



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΠΑΜΠΑΤΖΙΑΝΗΣ
ΑΕΜ 5831

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ ΣΤΗΝ
ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2022





ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΜΠΑΜΠΑΤΖΙΑΝΗΣ

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Αλέξανδρος Μπαμπατζιάνης, 2022

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



©Αλέξανδρος Μπαμπατζιάνης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Η συμβολή της εφαρμοσμένης γεωχημείας στην ανακάλυψη κοιτασμάτων- Διπλωματική Εργασία

©Alexandros Mpampatzianis, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2022
All rights reserved.
The contribution of exploration geochemistry to the discovery of deposits-Bachelor Thesis

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

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

Εικόνα Εξωφύλλου: 1^η φωτογραφία Τριανταφυλλίδης, Σ. (2015). ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ. Τμήμα Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, Αθήνα

2^η φωτογραφία Zapata, M. (July 21, 2022). 30 Best Places to Pan for Gold and Gemstones. Ανάκτηση από <https://www.farandwide.com/s/best-places-pan-gold-gemstones-095e3175eb2946b9>



Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ABSTRACT

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1.1. Γεωχημεία	4
1.2. Γεωχημικός κύκλος	4
1.3. Εφαρμοσμένη γεωχημεία	6
1.3.1. Γεωχημικές ανωμαλίες	7
1.3.2. Στοιχεία δείκτες	8
2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ	10
2.1. Πρόλογος	10
2.2. Σχεδιασμός γεωχημικής έρευνας	11
2.3. Δειγματοληψία	14
2.3.1. Γεωχημεία πετρώματος	16
2.3.2. Γεωχημεία βλάστησης	18
2.3.3. Γεωχημεία αέριων	19
2.3.4. Υδρογεωχημεία	20
2.3.5. Γεωχημεία εδαφών	22
2.3.6. Γεωχημεία ιζημάτων	25
2.4. Ανάλυση δειγμάτων	29
2.4.1. Προετοιμασία δειγμάτων	29
2.4.2. Μέθοδοι ανάλυσης	30
2.4.3. Ακρίβεια και πιστότητα αναλύσεων	31
2.5. Ερμηνεία αποτελεσμάτων	32
3. Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΗΣ ΓΕΩΧΗΜΕΙΑΣ ΣΤΗΝ ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΧΡΥΣΟΥ	34
3.1. Χρυσός και γεωχημεία	34
3.2. Τεχνική panning	36
3.3. Το πρόβλημα του χρυσού για την γεωχημεία	38
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	41



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συμβολή της εφαρμοσμένης γεωχημείας στην ανακάλυψη κοιτασμάτων

Αλέξανδρος Μπαμπατζιάνης

Στην παρούσα βιβλιογραφική διπλωματική εργασία εξετάζεται η συμβολή της εφαρμοσμένης γεωχημείας στην ανακάλυψη κοιτασμάτων ορυκτών ή ενεργειακών πόρων καθώς και στον εντοπισμό περιβαλλοντικής ρύπανσης. Η εφαρμοσμένη γεωχημεία αποτελεί ένα από τα αρχικά στάδια αναζήτησης κοιτασμάτων, μαζί με άλλες μεθόδους αναζήτησης (γεωφυσική π.χ.) και είναι αρκετά οικονομική σε σχέση με τις υπόλοιπες. Η αναζήτηση βασίζεται σε ένα γεωχημικό πρόγραμμα που ως πρώτο βήμα είναι ο σχεδιασμός της έρευνας και στην συνέχεια η εφαρμογή του ερευνητικού προγράμματος στο ύπαιθρο, με μεθόδους οι οποίες ποικίλουν, όπως δειγματοληψία και αναλύσεις, ανάλογα με την γεωλογική γνώση στην περιοχή που μελετάμε καθώς και άλλους περιβαλλοντικούς και όχι μόνο παράγοντες. Οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν σε διαφορά υλικά όπως πετρώματα, ιζήματα, αέρια, εδάφη κ.α., ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες της περιοχής έρευνας. Η εφαρμοσμένη γεωχημεία βασίζεται σε μετρήσεις χημικών στοιχείων, τα οποία έχουν άμεση σχέση με το κοίτασμα ενδιαφέροντος, και ονομάζονται στοιχεία δείκτες. Αυτά τα χημικά στοιχεία εμφανίζουν συγκεντρώσεις μεγαλύτερες από το κανονικό που ονομάζονται γεωχημικές ανωμαλίες και με βάση αυτές προσανατολίζεται και η γεωχημική έρευνα. Η εφαρμοσμένη γεωχημεία είναι μια μέθοδος αναζήτησης αρκετά εξελιγμένη τα τελευταία χρόνια και έχει διευκολύνει πολύ την αναζήτηση κοιτασμάτων χρυσού αλλά και άλλων ορυκτών πόρων.



ABSTRACT

The contribution of exploration geochemistry to the discovery of deposits

Alexandros Mpampatzianis

In this bibliographic thesis we examine the contribution of exploration geochemistry to the discovery of mineral deposits or energy resources as well as to the detection of environmental pollution. Exploration geochemistry is one of the initial stages of prospecting for deposits, along with other prospecting methods (e.g. geophysics) and is quite economical compared to these. The exploration is based on a geochemical program and the first step is the planning of the research, and then comes the implementation of the research program in the field, with varying methods, such as sampling and analyses, depending on the geological knowledge of the area as well as others environmental and other factors. Measurements can be contacted in different materials such as rocks, sediments, gases, soils, etc., depending on the prevailing conditions of the research area. Exploration geochemistry is based on measurements of chemical elements, which are directly related to the deposit of interest, and are called pathfinder elements. These chemical elements show concentrations higher than the typical, which are called geochemical anomalies, and the geochemical research is based on them. Exploration geochemistry is a research method that has evolved in recent years and has greatly facilitated the search for gold and other mineral resources.



Το θέμα της συγκεκριμένης πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε το Σεπτέμβριο του 2021 από τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας-Πετρολογίας-Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο, τον οποίο ευχαριστώ πολύ για την διάθεση και τον χρόνο του, την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλο το χρονικό διάστημα της συγγραφής και μελέτης της εργασίας.

