



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΗΣ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ

**ΟΔΗΓΟΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ ΣΤΟ ΛΑΥΡΙΟ
ΜΕ ΤΟ ΜΑΘΗΜΑ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ (Δ' ΕΞΑΜΗΝΟ)**

Από:

Α. Αργυράκη, Επίκουρη Καθηγήτρια

Ν. Σκαρπέλη, Καθηγητή

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟ ΕΤΟΣ 2012-13

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ: Λαύριο, Αττική

ΔΙΑΡΚΕΙΑ: Μονοήμερη (Τρίτη 28/ 5/ 2013)

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το Λαύριο βρίσκεται 55Km νοτιοανατολικά της Αθήνας και αποτελεί ένα μοναδικό γεώτοπο με εξαιρετικό γεωλογικό, μεταλλογενετικό, μεταλλευτικό, αρχαιολογικό και περιβαλλοντικό ενδιαφέρον. Η περιοχή, γνωστή για τη μεταλλοφορία συμπαγών θειούχων Pb-Zn-Ag από τα προϊστορικά χρόνια, λειτούργησε ως μεταλλευτικό κέντρο για περίπου 3000 χρόνια μέχρι το 1980. Η παρούσα άσκηση υπαίθρου εστιάζει χωρικά σε δύο περιοχές, αυτή της Πλάκας και αυτή της πόλης του Λαυρίου (Εικόνα 1).



Εικόνα 1

ΣΚΟΠΟΣ: Η εμπέδωση των θεωρητικών γνώσεων σχετικά με επιφανειακές γεωχημικές διεργασίες και η εξοικείωση των φοιτητών με τις εργασίες υπαίθρου της γεωχημείας.

ΣΤΟΧΟΙ:

1. Να μπορούν οι φοιτητές να αναγνωρίζουν στην ύπαιθρο φαινόμενα χημικής αποσάθρωσης (οξείδωσης) θειούχου μεταλλοφορίας, προσδιορίζοντας τα αρχικά ορυκτά και τα τελικά προϊόντα της οξείδωσης.
2. Να μπορούν να περιγράψουν τη διεργασία της δευτερογενούς διασποράς δυνητικά τοξικών στοιχείων στο συγκεκριμένο γεωχημικό περιβάλλον.
3. Να αποκτήσουν πρακτικές γνώσεις δειγματοληψίας πετρώματος, νερού, ιζήματος ρέματος και εδάφους.
4. Να κατανοήσουν τη διαφοροποίηση της όξινης απορροής πετρώματος (φυσική διεργασία) από την όξινη απορροή μεταλλείου ή σωρών μεταλλευτικών αποβλήτων (ανθρωπογενής διεργασία).

ΤΥΠΟΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΠΛΑΚΑΣ

- A. Μάρμαρα
 - B. Σχιστόλιθοι
 - Γ. Κερατίτες και skarn
 - Δ. Γρανодиорίτης και πορφυρικά γρανιτοειδή
 - Ε. Πρωτογενή συμπαγή θειούχα μεταλλεύματα, δευτερογενή μεταλλοφόρα σώματα & gossan
- Ο γεωλογικός χάρτης της περιοχής Πλάκας Λαυρίου δίνεται στην Εικόνα 2.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ- ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΑΣΚΗΣΗΣ ΥΠΑΙΘΡΟΥ

1. Πλάκα – Καφενείο «Πεύκος»: Εμφάνιση γρανοδιорίτη/ Δειγματοληψία πετρώματος

Η μικρή σχετικά (0.6 km²) επιφανειακή εμφάνιση του γρανοδιорίτη Άνω Μειοκαινικής ηλικίας (~9.5Μα) στην περιοχή της Πλάκας έχει σπουδαία μεταλλογενετική σημασία αφού τα μεταλλεύματα της περιοχής οφείλουν τη γένεση τους στα μεταλλοφόρα υδροθερμικά διαλύματα που συνδέονται με αυτόν (Εικόνα 3).

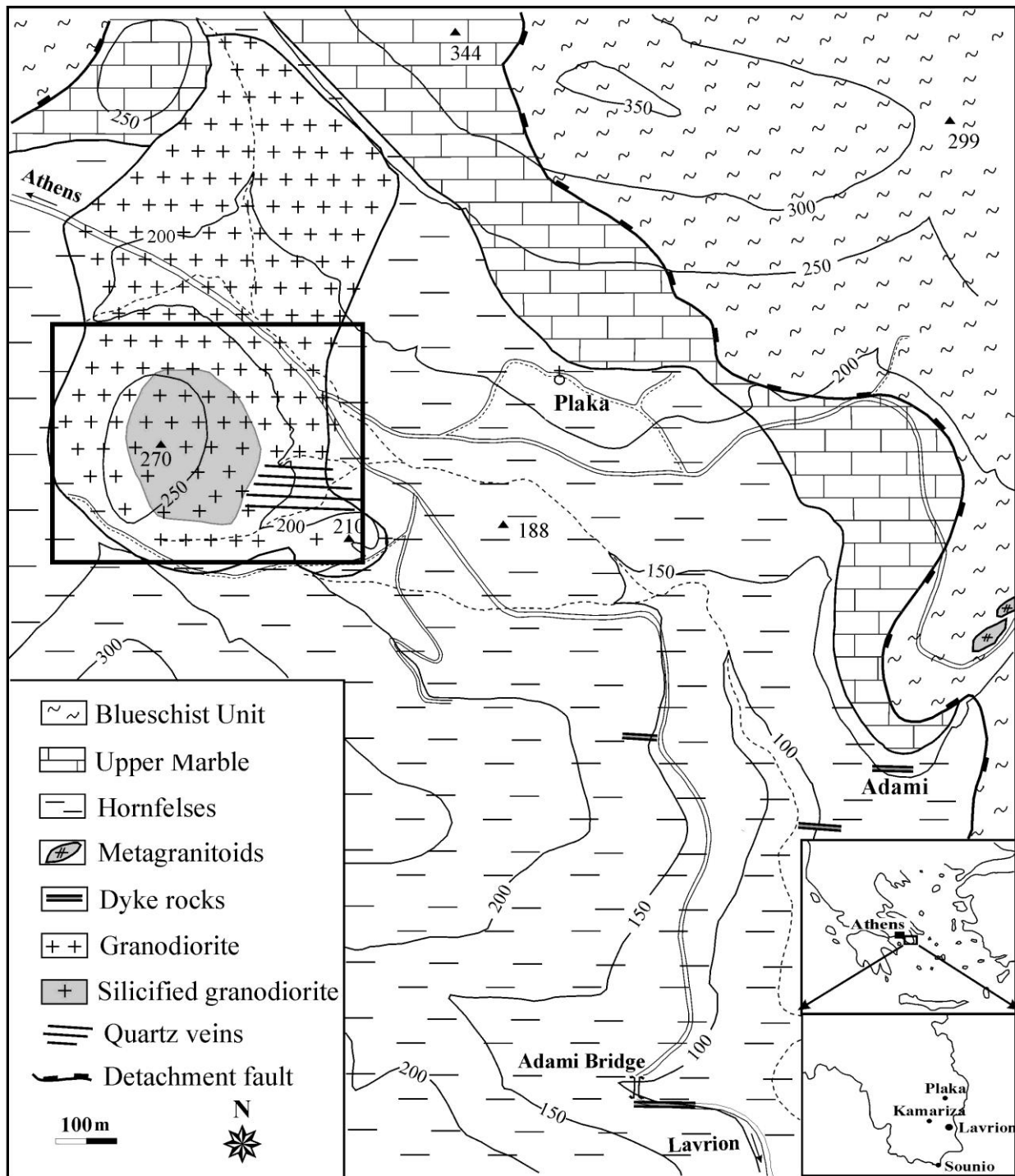
Στη θέση αυτή παρατηρείται σμήνος χαλαζιακών φλεβών οι οποίες είναι δυνατό να αποτελέσουν δειγματοληπτικό στόχο έρευνας εντοπισμού χρυσού. Στη συνέχεια δίνονται πρακτικές πληροφορίες σχετικά με τρόπους δειγματοληψίας πετρώματος σε έρευνες εφαρμοσμένης γεωχημείας.

