the collision of two plates: The southern Aegean Sea Region. *Geochim. Cosmochim. Acta* 53,43-57.
- VARNAVAS, S. P. AND HATZIPANAYOTOU (1989). Metal pollution in the environment of Agrokippia Village, Cyprus related to mining activities. Proceedings of the conference "Environmental Science and Technology, Lesvos" pp. 201-210.
- VARNAVAS, S. P., & CRONAN, D. S. (1991). Hydrothermal metallogenic processes off the islands of Nisiros and Kos in the Hellenic Volcanic Arc. *Mar. Geol.*, 99, 109-133.
- VARNAVAS, S., CRONAN, D.S. and ANDERSON, R.K. (1991) : Spatial and time series analysis of Santorini hydrothermal waters III. Proc. 5th Internat. Cong. on Thira and the Aegean World. (P. Nomikos, et al., eds), London, pp.312-324.

- VARNAVAS, S., KRITSOTAKIS, K. and PANAGOS, A. (1992) : Metal Pollution offshore Hermioni, Greece, related to mining activities. Proceedings 5th International Conference on «Environmental Contamination», Morges, Switzerland, pp. 78-80.
- VARNAVAS, S.P., PANAGOS, A.G., KRITSOTAKIS, K.G. (1993) : Environmental impact of mining activities on Hermion area, Greece. Environmental Contamination, J.P. Verner, (Edit), Elsevier, London, pp. 119-146.
- VARNAVAS S.P. (edit.) (1994). Proceedings of sixth international Conference on environmental Contamination, Delfi, Greece, CEP. Consultants Ltd.
- VARNAVAS S.P., PANAGIOTARAS D., WOLFF G. (2001). Biogeochemical processes at the sediment-water interface in a North Eastern Atlantic Abyssal locality [Porcupine Abyssal Plain]. Progress in Oceanography, 50, 223-243.
- VOUSINOU- TALIADOURI, F. and VARNAVAS, S.P. (1987) : Marine mineral resources in the eastern Mediterranean Sea : II An Fe-Cr-Ni deposit in the Northern Euboikos Bay, Greece. Marine Mining, 6, 259-290.
- VOUSINOU - TALIADOURI, F., VARNAVAS, S.P. (1992) : Geochemical study of sediments from northern Euboikos Bay, Greece with regard to the presence of submarine mineral deposits. Mar. Geol., 110, 93-114.
- VOUSINOU, F. TALIADOURI and VARNAVAS, S.P., (1995) : Geochemical and Sedimentological Patterns in the Thermaikos Gulf, North-west Aegean Sea, Formed from a Multisource of Elements. Estuarine, Coastal and Shelf Science 40, 295-320.
- VOUSINOU, F. - TALIADOURI, VARNAVAS, S.P., NAKOPOULOU, C., and MORIKI, A. (1997) : Dissolved Trace Elements in South Aegean Seawater. Marine Pollution Bulletin. 34, 840-844.
- WEBB, J. S., THORNTON, I., THOMPSON, M., HOWARTH, R. J. AND LOWENSTEIN, P.L. (1978). "The Wolfson Geochemical Atlas of England and Wales". Clarendon Press, Oxford. 70pp.