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία παρουσιάζει την συμβολή της εφαρμοσμένης γεωχημείας στην αναζήτηση κοιτασμάτων σε όλο τον κόσμο, καθώς και τα στάδια ενός γεωχημικού προγράμματος αλλά και ορισμένα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν κατά την διάρκεια του.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Β. Μέλφο, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή βοήθειά του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1. Γεωχημεία

Η γεωχημεία αποτελεί ένα κομμάτι των θετικών επιστημών αλλά πιο συγκεκριμένα είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της γεωλογίας. Η συμβολή της γεωχημείας στον κλάδο της επιστήμης της γεωλογίας είναι κυρίως η ερμηνεία και λύση διάφορων απλών και συνθέτων γεωλογικών προβλημάτων, όπως είναι η μετακίνηση και η διασπορά χημικών στοιχείων και των ισοτόπων τους μέσα στην γη αλλά και στα πετρώματα και τα ορυκτά της, εφαρμόζοντας βασικές χημικές μεθόδους (Misra 2012). Η γεωχημεία σαν έννοια είναι ο κλάδος της επιστήμης που ασχολείται με την χημεία της γης καθώς και με τις χημικές διεργασίες που λαμβάνουν χώρα σε κάθε ένα κομμάτι της ξεχωριστά (λιθόσφαιρα, μανδύας, πυρήνας). Για την εφαρμογή και την επίλυση όλων αυτών των προβλημάτων ο γεωχημικός χρειάζεται μια ποικιλία αναλυτικών δεδομένων σε διαφορά φυσικά υλικά (νερό, ιζήματα, πετρώματα κ.α.), μετεωρίτες, αστροφυσικά δεδομένα για την γνώση άλλων κοσμικών σωμάτων και γεωφυσικά δεδομένα για την γνώση του εσωτερικού της γης. Στην ανάπτυξη της επιστήμης αυτής βοήθησε πολύ τα τελευταία χρόνια η ραγδαία τεχνολογική ανάπτυξη και εξέλιξη προηγμένων τεχνικών χημικής ανάπτυξης.

Η γεωχημεία είναι ένας κλάδος ο οποίος έχει και θεωρητικές εφαρμογές αλλά μπορεί να εφαρμοστεί και στην πράξη. Η επιστήμη αυτή έχει εφαρμογές στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου και στις δραστηριότητες τους. Αρχικά η γεωχημεία βρίσκει εφαρμογή στην γεωργία και την κτηνοτροφία με ανάλυση της προέλευσης των ιχνοστοιχείων στις ζωοτροφές και τα λιπάσματα. Μια ακόμα χρήση που επηρεάζει άμεσα τον άνθρωπο είναι ο γεωχημικός έλεγχος μικροστοιχείων στην τροφή, το πόσιμο νερό και στον αέρα. Η προστασία του περιβάλλοντος είναι ένα ακόμα κομμάτι το οποίο ελέγχεται με την γεωχημεία καθώς σχετίζεται με την μόλυνση βιομηχανιών. Εκτός από την εφαρμογή στην καθημερινότητα του ανθρώπου η γεωχημεία έχει ένα πολύ σημαντικό ρολό στην γεωλογία. Με την εφαρμογή γεωχημικών μεθόδων μπορούν να εντοπιστούν ρήγματα, εκχύσεις λάβας, πηγές γεωθερμικής ενέργειας, να γίνει ευκολότερη η γεωλογική χαρτογράφηση μιας περιοχής και κυρίως στον εντοπισμό κοιτασμάτων μεταλλικών ή μη ορυκτών είτε ενεργειακών πρώτες υλών (εφαρμοσμένη γεωχημεία).

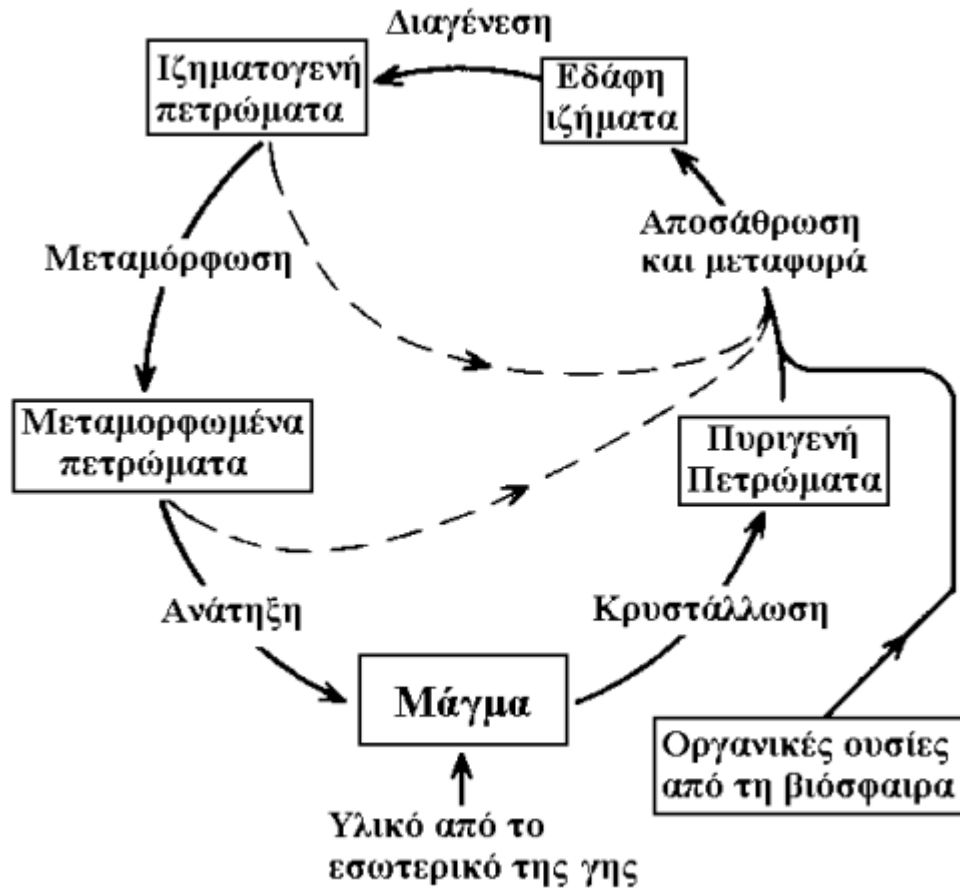
1.2. Γεωχημικός κύκλος

Ο γεωχημικός κύκλος περιλαμβάνει την διαδρομή που ακολουθούν διαφορά στοιχεία από τον μανδύα μέχρι την επιφάνεια της γης, μέσω διάφορων φυσικών και χημικών διεργασιών.

Οι διεργασίες αυτές είναι υπεύθυνες για την διασπορά των στοιχείων στην λιθόσφαιρα και είναι ακόμα ο λόγος εμπλουτισμού σε μια περιοχή, σε ένα ή περισσότερα συστατικά, σε μεγαλύτερη αναλογία από το μέσο της λιθόσφαιρας.