Λήψη δείγματος πετρώματος

Η δειγματοληψία πετρωμάτων σε γεωχημικές διασκοπίσεις δίνει πληροφορίες για την πιθανότητα ύπαρξης μεταλλοφορίας σε μία περιοχή. Εάν τα λαμβανόμενα δείγματα βρίσκονται εντός της πρωτογενούς άλω διασποράς των χημικών στοιχείων τότε ο εντοπισμός του μεταλλοφόρου σώματος είναι άμεσος. Τα παραπάνω ισχύουν στην περίπτωση συλλογής *in situ* δειγμάτων πετρώματος του γεωλογικού υποβάθρου και όχι χαλαρού υλικού (λατύπες, χαλίκια) το οποίο ενδέχεται να έχει μεταφερθεί σε κάποια απόσταση από το μητρικό πέτρωμα.

Ανάλογα με τον τρόπο συλλογής των δειγμάτων πετρωμάτων διακρίνουμε:

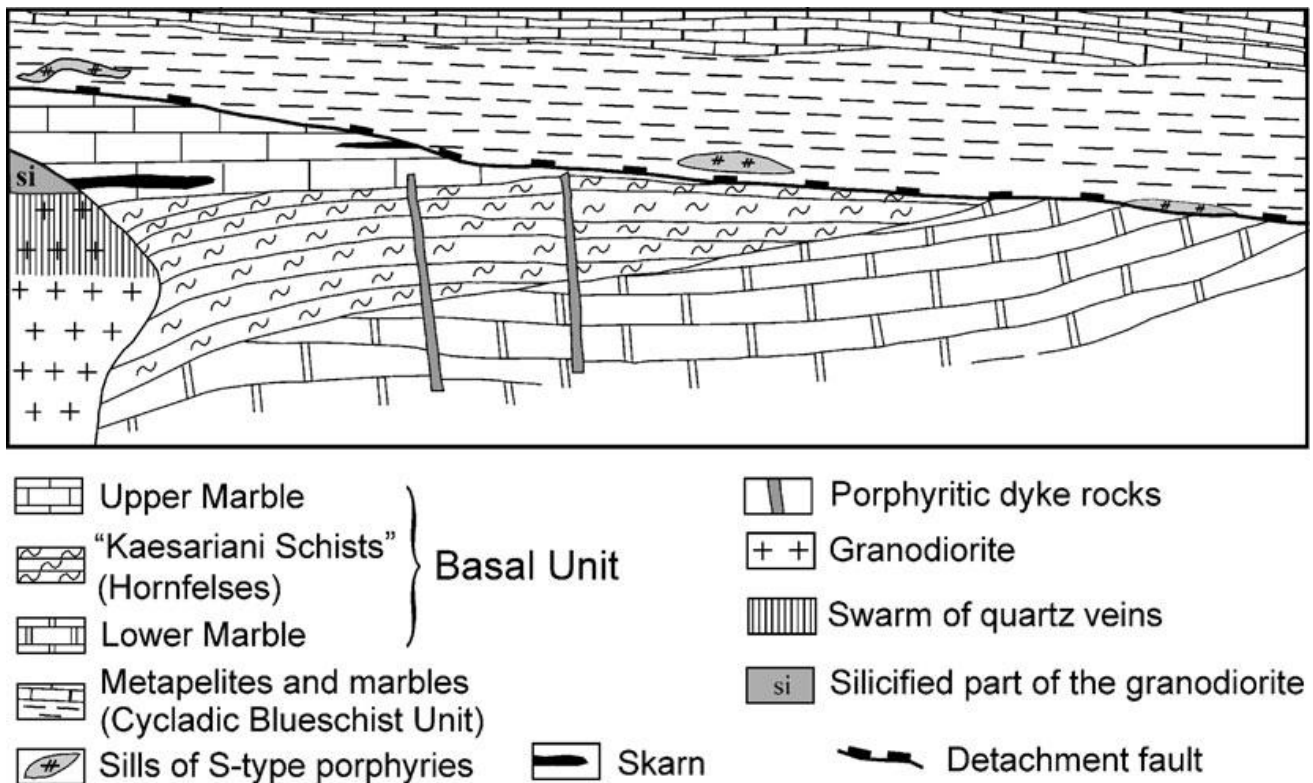
- Μεμονωμένο δείγμα (Grab Sample): Όταν η εμφάνιση είναι καλυμμένη (π.χ. από εδαφικό μανδύα ή βλάστηση) δεν υπάρχει δυνατότητα λήψης δείγματος απευθείας. Γι' αυτό μπορούμε να πάρουμε τεμάχια που μπορεί να είναι διάσπαρτα. Η διάμετρος του δείγματος είναι τουλάχιστον 15 cm (δείγμα χειρός). Γενικά, το μέγεθος μεμονωμένων δειγμάτων πετρώματος επηρεάζει την αντιπροσωπευτικότητά του και έχει άμεση σχέση με το μέγεθος των κόκκων. Όσο πιο αδρόκοκκο είναι το πέτρωμα τόσο μεγαλύτερο θα πρέπει να είναι το μέγεθος του λαμβανόμενου δείγματος.
- Σύνθετο δείγμα (Composite Sample): Προέρχεται από ανάμιξη θραυσμάτων ομοιογενούς πετρώματος από περιοχή διαστάσεων συνήθως 1.5x1.5 m.
- Αύλακα (τρανσέρα) (Chip Channel Sample): Θραύσματα πετρώματος συλλέγονται ανά τακτά διαστήματα κατά μήκος μιας αύλακας που κόβει την επιφανειακή εμφάνιση του πετρώματος. Σε περίπτωση παρουσίας κάποιου μεταλλοφόρου σώματος, η μέθοδος αυτή επιτρέπει τον προσδιορισμό του εύρους της μεταλλοφόρου ζώνης.
- Δείγματα μεταλλεύματος (High Grade Sample): Δείγματα αυτού του τύπου αποτελούνται από υλικό με εμφανή μακροσκοπικά χαρακτηριστικά της μεταλλοφορίας.



Γεωλογικός χάρτης περιοχής Πλάκας από Skarpelis, N., Et. Al (2008) Geol. Mag. 145, 1, 1-15.

Σε παραλληλόγραμμο η περιοχή γεωχημικής διασκόπησης πετρώματος

Εικόνα 2



Εικόνα 3 Σχηματική γεωλογική τομή στην περιοχή της Πλάκας (Skarpelis et al., 2008).

Ζητούμενο: Να εξασκηθείτε στην απόληψη κατάλληλου δείγματος από το υλικό των χαλαζιακών φλεβών και να εξηγήσετε γιατί επιλέξατε το συγκεκριμένο μέγεθος δείγματος υποθέτοντας ότι ο στόχος της έρευνας είναι ο εντοπισμός χρυσού.

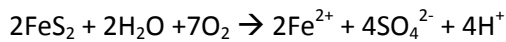
2. Πλάκα- Γήπεδο οικισμού: Εμφάνιση πυρροτίτη και gossan

A. Θέση εμφάνισης μεταλλεύματος πυρροτίτη ($Fe_{(1-x)}S$) μέσα σε ασβεστικά μάρμαρα

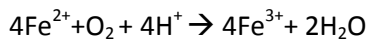
Όταν ένα θειούχο μέταλλευμα βρεθεί εκτεθειμένο στους ατμοσφαιρικούς παράγοντες έρχεται σε επαφή με οξυγόνο και νερό, τα οποία αντιδρούν με τα πρωτογενή ορυκτά οξειδώνοντάς τα (αβιοτική αποσάθρωση). Επιπλέον, η παρουσία βακτηρίων (*Thiobacillus ferroxidans*, *Thiobacillus thiooxidans*, *Leptospirillum ferrooxidans*) επιταχύνει τις χημικές αντιδράσεις (βιοτική αποσάθρωση). Η συνδυασμένη δράση των αβιοτικών και βιοτικών παραγόντων προκαλούν το φαινόμενο της όξινης απορροής, το οποίο έχει πάρει το όνομά του από το διαβρωτικό, όξινο διάλυμα που παράγεται, ικανό να μεταφέρει υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων και να ρυπάνει το επιφανειακό και το υπόγειο νερό της περιοχής.

Το ορυκτό που συνήθως παράγει τον κύριο όγκο της όξινης απορροής είναι ο **σιδηροπυρίτης (FeS_2)¹** ο οποίος οξειδώνεται σταδιακά μέσω των ακόλουθων αντιδράσεων:

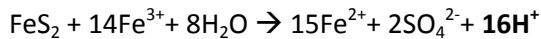
¹ Fe 48%, S 52%



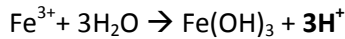
οξειδωση θείου



οξειδωση δισθενούς σιδήρου

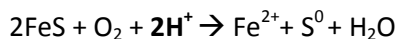
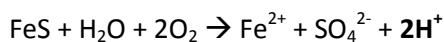


επιπλέον οξειδωση θείου με οξειδωτικό παράγοντα το Fe^{3+}

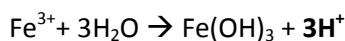
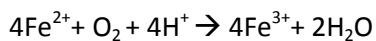
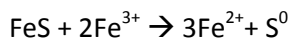


παραγωγή γκαιτίτη

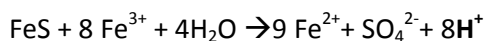
Στη συγκεκριμένη θέση παρατηρείται εμφάνιση του μετασταθούς ορυκτού **πυρροτίτη ή μαγνητοπυρίτη ($\text{Fe}_{(1-x)}\text{S}$)²**, ο οποίος οξειδώνεται 20-100 φορές πιο γρήγορα από τον σιδηροπυρίτη. Οι αντιδράσεις οξειδωσης εξελίσσονται ως εξής:



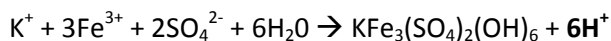
παραγωγή στοιχειακού θείου (ατελής οξείδωση)



παραγωγή γκαιτίτη (pH>4)

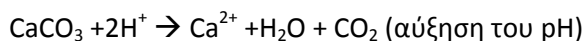


(pH<4)



παραγωγή ιαροσίτη (pH <3)

Ανάλογα με τη σύσταση των περιβαλλόντων πετρωμάτων (εδώ ασβεστιτικό μάρμαρο) το όξινο διάλυμα που παράγεται είναι δυνατό να εξουδετερώνεται λόγω της όξινης διάλυσης μη μεταλλικών ορυκτών, π.χ.:



Η αύξηση του pH έχει ως αποτέλεσμα την καθίζηση δευτερογενών στερεών φάσεων που μπορεί να είναι:

- μη μεταλλικά ορυκτά π.χ. γύψος ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),
- μεταλλικά ορυκτά π.χ. σμιθσονίτης (ZnCO_3), κερουσίτης (PbCO_3), αγκλεσίτης (PbSO_4),
- ατελώς κρυσταλλωμένες φάσεις υδροξειδίων μετάλλων π.χ. γκαιτίτης ($\text{Fe}(\text{OH})_3$),
- ασταθή-ευδιάλυτα ένυδρα θειικά άλατα π.χ. ροζενίτης ($\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$), μελαντερίτης ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), αλοτριχίτης ($\text{FeAl}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$), κοπιαπίτης ($\text{Fe}^{\text{II}}\text{Fe}^{\text{III}}(\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$).

Ζητούμενα: α. Να γράψετε τις αντιδράσεις σχηματισμού γύψου, σμιθσονίτη, κερουσίτη, αγκλεσίτη, μελαντερίτη.

β. Να συλλέξετε και να αναγνωρίσετε όσο μεγαλύτερη ποικιλία ορυκτών φάσεων φαίνονται στη θέση αυτή και να τις κατατάξετε ως αντιδρώντα και προϊόντα των χημικών μετασχηματισμών που λαμβάνουν χώρα.

² Fe 61%, S 39%

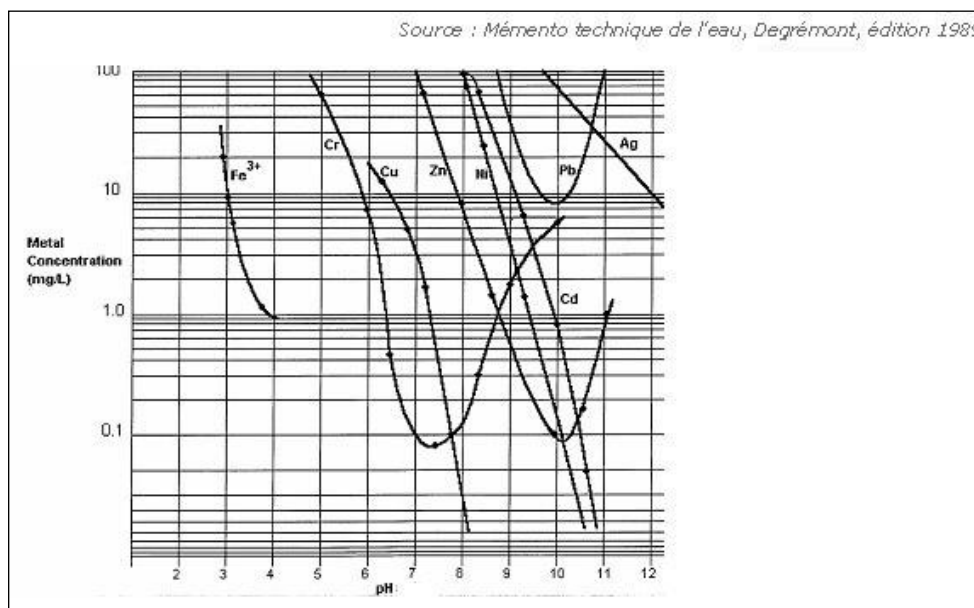
B. Θέση εμφάνισης gossan

Το σιδηρούν κάλυμμα (gossan) περιέχει τα στοιχεία που παραμένουν επί τόπου μετά από την οξείδωση των θειούχων ορυκτών και την απομάκρυνση των περισσότερων, ευκίνητων μετάλλων μέσω των όξινων διαλυμάτων της απορροής (Εικόνα 4). Οπότε ο σχηματισμός είναι πλούσιος σε οξείδια Fe (αιματίτης) και υδροξείδια Fe (γκαιτίτης, λεπιδοκροκίτης) δηλαδή τα πλέον σταθερά ορυκτά σε οξειδωτικές συνθήκες και σχετικά χαμηλό pH. Το gossan στο Λαύριο περιέχει περίπου 50% Fe. Πρακτικά ο σχηματισμός αποτελεί σιδηρομετάλλευμα.



Η σημασία εμφανίσεων gossan για την εφαρμοσμένη γεωχημεία είναι πολλαπλή. Αφενός οι ζώνες οξείδωσης παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως ερευνητικοί στόχοι ανάκτησης μετάλλων, π.χ. Au, τα οποία ενώ βρίσκονται σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις σε πρωτογενή ορυκτά, συχνά εμπλουτίζονται στο υπολειμματικό υλικό του gossan. Επιπλέον τέτοιου είδους σχηματισμοί αποτελούν καθοδηγητικές εμφανίσεις για την ανεύρεση μεταλλοφορίας θειούχων ορυκτών. Τέλος έχουν μεγάλο περιβαλλοντικό ενδιαφέρον καθώς η μελέτη της σύστασής τους δίνει χρήσιμες

πληροφορίες σχετικά με τις συνθήκες κινητοποίησης και σταθεροποίησης πολλών δυνητικά τοξικών στοιχείων.