Ο γεωχημικός κύκλος (Σχ. 1) ξεκινάει από το πρωτογενές περιβάλλον με άνοδο και κρυστάλλωση του μάγματος σε βάθος ή στην επιφάνεια. Το πρωτογενές περιβάλλον περιλαμβάνει τις διεργασίες που πραγματοποιούνται από την κατώτερη στάθμη του υδροφόρου ορίζοντα μέχρι και μεγάλα βάθη που επικρατούν συνθήκες μεταμορφώσεις. Οι συνθήκες που επικρατούν σε αυτό το περιβάλλον είναι περιορισμένη κίνηση διαλυμάτων, ελάχιστο ελεύθερο οξυγόνο καθώς και πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις. Στην συνέχεια του γεωχημικού κύκλου τα ήδη κρυσταλλωμένα πυριγενή πετρώματα μέσω επιφανειακών συνθηκών αποσαθρώνονται, μεταφέρονται και αποτίθενται σαν ίζημα σε ένα διαφορετικό σημείο από το σημείο δημιουργίας τους και με διαγένεση του ιζήματος δημιουργούνται τα ιζηματογενή πετρώματα. Με αυτές τις διεργασίες το υλικό έχει περάσει στο δευτερογενές περιβάλλον, πάνω από τον υδροφόρο ορίζοντα, και πλέον με επιφανειακές θερμοκρασίες και πιέσεις, ελεύθερη διακίνηση διαλυμάτων και άφθονο οξυγόνο και διοξείδιο του άνθρακα, που εντείνουν τις επιφανειακές διεργασίες αλλά και τον ανθρώπινο παράγοντα. Έπειτα με διεργασίες όπως βύθιση σε βαθύτερους ορίζοντες το περιβάλλον μεταβάλλεται πάλι αυτή την φορά σε πρωτογενές. Σε αυτό το στάδιο γίνεται μεταμόρφωση του ιζηματογενούς πετρώματος και στην συνέχεια τήξη όπου καταλήγει στο αρχικό μάγμα.

Όπως περιγράφηκε στον γεωχημικό κύκλο συμβαίνει μια συνεχής μετακίνηση στοιχείων από το πρωτογενές στο δευτερογενές περιβάλλον και ανάποδα. Έτσι πετρώματα και ορυκτά που δημιουργήθηκαν στο πρωτογενές περιβάλλον είναι ασταθή στο δευτερογενές (Φιλιππίδης 2019). Για αυτόν τον λόγο τα πετρώματα αλλοιώνονται και πραγματοποιείται διασπορά των στοιχείων όπως ήδη αναφέρθηκε. Ανάλογα με την διαλυτότητα, τη ευκινησία και την ανθεκτικότητα κάθε στοιχείου ή πετρώματος αυτά μπορεί να μεταφερθούν σαν ίζημα ή διάλυμα και να μεταφερθούν σε διαφορετικές αποστάσεις από την αρχική τοποθεσία. Σε αυτές τις διεργασίες βασίζεται η εφαρμοσμένη γεωχημεία, άλλες φορές για την ανακάλυψη νέο σχηματισθέντων κοιτασμάτων, που προέκυψαν από την μεταφορά των στοιχείων και άλλες για την εύρεση της αρχικής πηγής των αποσαθρωμένων υλικών.



Σχήμα 1. Ο Γεωχημικός κύκλος (Saxby 1969, Φιλιππίδης 2002)

1.3. Εφαρμοσμένη γεωχημεία

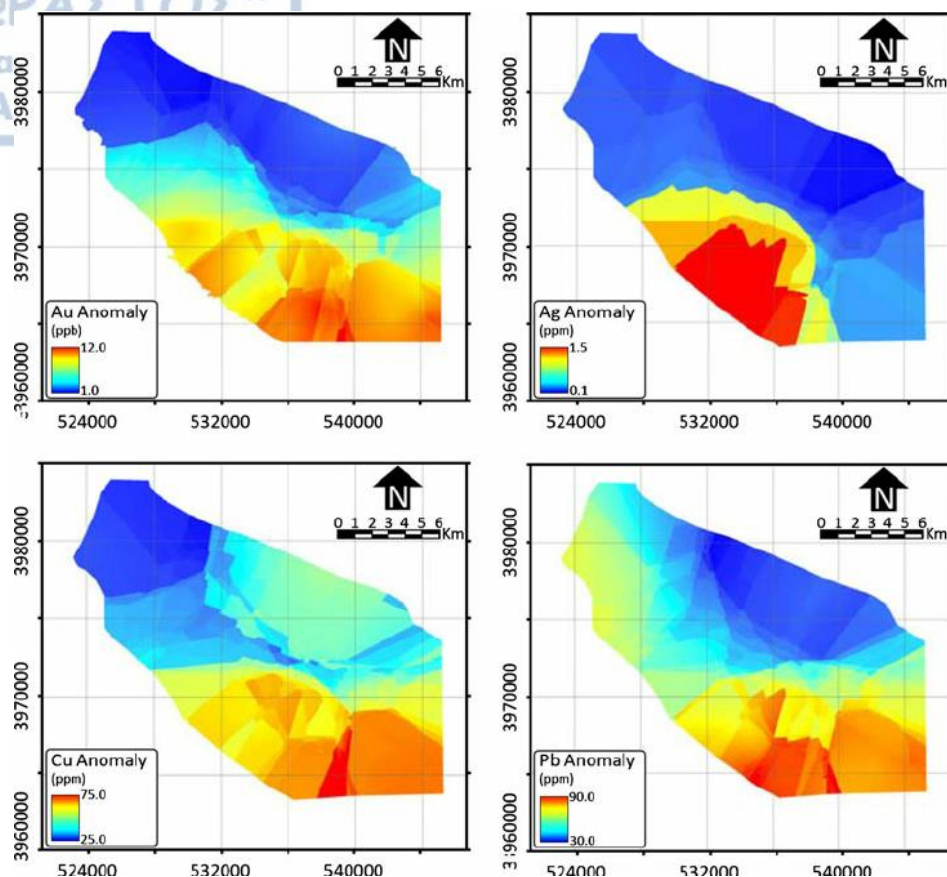
Η εφαρμοσμένη γεωχημεία είναι μια εξελισσόμενη μέθοδος αναζήτησης κοιτασμάτων ορυκτών πρώτων υλών και πηγών ρύπανσης. Το κομμάτι της γεωχημείας που αναφέρθηκε πιο πάνω είναι το θεωρητικό μέρος της επιστήμης ενώ η εφαρμοσμένη γεωχημεία είναι το πρακτικό μέρος που βασίζεται στην γεωχημεία. Οι ορυκτές πρώτες ύλες ομαδοποιούνται σε ενεργειακές (άνθρακες, πετρέλαιο κ.α.), σε μεταλλεύματα και στα βιομηχανικά ορυκτά και πετρώματα. Η εξερευνητική γεωχημεία αποτελεί ένα από τα στάδια της μεταλλευτικής έρευνας η οποία βασίζεται στην ανάλυση ενός ή περισσότερων στοιχείων, τα οποία στην πλειοψηφία τους μπορεί να είναι δευτερεύοντα στοιχεία στο κοίτασμα ή να βρίσκονται σε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες, κάτι που καθιστά την γεωχημεία μια άμεση μέθοδο. Η γεωφυσική και η γεωλογία είναι δυο ακόμα μέθοδοι αναζήτησης κοιτασμάτων οι οποίες όμως είναι έμμεσες μέθοδοι. Ωστόσο ένα ερευνητικό έργο απαιτεί τον συνδυασμό όλων αυτών των μεθόδων, καθώς η μια μέθοδος καλύπτει τα κενά της άλλης (Νίκας Κ. κ.ά. 2001).

Οι μετρήσεις των στοιχείων γίνονται σε διαφορά υλικά και ανάλογα με το υλικό υπάρχουν διάφορες παράμετροι. Τα υλικά αυτά είναι ιζήματα ποταμών, πετρώματα, βλάστηση, αέρας, έδαφος, παγετώνες και ορισμένες φορές χρησιμοποιούνται και ζώντες οργανισμοί όπως ζώα. Οι παράμετροι που επηρεάζουν την επιλογή της μεθόδου μπορεί να αφορούν το περιβάλλοντα χώρο όπως είναι η γεωλογική γνώση της περιοχής, η μορφολογία της περιοχής έρευνας, οι καιρικές συνθήκες περιοχής και πως αυτές δρουν στα υλικά ενδιαφέροντος, δηλαδή τις συνθήκες αλλοίωσης και διασποράς των στοιχείων. Η επιλογή της μεθόδου της γεωχημικής έρευνας μπορεί να επηρεάζεται και από το στοιχείο στο οποίο στοχεύουμε, την διαθεσιμότητα του για δειγματοληψία, στην διασπορά του και στην γεωχημική του συμπεριφορά. Οι μετρήσεις γίνονται συνήθως σε γραμμάριο ανά τόνο (g/t) ή ppm (parts per million).

1.3.1. Γεωχημικές ανωμαλίες

Η εφαρμοσμένη γεωχημεία βασίζεται σε αναλύσεις στοιχείων τα οποία οφείλουν την μετακίνηση τους στις διεργασίες του γεωχημικού κύκλου που ήδη αναφέρθηκε. Έτσι με τις μετακινήσεις αυτές των στοιχείων από την αρχική τους θέση, τα στοιχεία απομακρύνονται και συγκεντρώνονται σε σημεία μακριά από την πηγή τους. Αυτή η διεργασία ονομάζεται διασπορά στοιχείων. Ανάλογα με την μορφολογία και διάφορους άλλους παράγοντες μπορεί να συγκεντρωθούν σε μια περιοχή ένα ή περισσότερα χημικά στοιχεία. Αυτός ο εμπλουτισμός στα συγκεκριμένα στοιχεία, σε σχέση με το γεωλογικό υπόβαθρο της περιοχής, καλείτε γεωχημική ανωμαλία και είναι το φαινόμενο αυτό που απασχολεί την εφαρμοσμένη γεωχημεία. Ανάλογα με τον χρόνο σχηματισμού της γεωχημικής ανωμαλίας διακρίνονται σε πρωτογενής και δευτερογενής. Οι πρωτογενής ανωμαλίες σχηματίζονται κατά την διάρκεια σχηματισμού του κοιτάσματος ενώ οι δευτερογενής σε ένα μεταγενέστερο χρόνο αφού έχει δημιουργηθεί το κοίτασμα και επιδράσουν επάνω του εξωγενής δυνάμεις όπως τεκτονισμός, αποσάθρωση, θερμά διαλύματα και ανθρώπινοι παράγοντες.

Ένα πολύ σημαντικό και βοηθητικό κομμάτι στην γεωλογία αλλά και στην γεωχημεία είναι η κατασκευή χαρτών. Όπως φαίνεται και στο (Σχήμα 2) κατασκευάζονται γεωχημικοί χάρτες στους οποίους απεικονίζονται οι γεωχημικές ανωμαλίες και βοηθούν στην μετέπειτα έρευνα και εκμετάλλευση.



Σχήμα 2. χάρτης γεωχημικής ανωμαλίας των στοιχείων Au, Ag, Cu και Pb σε περιοχή κοντά στο ρήγμα της Τεχεράνης (M. Moradi et al. 2015).

1.3.2. Στοιχεία δείκτες

Ορισμένα στοιχεία που μελετώνται με γεωχημικές μεθόδους είναι ιδιαίτερα σημαντικά και αυτά ονομάζονται στοιχεία δείκτες. Ανάλογα με την συμπεριφορά των στοιχείων δεικτών χωρίζονται σε ευκίνητα και δυσκίνητα. Ως ευκίνητα στοιχεία καλούνται αυτά που διαλύονται και μεταναστεύουν εύκολα και σε μεγάλες αποστάσεις, από την αρχική πηγή του κοιτάσματος ή της ρύπανσης, με την μορφή ιόντων. Τέτοια στοιχεία είναι τα Ag, Cd, Co, Cu, Fe, In, Mn, Mo, Ni, V, U, και Zn. Αντίθετα τα δυσκίνητα στοιχεία είναι ανθεκτικά στην αποσαθρόση και έτσι περιορίζεται η μηχανική διασπορά τους μακριά από την αρχική θέση. Ορισμένα στοιχεία ανάλογα με την ορυκτολογία των φιλοξενούντων πετρωμάτων και του δευτερογενούς περιβάλλοντος άλλες φορές εμφανίζονται ως ευκίνητα και άλλες σαν δυσκίνητα στοιχεία. Τα δυσκίνητα στοιχεία υποδιαιρούνται σε 4 κατηγορίες τα στοιχεία που σχηματίζουν ένα τμήμα εξωγενών δυνάμεων, τα στοιχεία σε ανθεκτικά ορυκτά, στοιχεία σε απομονωμένα ασταθή ορυκτά και στοιχεία που μεταβάλλονται σε δυσκίνητα σαν μικροσυστατικά εξωγενών ορυκτών.