Εικόνα 4 Διαλυτότητα βαρέων μετάλλων με μεταβολή του pH.

(Από τη στάση αυτή θα συνεχίσουμε περπατώντας προς νότο κατά μήκος του ρέματος μέχρι τον οικισμό Αδάμι, μια απόσταση περίπου 1 km, διασχίζοντας τη ζώνη μεταμόρφωσης επαφής και παρατηρώντας τα χαρακτηριστικά της)

3. Πλάκα: Οικισμός Αδάμι– Στοά 80

Πρόκειται για το τελευταίο έργο υπόγειας εκμετάλλευσης της Γαλλικής Εταιρίας των Μεταλλείων του Λαυρίου. Η Στοά κατασκευάστηκε μεταξύ 1956-58 και λειτούργησε για εξόρυξη μεταλλεύματος έως το 1978. Έχει μήκος 2 km και διαπερνά μάρμαρα, κερατίτες και skarn (αυτόχθονη ενότητα) και τμήμα των σχιστολίθων της αλλόχθονης ενότητας. Χρησιμοποιήθηκε ως κεντρική στοά παραγωγής για τη μεταφορά του μεταλλεύματος που εξορυσσόταν από πυκνό δίκτυο στοών στην περιοχή της Πλάκας.

Μέσω της στοάς εκφορτίζεται ο υδροφόρος ορίζοντας. Εδώ μπορούμε να λάβουμε δείγμα νερού και να μετρήσουμε τις φυσικοχημικές παραμέτρους (T, pH, Eh, TDS)



Δειγματοληψία Νερού: Σημαντικές παράμετροι

- ✓ τύπος δειγμάτων (επιφανειακά/ υπόγεια)
- ✓ όγκος δείγματος
- ✓ χρόνος δειγματοληψίας
- ✓ συχνότητα λήψης δειγμάτων
- ✓ τρόπος συλλογής και συντήρησης (διήθηση, διατήρηση T)
- ✓ κρίσιμες παράμετροι που πρέπει να προσδιορισθούν κατά την εργασία υπαίθρου (pH, Eh, TDS, T)
- ✓ τύποι των δοχείων που θα χρησιμοποιηθούν

Ζητούμενο: Να περιγράψετε τη διαδικασία δειγματοληψίας νερού και να εξηγήσετε γιατί είναι απαραίτητες οι επί τόπου μετρήσεις και η οξύνηση των δειγμάτων στα οποία πρόκειται να μετρηθούν συγκεντρώσεις βαρέων μετάλλων.

Σε μικρή απόσταση από τη «Στοά 80», βρίσκονται εκτεθειμένα στείρα υλικά του εγκαταλελειμμένου μεταλλείου. Η θέση αυτή (σημειώνεται ως «Στείρα» στο χάρτη) αποτελεί μία δυνητική πηγή ρύπανσης για τα εδάφη της περιοχής. Θα γίνει συζήτηση σχετικά με το σχεδιασμό γεωχημικής διασκόπισης εδαφών, επίδειξη του τρόπου λήψης των δειγμάτων εδάφους και δειγμάτων ιζήματος ρέματος στο παρακείμενο ξηρό ρέμα. Πρακτικές πληροφορίες δίνονται στη συνέχεια.

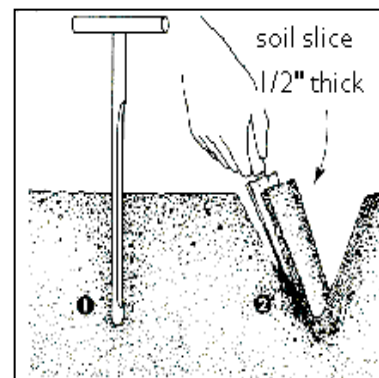
Δειγματοληψία ιζήματος ρέματος

Το ενεργό ίζημα ρέματος αποτελεί ιδιαίτερα χρήσιμο μέσο δειγματοληψίας σε έρευνες εντοπισμού κοιτασμάτων μετάλλων λόγω της εκτεταμένης διασποράς των μετάλλων σε περιβάλλοντα υδρογραφικών δικτύων. Εκτεταμένη διασπορά σημαίνει μεγαλύτερη ικανότητα εντοπισμού ενός κοιτάσματος ή μιας πηγής ρύπανσης που βρίσκεται σε μεγάλη απόσταση από το σημείο δειγματοληψίας. Έτσι σε μια λεκάνη απορροής συγκεντρώσεις χημικών στοιχείων σε δείγματα ιζήματος από τα κατάντη του υδρογραφικού δικτύου αποτελούν ένδειξη της σύστασης των πετρωμάτων ή τυχόν μεταλλευμάτων που βρίσκονται στα ανάντη. Η συλλογή δειγμάτων ενεργού ιζήματος γίνεται δίνοντας προσοχή να βρισκόμαστε στα ανάντη της συμβολής των κλάδων του ποταμού που ανήκουν σε διαφορετικές τάξεις. Έτσι, επακόλουθα στάδια της έρευνας θα περιορίζονται μόνο σε εκείνους τους κλάδους που εμφανίζουν ανώμαλες τιμές, οδηγώντας προς την πηγή της ανωμαλίας στα ανάντη.

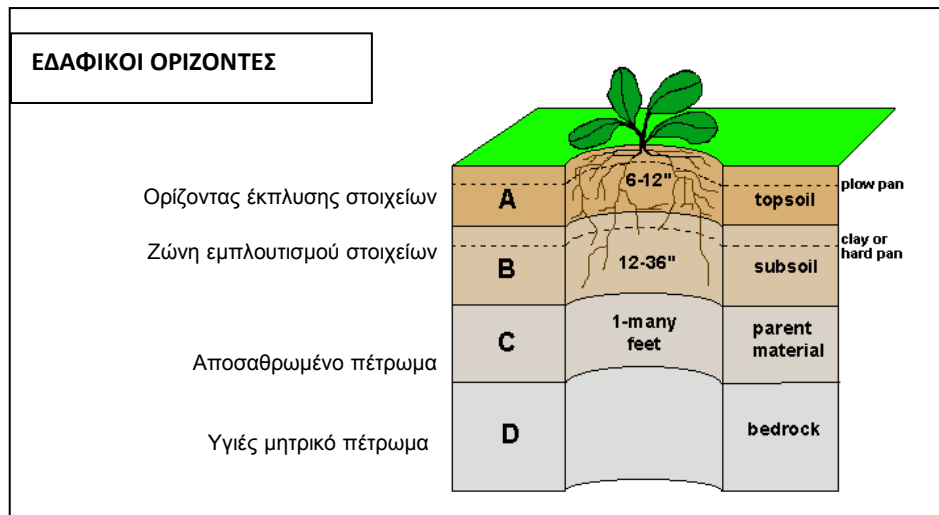
Στην περίπτωση ερευνών που καλύπτουν εκτεταμένες λεκάνες απορροής, κάθε δείγμα ενεργού ιζήματος αποτελείται από υλικό που συλλέγεται από 5-10 σημεία κατά μήκος του ίδιου κλάδου του ποταμού, καλύπτοντας συνολική απόσταση 250 –500 m (ανάλογα με το μήκος του κλάδου). Οι θέσεις δειγματοληψίας πρέπει να βρίσκονται τουλάχιστον 100 m ανάντη δρόμων και οικισμών. Η δειγματοληψία αρχίζει πάντα από το κατώτερο σημείο και εξελίσσεται προς τα ανάντη του ρέματος. Πρέπει να γίνεται προσπάθεια ώστε το υλικό να συλλέγεται όσο το δυνατό πιο κεντρικά στο πλάτος της κοίτης ώστε να αποφεύγεται η συλλογή υλικού προέλευσης από τις όχθες και τα πρανή. Η απαιτούμενη ποσότητα του σύνθετου δείγματος είναι περίπου 5 kg ώστε να εξασφαλίζεται αρκετή ποσότητα δείγματος για ανάλυση μετά το κοσκίνισμα.