Τα στοιχεία δείκτες ανάλογα με την έρευνα που πραγματοποιείται εξετάζονται και με διαφορετικό τρόπο. Αρχικά τα στοιχεία δείκτες μπορούν να σχετίζονται με χρήσιμα υλικά του κοιτάσματος, δηλαδή μεταλλικά, ενώ άλλες φορές περιέχονται σε σύνδρομα ορυκτά του κοιτάσματος (Σχ. 3). Όταν η έρευνα αφορά την ανακάλυψη ενός κοιτάσματος, τις περισσότερες φορές, τα στοιχεία δείκτες βρίσκονται σε πολύ μικρές περιεκτικότητες και δεν είναι τα κυρία στοιχεία του κοιτάσματος. Όμως όταν η μελέτη έχει να κάνει με τον εντοπισμό μιας πηγής ρύπανσης το στοιχείο διασποράς που αναζητείται περιέχεται σαν κύριο στοιχείο. Ακόμα η διασπορά των στοιχείων μπορεί να διαφέρει στην κατακόρυφη και οριζόντια διασπορά του. Αυτό οφείλεται κυρίως στην απόσταση από το κοίτασμα, στην ορυκτολογική σύσταση του μέσου διασποράς και την διαφορά στην συγκέντρωσης (Ovchinnikov and Grigoryan 1978). Σε κάθε περίπτωση τα στοιχεία δείκτες έχουν στενή γεωχημική συγγένεια με το κοίτασμα, μπορούν να μελετηθούν στο πρωτογενές ή στο δευτερογενές περιβάλλον τους και είναι δείκτες οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων.

Στοιχεία δείκτες	Τύπος υποδεικνυμένου κοιτάσματος
As	Au, Ag: φλεβικά Au-Ag-Cu-Co-Zn: σύνθετα σουλφιδίων
B	W-Be-Zn-Mo-Cu-Pb: skarn Sn-W-Be: φλεβικά ή τύπου greisen
Hg	Pb-Zn-Ag: σύνθετα σουλφιδίων
Mo	W-Sn: μεταμορφωσιγενή επαφής
Mn	Ba-Ag: φλεβικά και πορφυριτικών χαλκών
Se, V, Mo	U: ιζηματογενή
Cu, Bi, As, Co, Mo, Ni	U: φλεβικά
Mo, Te, Au	Πορφυριτικά χαλκού
Pd, Cr, Cu, Ni, Co	Pt: σε υπερβασικά πετρώματα
Zn	Ag-Pb-Zn: γενικά σουλφιδίων
Zn, Cu	Cu-Pb-Zn: γενικά σουλφιδίων
Rn	U: όλους τους τύπους
SO ₄	Σουλφίδια όλων των τύπων

Σχήμα 3. Πίνακας στοιχείων δεικτών και τα κοιτάσματα που υποδεικνύουν (Levinson 1974, Rose et al. 1979, Levinson et al. 1987, Φιλιππίδης 2002)

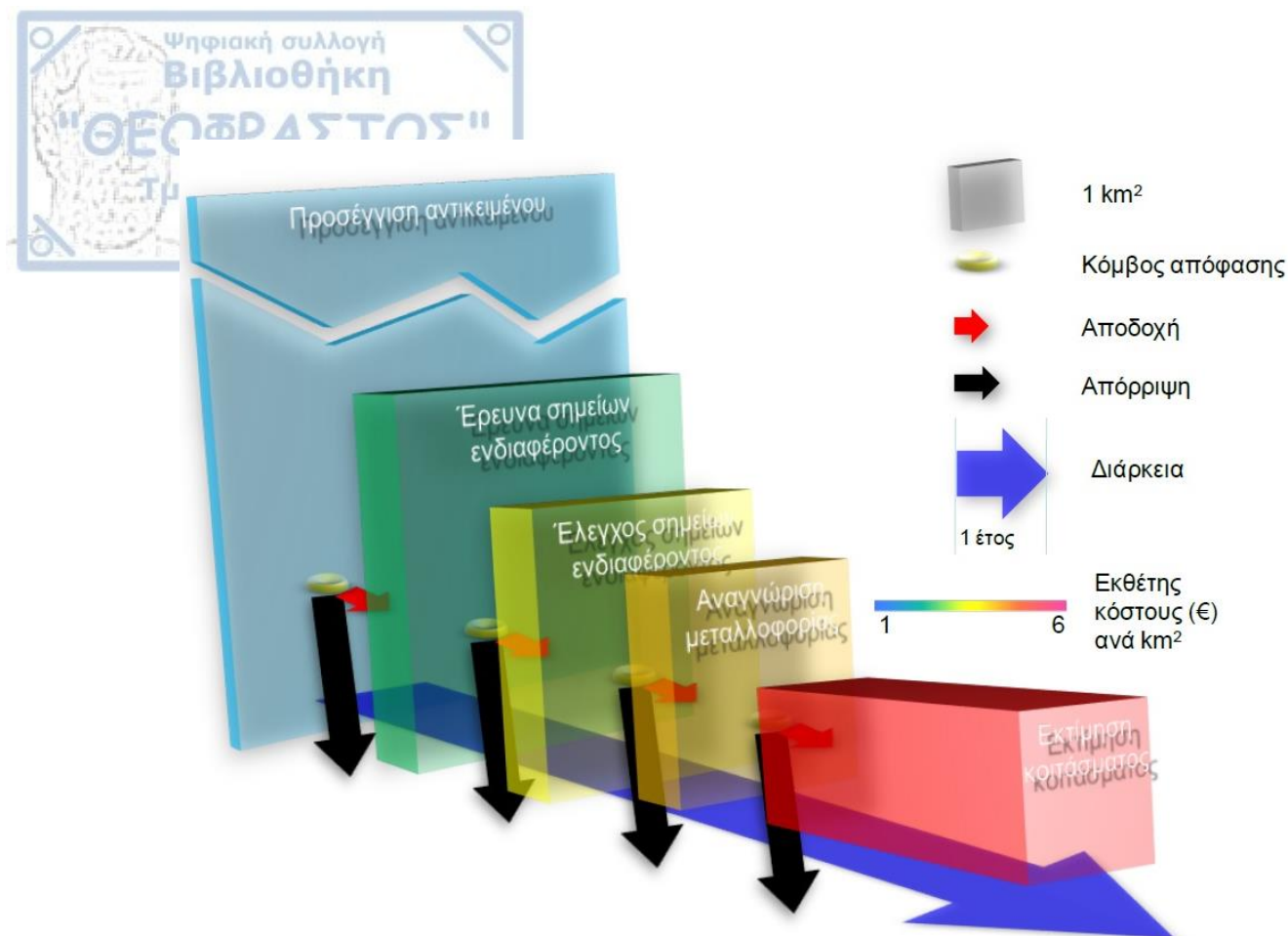
Τα στοιχεία δείκτες μπορεί να βρίσκονται στο κοίτασμα ή να δημιουργούνται μετέπειτα. Συνήθως βρίσκονται στο πλέγμα των ορυκτών στο κοίτασμα ενδιαφέροντος σε μικρές περιεκτικότητες. Άλλες φορές μπορεί να δημιουργούνται από ραδιενεργό διάσπαση ή από κάποιο άλλο στοιχείο με οξείδωση του. Οι γεωχημικές ανωμαλίες αποτελούνται και μελετώνται με βάση αυτά τα στοιχεία που μόλις αναφέρθηκαν, για αυτό τον λόγο είναι πολύ σημαντικό μέρος της εφαρμοσμένης γεωχημείας και της γεωχημικής έρευνας.

2. ΓΕΩΧΗΜΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

2.1. Πρόλογος

Η γεωχημική έρευνα αποτελεί ένα μικρό αλλά πολύ σημαντικό μέρος της συνολικής μεταλλευτικής έρευνας. Η μεταλλευτική έρευνα είναι το πρωταρχικό στάδιο για κάθε εκμετάλλευση ενός κοιτάσματος, διότι σύμφωνα με αυτή θα αποφασιστεί και η μετέπειτα πορεία της εκμετάλλευσης. Η αρχική αυτή έρευνα αποσκοπεί στην εύρεση του μεγέθους του κοιτάσματος και των απολήψιμων αποθεμάτων, στην επιλογή του γρηγορότερου και οικονομικότερου τρόπου εκμετάλλευσης (π.χ. υπόγεια εκμετάλλευση) του κοιτάσματος καθώς και στην αποκατάσταση του χώρου μετά το πέρας της εκμετάλλευσης. Όλα αυτά θα παρουσιαστούν μετά την ολοκλήρωση της μεταλλευτικής έρευνας με την σύνταξη της μελέτης σκοπιμότητας και εδώ θα αποφασιστεί αν η εκμετάλλευση είναι οικονομικά συμφέρουσα ή όχι. Η απόφαση για το αν θα συνεχιστεί η εκμετάλλευση γίνεται πάντα με τα οικονομικά κριτήρια τα οποία βασίζονται στα αποτελέσματα της μεταλλευτικής έρευνας. Για αυτόν τον λόγο το ερευνητικό πρόγραμμα βασίζεται σε πολλές μεθόδους (γεωχημική, γεωφυσική κ.α.) και απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα 5 έως 10 χρόνια.

Το ερευνητικό πρόγραμμα λόγω της σημαντικότητας του αποτελεί μια πολυφασική διαδικασία (Σχ. 4). Η αρχική φάση της έρευνας είναι η αναγνώριση και η πρώτη επαφή με την περιοχή έρευνας καθώς και η μελέτη της ζήτησης και της προσφοράς πάνω στο προϊόν ενδιαφέροντος. Η πρώτη επαφή γίνεται κυρίως με μελέτη βιβλιογραφίας, φωτογραφιών και χαρτών της περιοχής αλλά και με επιτόπου παρατήρηση. Η δεύτερη φάση της έρευνας, στην οποία παίζει σημαντικό ρόλο η γεωχημεία, αφορά την αναζήτηση και την εύρεση μικρότερων θέσεων ενδιαφέροντος στην περιοχή μελέτης. Αυτό επιτυγχάνεται με συμβολή διάφορων μεθόδων αναζήτησης. Στην συνέχεια ακολουθεί η εξονυχιστική μελέτη αυτών των θέσεων ενδιαφέροντος με στόχο τον εντοπισμό της μεταλλοφορίας. Το τελικό στάδιο του ερευνητικού προγράμματος πριν την σύνταξη της μελέτης σκοπιμότητας είναι η ανάλυση και ο υπολογισμών όλων των χαρακτηριστικών του κοιτάσματος που θα επηρεάσουν στην συνέχεια την πορεία της εκμετάλλευσης όπως τα αποθέματα και η ποιότητα τους. Η μεταλλευτική έρευνα είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία διότι σε αυτή βασίζεται η ανάπτυξη του μεταλλείου καθώς και πολλές επενδύσεις.



Σχήμα 4. Οι φάσεις ενός ερευνητικού προγράμματος (Μόδης και Σταματάκη, 2016).

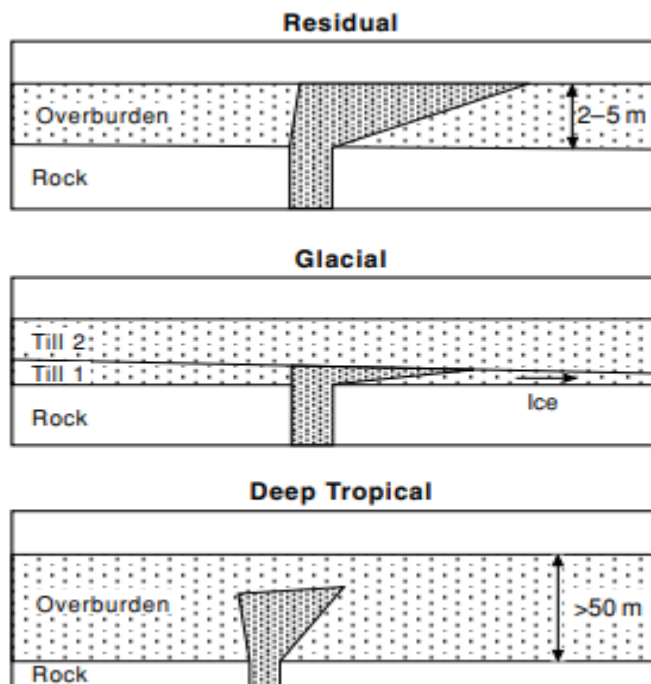
Η εφαρμοσμένη γεωχημεία εντάσσεται στην φάση της αναζήτησης, στην μεταλλευτική έρευνα, και είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι ειδικά στην σημερινή εποχή. Από το αρχικό επενδυτικό κεφάλαιο για ένα ερευνητικό πρόγραμμα μόνο το 10-20% διατίθεται για την γεωχημική έρευνα. Στην σημερινή εποχή η ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων είναι δύσκολη διότι όλα τα επιφανειακά κοιτάσματα είναι ήδη προς εκμετάλλευση. Ακόμα οι ανεξερεύνητες περιοχές έχουν μειωθεί έως εξαντληθεί όπως και οι νέοι τύποι κοιτασμάτων. Έτσι η εφαρμοσμένη γεωχημεία, ως μια άμεση μέθοδος αναζήτησης, μπορεί να βοηθήσει στην εύρεση κοιτασμάτων που δεν είναι επιφανειακά ή εύκολα προσβάσιμα. Έτσι και με την πρόοδο των νέων τεχνολογιών μπορούν να ανακαλυφθούν και να εκμεταλλευθούν κοιτάσματα που παλιότερα μπορεί λόγω της θέσης τους να μην μπορούσαν να τεθούν σε εκμετάλλευση ή λόγω της μικρής του περιεκτικότητας. Όπως κάθε ερευνητικό πρόγραμμα έτσι και η γεωχημική έρευνα απαρτίζεται από στάδια τα οποία θα αναλυθούν στην συνέχεια.

2.2. Σχεδιασμός γεωχημικής έρευνας

Ο σχεδιασμός είναι το πρώτο και πολύ σημαντικό βήμα διότι καθορίζει και θέτει τους σωστούς στόχους της μετέπειτα έρευνας. Στο στάδιο αυτό της έρευνας θα καθοριστούν οι

μέθοδοι δειγματοληψίας και αναλύσεις των δειγμάτων καθώς και οι τεχνικές έρευνας που θα ακολουθηθούν στην συνέχεια του γεωχημικού προγράμματος. Η λήψη αποφάσεων για την ομαλή πορεία της έρευνας εξαρτάται από το κοίτασμα που εξετάζεται, από την τοποθεσία του καθώς και από το περιβάλλον (υπερκείμενα). Έτσι αρχικά συλλέγονται δεδομένα και στοιχεία για τον τύπο του κοιτάσματος για το οποίο διεξάγεται η έρευνα, με βάση γεωλογικά μοντέλα κοιτασμάτων. Τα δεδομένα που συλλέγονται είναι το οικονομικό μέγεθος του κοιτάσματος, τα στοιχεία που περιέχονται στο κοίτασμα καθώς και η ορυκτολογική σύσταση των στοιχείων και οι γεωχημικές ανωμαλίες στοιχείων γύρω από το κοίτασμα (κύκλοι διασποράς). Με βάση τα δεδομένα της έρευνας καθώς και από ήδη υπάρχουσες μελέτες σε ιδίου τύπου κοιτάσματος γίνεται επιλογή της αποτελεσματικότερης μεθόδου με βάση προηγούμενες εφαρμογές της σε παρόμοιο κοίτασμα.

Το πρόβλημα του γεωλόγου είναι να προσαρμόσει την γνώση της πρωτογενούς συγκέντρωσης στο περιβάλλον εξερεύνησης. Ένα τέτοιο πρόβλημα είναι η ύπαρξη των υπερκείμενων σχηματισμών πάνω από το κοίτασμα. Έτσι το είδος των υπερκείμενων και το πάχος τους επηρεάζει την εξάπλωση των στοιχείων στο υπέδαφος και κατά συνέπεια και τα γεωχημικά αποτελέσματα (Σχ. 5). Με αυτόν τον τρόπο τα στοιχεία έχουν διαφορετική συμπεριφορά σε επιφανειακές συνθήκες σε σχέση με την περιοχή που σχηματίστηκε το κοίτασμα. Για παράδειγμα σε ένα ηφαιστειακό κοίτασμα συμπαγών σουλφιδίων Zn-Cu-Pb ο μόλυβδος ως πιο δυσκίνητο στοιχείο θα συγκεντρωθεί αμέσως πάνω από το κοίτασμα ενώ ο ψευδάργυρος που είναι πιο ευκίνητο στοιχείο θα απομακρυνθεί από το πρωτογενές περιβάλλον και θα σχηματίσει μια δευτερογενή διασπορά. Ένα ακόμα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να λάβει υπόψη του ο γεωλόγος είναι η συγκέντρωση των στοιχείων στην ευρύτερη περιοχή της έρευνας (background levels), πριν δημιουργηθεί η δευτερογενής διασπορά των στοιχείων ενδιαφέροντος. Αυτό πρέπει να γίνεται διότι μπορεί μια υψηλή συγκέντρωση σε κάποιο στοιχείο στην περιοχή να αποπροσανατολίσει την έρευνα, και να παρουσιάσει ψευδή ή μη σημαντικές ανωμαλίες στην περιοχή. Αυτή η συγκέντρωση του «background» της περιοχή εξαρτάται από τον τρόπο σχηματισμού του βράχου ή του εδάφους.



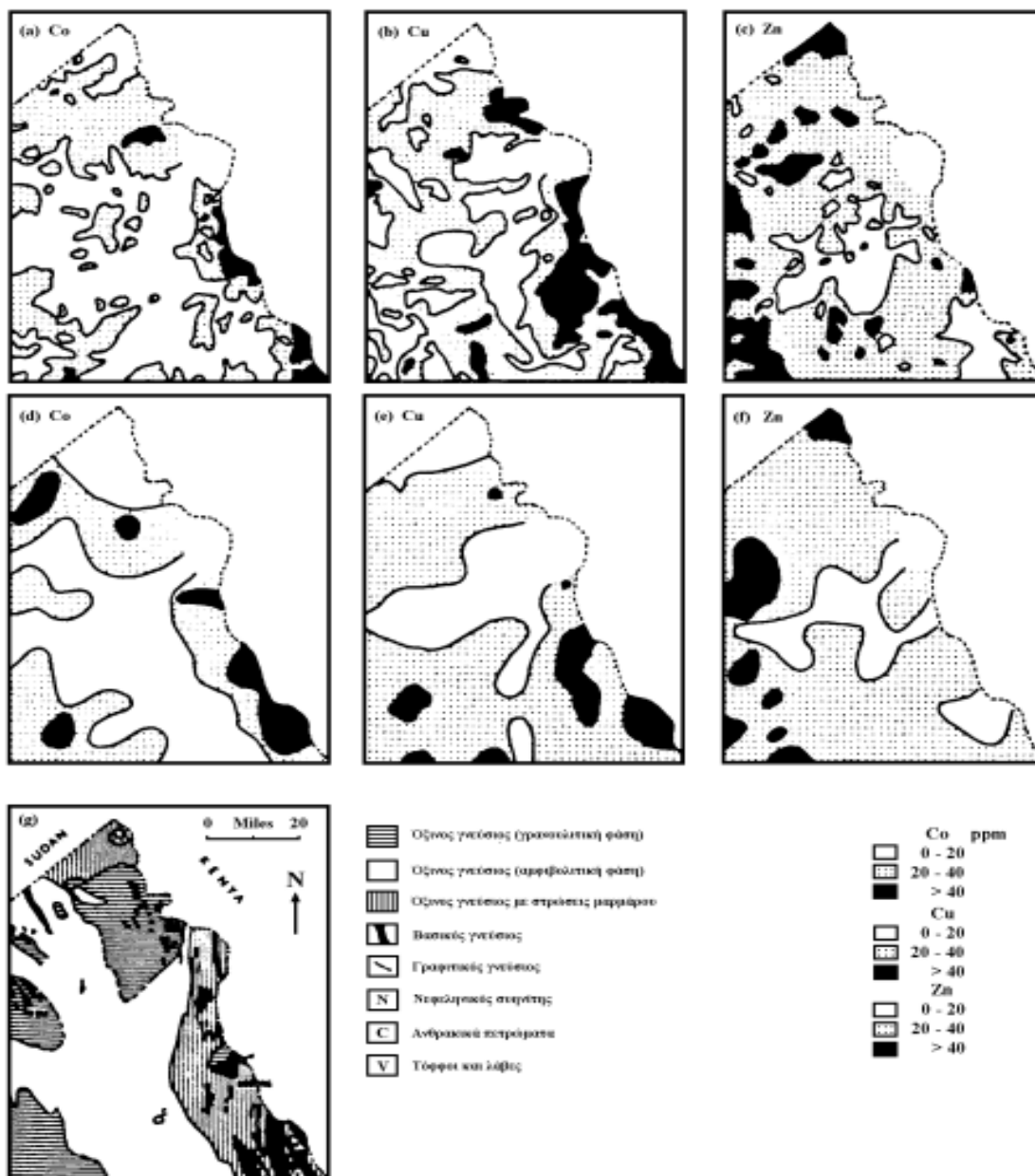
Σχήμα 5. Διασπορά στοιχείων σε διαφορετικούς τύπους υπερκείμενων πετρωμάτων (Evans 1995).