Δειγματοληψία εδάφους

- Επακόλουθο στάδιο μετά από δειγματοληψία ιζημάτων
- Μάζα δείγματος 500 – 1000 g
- Συλλογή με χρήση σέσουλας ή ειδικών χειροκίνητων γεωτρήπανων (auger)



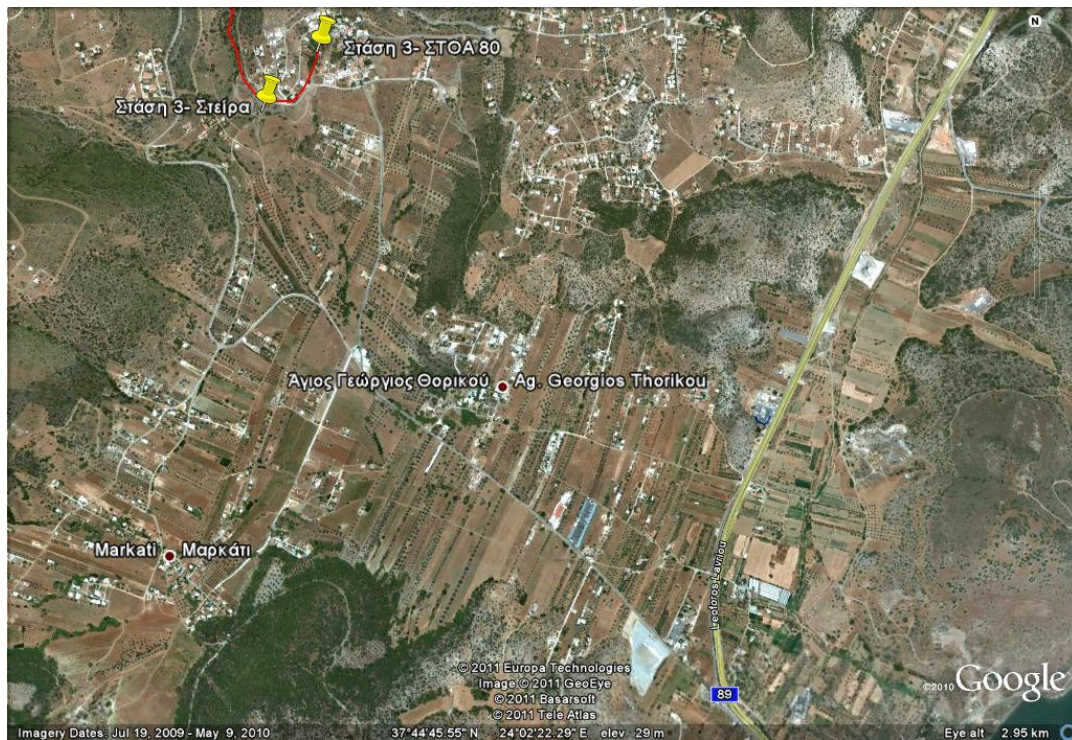
Το έδαφος είναι το προϊόν της συνδυασμένης δράσης της αποσάθρωσης του υποκείμενου μητρικού πετρώματος, της αποσύνθεσης του οργανικού υλικού της επιφάνειας και της απόθεσης υλικού (φυσικού ή ανθρωπογενούς) από μεταφορά. Το υλικό του εδάφους έχει την τάση να εμφανίζει κατακόρυφη στρωμάτωση δημιουργώντας εδαφικούς ορίζοντες οι οποίοι διαφοροποιούνται ως προς την κοκκομετρία και τη σύσταση. Η διασπορά των χημικών στοιχείων είναι συνήθως μεγαλύτερη στους ορίζοντες A και B. Γι αυτό το λόγο σε έρευνες εντοπισμού μεταλλοφόρων σωμάτων που υπόκεινται της επιφάνειας, χρησιμοποιούνται συνήθως εδαφικά δείγματα από τον ορίζοντα B. Η απόσταση μεταξύ των εδαφικών δειγμάτων είναι συνήθως σχετικά μικρή (< 200 m) γιατί η γεωχημική διασπορά στο συγκεκριμένο μέσο είναι περιορισμένη οπότε υπάρχει πιθανότητα να μην πετύχουμε την γεωχημική ανωμαλία.



Στη συστηματική δειγματοληψία τα δείγματα συλλέγονται βάσει κανάβου, οι διαστάσεις του οποίου καθορίζονται ανάλογα με τους στόχους της έρευνας (π.χ. ποσοτικός προσδιορισμός περιεκτικότητας κάποιου συστατικού ή ανάλυση χωρικής κατανομής ενός αναλύτη) καθώς επίσης και τις διαστάσεις του δειγματοληπτικού στόχου. Ο κανονικός κανάβος δειγματοληψίας είναι ο πλέον διαδεδομένος τρόπος λήψης στερεών γεωχημικών δειγμάτων στην ύπαιθρο λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του τα οποία περιλαμβάνουν:

- ομοιόμορφη και πλήρη κάλυψη του δειγματοληπτικού στόχου για δεδομένο αριθμό δειγμάτων,
- εύκολο σχεδιασμό και ταχεία εφαρμογή στην ύπαιθρο,
- δυνατότητα πύκνωσης του κανάβου κατά θέσεις σε επακόλουθα στάδια της δειγματοληψίας ώστε να αυξηθεί η λεπτομέρεια της παραγόμενης πληροφορίας,
- δυνατότητα αναγνώρισης συστηματικών τάσεων στις μεταβολές συγκέντρωσης του αναλύτη, απαραίτητο στοιχείο της γεωχημικής χαρτογράφησης.

Ζητούμενο: Με στόχο την αποτύπωση του γεωχημικού αναγλύφου στην πεδιάδα ΒΑ της περιοχής Μαρκάτι να συλλέξετε δείγματα εδάφους από τις προκαθορισμένες θέσεις σύμφωνα με τις οδηγίες που θα σας δοθούν.



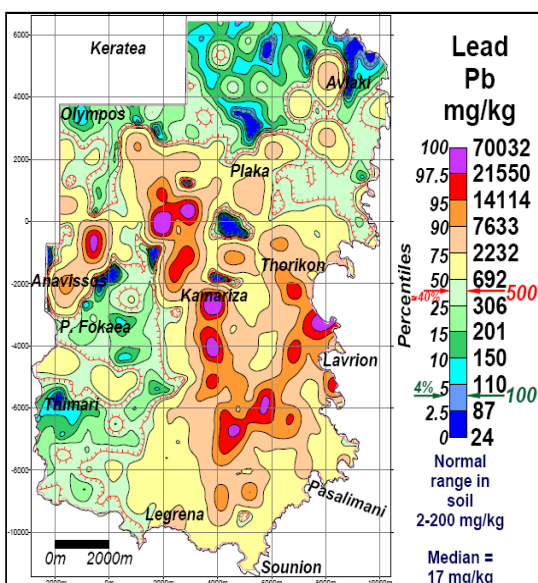
Γεωχημική χαρτογράφηση

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των δεδομένων στη γεωλογία και τη γεωχημεία είναι ότι οι ποσότητες που μετρούμε αφορούν σημεία του χώρου. Έτσι τα χωρικά τους χαρακτηριστικά, όπως η θέση των υψηλότερων τιμών, οι τάσεις και η χωρική συνέχεια παρουσιάζουν ενδιαφέρον για τους ερευνητές. Η διδιάστατη απεικόνιση του γεωχημικού ανάγλυφου μιας περιοχής, δηλαδή η δημιουργία ενός γεωχημικού χάρτη αποτελεί έναν από τους βασικούς στόχους της εφαρμοσμένης γεωχημείας. Παραδοσιακά, οι γεωχημικοί χάρτες έχουν παίξει σημαντικό ρόλο στην ανίχνευση νέων κοιτασμάτων ορυκτών υλών κάνοντας άμεσα αντιληπτή την χωρική διακύμανση των τιμών συγκεντρώσεων χημικών στοιχείων οικονομικού ενδιαφέροντος.

Τα τελευταία χρόνια η γεωχημική χαρτογράφηση εξυπηρετεί επίσης τους στόχους της προστασίας του περιβάλλοντος

δίνοντας την ευκαιρία στους επιστήμονες να συσχετίζουν υψηλές συγκεντρώσεις στοιχείων σε ποικίλα γεωχημικά μέσα με συγκεκριμένες χωρικά πιθανές πηγές ρύπανσης, να διακρίνουν φυσικές και ανθρωπογενείς γεωχημικές ανωμαλίες και να αξιολογούν την περιβαλλοντική επικινδυνότητα μιας συγκεκριμένης περιοχής. Με αυτό τον τρόπο οι γεωχημικοί χάρτες παρέχουν ένα αντικειμενικό κριτήριο για τις ανάγκες περιβαλλοντικής αποκατάστασης ή τον σχεδιασμό έργων ανάπτυξης με πιθανές μελλοντικές συνέπειες στο περιβάλλον.

Εικόνα 5 Γεωχημικός χάρτης περιεχομένου Pb στο έδαφος της Λαυρεωτικής από ΙΓΜΕ (1999)



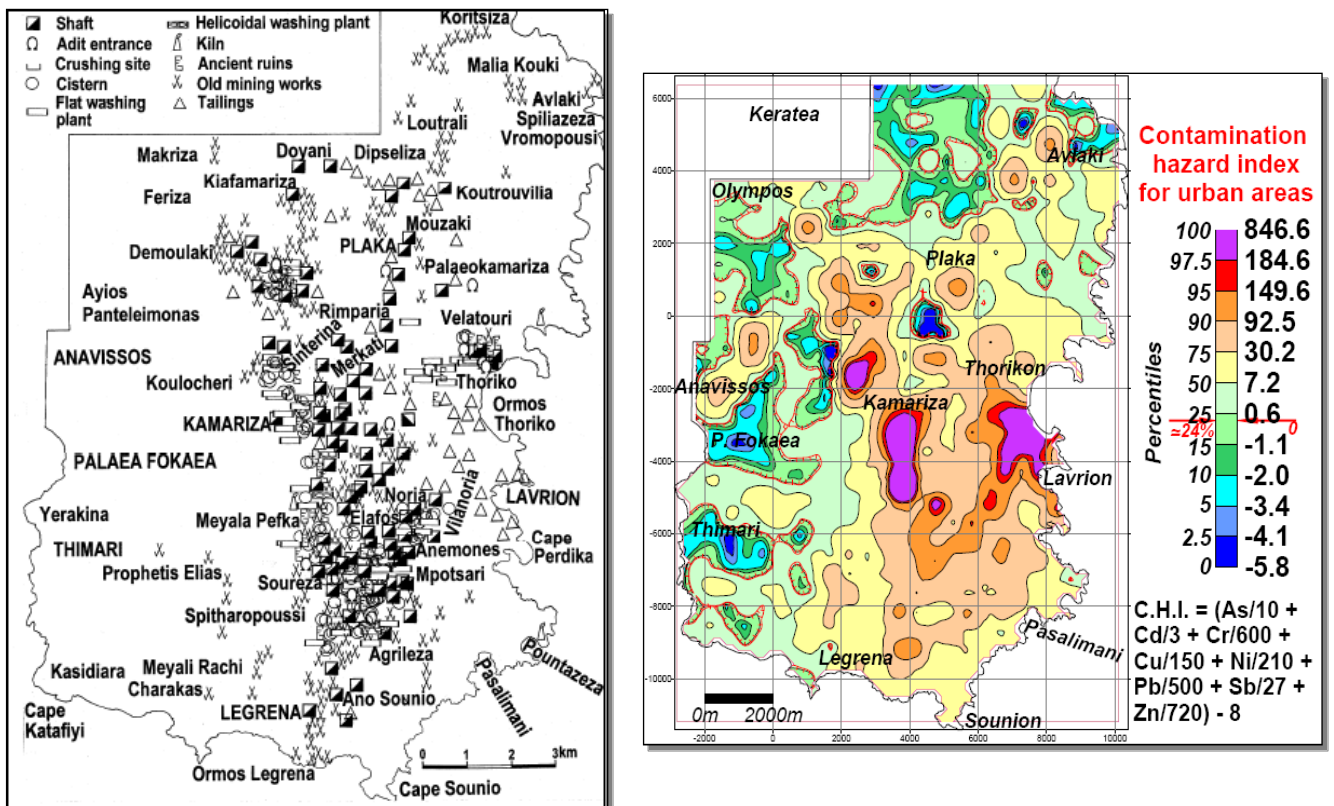
Ο απλούστερος τρόπος παρουσίασης των γεωχημικών δεδομένων σε ένα χάρτη είναι η απλή τοποθέτηση των τιμών συγκέντρωσης κάποιου χημικού στοιχείου σημειακά στις θέσεις δειγματοληψίας (data posting). Η διαδικασία αυτή αποτελεί ένα σημαντικό πρώτο

βήμα στην ανάλυση χωρικών δεδομένων γιατί επιτρέπει την αναγνώριση σφαλμάτων στη χωρική τοποθέτηση των δειγμάτων αλλά και εσφαλμένων τιμών. Για παράδειγμα μια υψηλή τιμή συγκέντρωσης που περιβάλλεται από σημεία χαμηλών συγκεντρώσεων μπορεί εύκολα να θεωρηθεί ύποπτη σφάλματος. Σημεία δειγματοληψίας τα οποία δεν είναι διασπαρμένα στο χώρο ομοιογενώς επιτρέπουν την αναγνώριση του τρόπου με τον οποίο συλλέχθηκαν τα δείγματα. Για παράδειγμα περιοχές κενές δειγμάτων είναι πιθανά μη προσβάσιμες ενώ περιοχές με πυκνή δειγματοληψία πιθανά μαρτυρούν κάποιο ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Τέλος αυτός ο τρόπος προβολής των δεδομένων επιτρέπει την αναγνώριση χωρικών τάσεων στις τιμές των γεωχημικών παραμέτρων.

Ένας ακόμη καλύτερος τρόπος για την παρατήρηση τάσεων στις τιμές των δεδομένων είναι η κατασκευή χαρτών **ισοπεριεκτικών καμπυλών (contour maps) (Εικόνα 5)**. Πολλά προγράμματα Η/Υ είναι ικανά να παράγουν τέτοιους χάρτες χρησιμοποιώντας ποικίλους αλγόριθμους. Ωστόσο, η αυτόματη κατασκευή χαρτών ισοπεριεκτικών καμπυλών με βάση δεδομένα που έχουν συλλεχθεί σε μη κανονικό κάρναβο προϋποθέτει τη χρήση μεθόδων παρεμβολής των οποίων το αποτέλεσμα ελαττώνει την πραγματική μεταβλητότητα των τιμών, εξομαλύνοντας το γεωχημικό ανάγλυφο. Έτσι πολλές φορές τέτοιοι χάρτες είναι κατάλληλοι περισσότερο για μια ποιοτική παρά ποσοτική ανάλυση των δεδομένων.

Σημειώνεται η συμβολή της χρήσης ΓΠΣ τα οποία παρέχουν την ευκαιρία αποτύπωσης επάλληλων επιπέδων πληροφορίας και επιτρέπουν τη συσχέτιση του γεωχημικού ανάγλυφου με άλλα δεδομένα, όπως, χρήσεις γης, πιθανές πηγές ρύπανσης, επιδημιολογικά δεδομένα κλπ.

Η γεωχημεία της ευρύτερης περιοχής της Λαυρεωτικής έχει μελετηθεί και χαρτογραφηθεί τη δεκαετία του 1990 από το ΙΓΜΕ και ΕΜΠ. Οι γεωχημικοί χάρτες εδάφους βασίστηκαν σε 698 δείγματα βάθους 0-10 cm, τα οποία συλλέχθηκαν σε κάρναβο 500 x 500 m που κάλυψε περιοχή 170 km² (Εικόνα 6).



Εικόνα 6 Χάρτες μεταλλευτικών θέσεων (αριστερά) και κινδύνου ρύπανσης εδαφών (δεξιά) από ΙΓΜΕ-ΕΜΠ (1999).

4. Πόλη Λαυρίου- Καβοδόκανος: Όξινη απορροή ως ανθρωπογενής παράγοντας

Μεγάλος όγκος αποβλήτων της εξορυκτικής και μεταλλευτικής δραστηριότητας παραμένει σήμερα εκτεθειμένος στις ατμοσφαιρικές συνθήκες με τη μορφή σωρών εντός της αστικής περιοχής του Λαυρίου. Ορισμένα από τα μεταλλευτικά απόβλητα αποτελούν μια ανθρωπογενή πηγή όξινης απορροής. Είναι



λοιπόν φανερό ότι η διεργασία της όξινης απορροής μπορεί να οφείλεται σε καθαρά φυσικούς παράγοντες όπως παρατηρήσαμε στην περιοχή της Πλάκας, αλλά και σε ανθρωπογενείς όπως στην περιοχή του Καβοδόκανου.

Σωροί στείρων υλικών εξόρυξης και απόβλητα του εμπλουτισμού του μεταλλεύματος που περιέχουν θειούχα ορυκτά (κυρίως σιδηροπυρίτη) οξειδώνονται και προκαλούν το φαινόμενο. Η χαμηλή τους συχνά κοκκομετρία έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της διαθέσιμης ειδικής

επιφάνειας υποβοηθώντας την εξέλιξη των χημικών αντιδράσεων.

Στην περιοχή του Καβοδόκανου απαντά ένας σωρός πλούσιος σε σιδηροπυρίτη που έχει προκύψει από τη διαδικασία της επίπλευσης για το διαχωρισμό του μεταλλεύματος.

Πρόκειται για ένα από τους τρεις τύπους αποβλήτων που απαντούν στην περιοχή. Το υλικό είναι λεπτόκοκκο και η συγκέντρωση μολύβδου που έχει μετρηθεί φτάνει το 15% κ.β (Εικόνα 7).

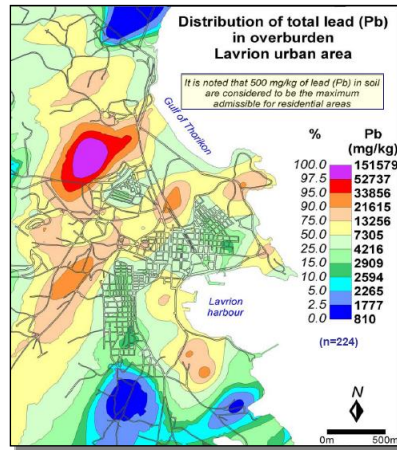
Γενικά οι τύποι των αποβλήτων που απαντούν εντός της πόλης του Λαυρίου περιλαμβάνουν:

A. Στείρα υλικά από τον υδρομηχανικό εμπλουτισμό του μεταλλεύματος (mineral waste-hydromechanical separation). Π.χ. περιοχή Σαντοριναίικα

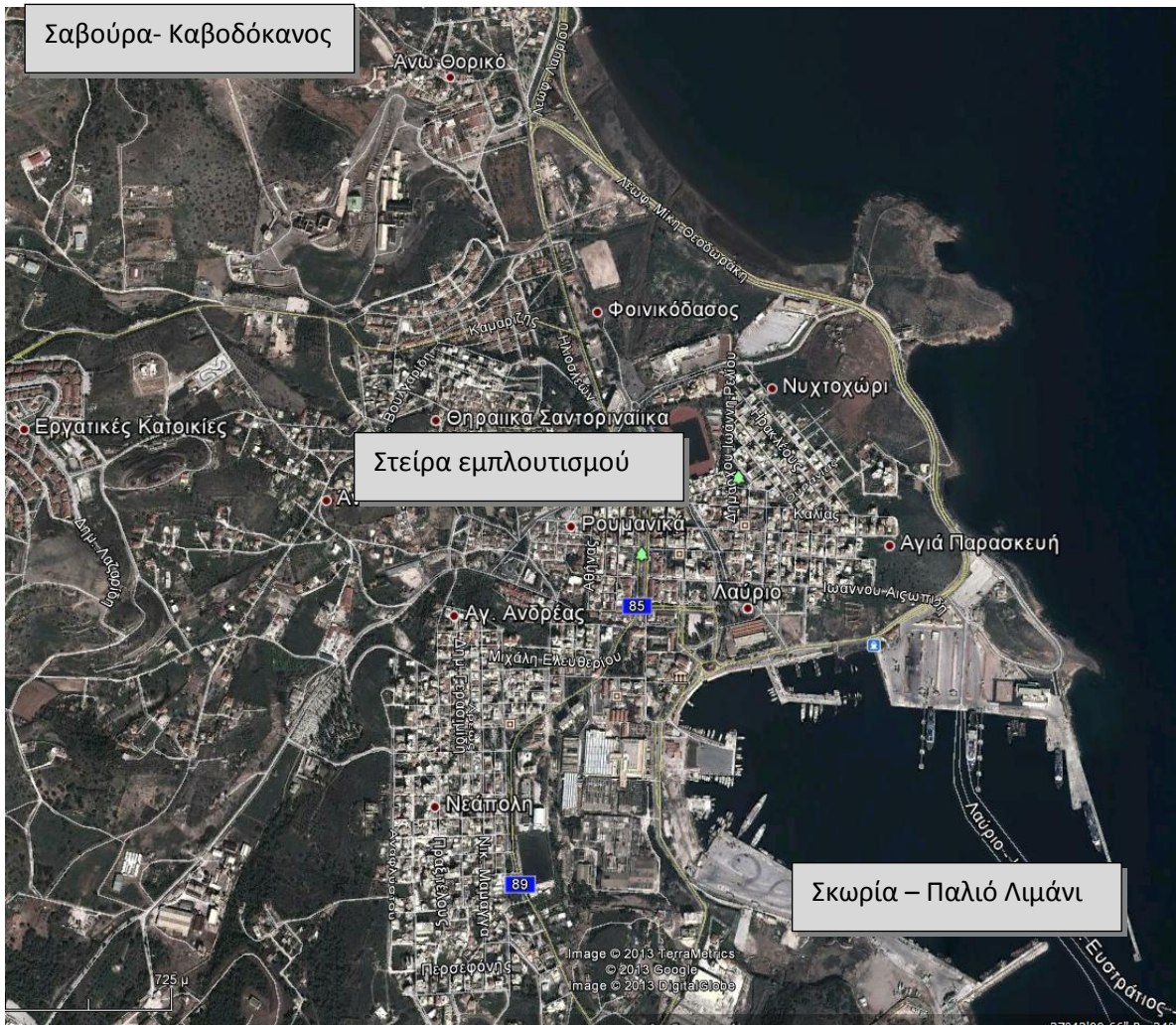
B. Θειούχα υπολείμματα επίπλευσης (pyritic flotation tailings). Π.χ. περιοχή Καβοδόκανου

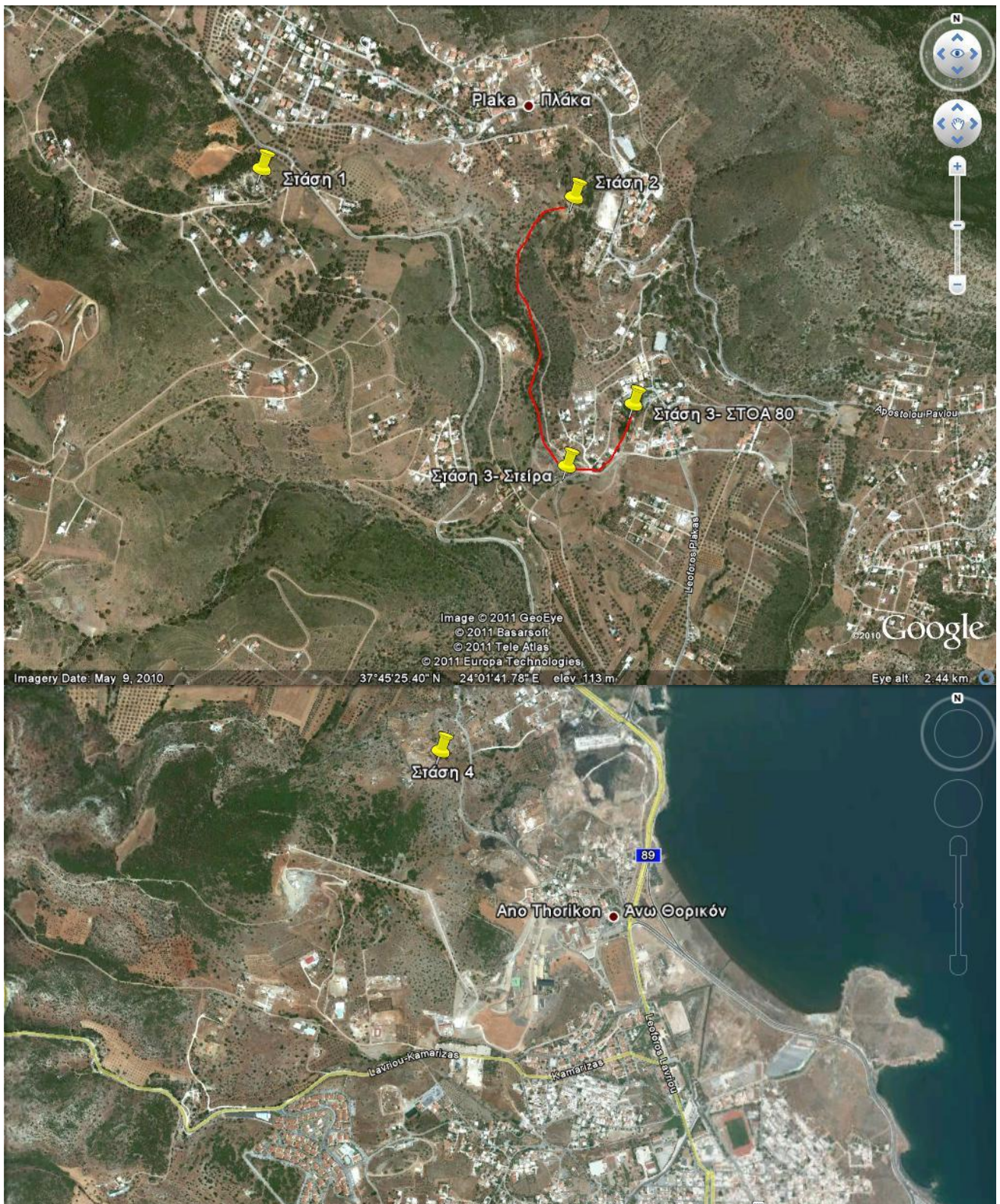
Γ. Σκωρίες από την εκκαμίνευση του μεταλλεύματος (slags). Π.χ. περιοχή παλιού Λιμανιού

Στη στάση αυτή θα γίνει συζήτηση ως προς την επικινδυνότητα των υλικών διαφορετικών τύπων μεταλλευτικών-μεταλλουργικών αποβλήτων και σύντομη αναφορά στην εκτίμηση περιβαλλοντικού κινδύνου στην περιοχή του Λαυρίου. Η συζήτηση θα βασιστεί στο υλικό που θα έχει συλλέξει κάθε ομάδα φοιτητών από τις περιοχές του Παλιού λιμανιού και των Σαντοριναίικων.



Εικόνα 7 Τύποι μεταλλευτικών αποβλήτων και συγκεντρώσεις Pb στο επιφανειακό υλικό. (Γρυπιώτη 2009 και ΙΓΜΕ 1999)





1. Χάρτες στάσεων άσκησης υπαίθρου (- - - - - πεζοπορία).



2. Χάρτης δειγματοληψίας εδαφών στην πεδιάδα Μαρκάτι.

Βιβλιογραφία- πηγές διεύρυνσης γνώσεων

- Belzile, N., Chen, YW, Cai, MF, Li, Y (2004) A review on pyrrhotite oxidation, *Journal of Geochemical Exploration*, 84, 65-76.
- Demetriades A, Li X, . Ramsey, M.H.,Thornton I (2010) Chemical speciation and bioaccessibility of lead in surface soil and house dust, Lavrion urban area, Attiki, Hellas, *Environmental Geochemistry and Health*, 32, 529-552
- Demetriades, A (2010) Medical Geology in Hellas: The Lavrion Environmental Pollution Study, in O. Selinus et al. (eds.) *Medical Geology*, Springer, 355-390.
- Demetriades, A. (ed.) (1999) *Geochemical Atlas of the Lavrion urban area for environmental protection and planning*, EU LIFE programme, IGME, Athens (Open file report).
- Korre, A. Durucan, S. , Koutroumani, A. (2002) Quantitative-spatial assessment of the risks associated with high Pb loads in soils around Lavrio, Greece, *Applied Geochemistry*, 17, 1029-1045.
- Marinos, G. P. and Petrascheck, W.E. (1956) *Laurium*. Geological & Geophysical Research 4/1, Institute for Geology and Subsurface Research, 1–247.
- Skarpelis , N . (2007) The Lavrion deposit: Geology, mineralogy and minor elements chemistry . *Neues Jahrb Miner. Abh.*, 183/3 , 227 – 249 .
- Skarpelis N. Triantafyllidis S. Baziotis I. (2004) Acid rock drainage in the mine of Lavrion, Greece *Advances in Mineral Resources Management and Environmental Geotechnology*, Hania 2004, Greece, 531.
- Skarpelis, N. and Argyraki, A. (2009) The geology and origin of supergene ores in Lavrion (Attica, Greece), *Resource Geology*, 59, 1-14.
- Skarpelis, N., Tsikouras, B. & Pe-Piper, G. (2008) The Miocene igneous rocks in the Basal Unit of Lavrion (SE Attica, Greece): petrology and geodynamic implications. *Geol. Mag.* **145** (1), 1–15.
- Skarpelis, N., Argyraki, A. & Grypioti, A. (2009) Characterization of sources of inhalable particulate matter (PM10) in the old processing and smelting site of Lavrion, Greece. *Goldschmidt 2009*, Davos, Switzerland, Special Supplement *Geoch. et Cosmoch. Acta* 73, no 13S, p. A 1324.
- Xenidis, A., Papassiopi, N., Komnitsas, K. (2003) Carbonate-rich mining tailings in Lavrion: risk assessment and proposed rehabilitation schemes. *Advances in Environmental Research* 7, 479-494.