Μια από τις βασικές πτυχές του σχεδιασμού είναι η έρευνα προσανατολισμού, η οποία περιλαμβάνει την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου αναζήτησης για το κοιτάσμα ενδιαφέροντος. Η πιο κατάλληλη έρευνα προσανατολισμού επιτυγχάνεται μέσω πολλαπλών δοκιμών σε δείγματα, που έχουν συλλεχθεί από διαφορετικά υλικά, σε παρόμοιες γεωλογικές συνθήκες δημιουργίας του κοιτάσματος αλλά και της τοπογραφίας. Αυτό όμως είναι πολύ κοστοβόρο και το κόστος που διατίθεται για την έρευνα προσανατολισμού είναι μικρό σε σχέση με την γεωχημική έρευνα. Έτσι εάν δεν είναι δυνατή η οργάνωση της έρευνας αυτής τότε ο γεωλόγος ανατρέχει στην βιβλιογραφία της περιοχής και του ανάλογου κοιτάσματος σαν εναλλακτική λύση. Η οργάνωση που προαναφέρθηκε περιλαμβάνει την κατανόηση του τύπου του κοιτάσματος, του περιβάλλοντος χώρου και την φύση της διασποράς, την επιλογή κατάλληλων δειγμάτων με βάση το μέγεθος, την μέθοδο δειγματοληψίας αλλά και την πυκνότητα δειγματοληψίας και στην συνέχεια την προετοιμασία των δειγμάτων, την επιλογή μεθόδου ανάλυσης και ερμηνείας των αποτελεσμάτων. Εφόσον ολοκληρωθεί αυτή η διαδικασία σειρά έχει η οργάνωση της κύριας έρευνας όπου απαιτεί πιο αναλυτικό σχεδιασμό και πιο πολύ εξιδανικευμένο προσωπικό για κάθε θέση. Εφόσον φτάσει στο τέλος ο σχεδιασμός της έρευνας τότε έρχεται το πιο πρακτικό κομμάτι του προγράμματος το οποίο θα βασίζεται στον ήδη υπάρχον σχεδιασμό.

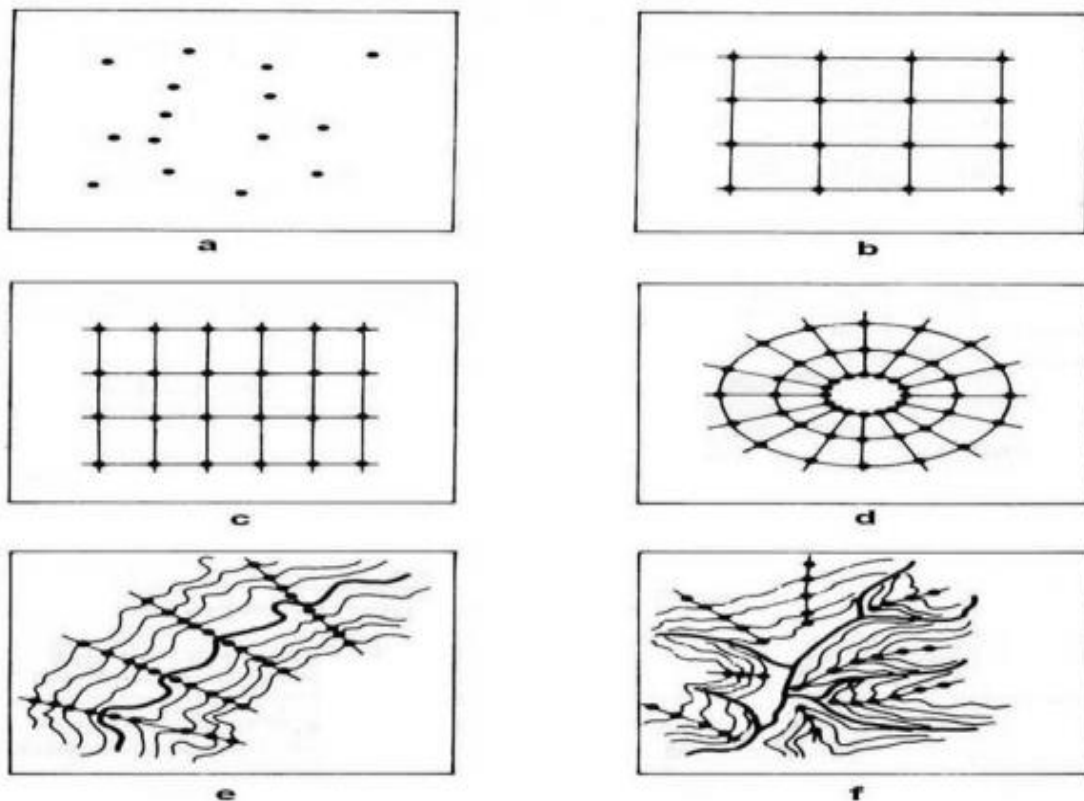
2.3. Δειγματοληψία

Η βάση ενός γεωχημικού προγράμματος είναι η συστηματική δειγματοληψία η οποία μελετήθηκε και βασίζεται στο πρώτο στάδιο της έρευνας, τον σχεδιασμό όπως προαναφέρθηκε. Με βάση οικονομικά κριτήρια επιλέγεται ποιο θα είναι το υλικό που θα συλλεχθεί, η πυκνότητα της δειγματοληψίας και μετέπειτα ο τρόπος ανάλυσης του δείγματος. Ανάλογα με την φύση του υπερκείμενου υλικού επιλέγεται το δείγμα ενώ με βάση προηγούμενη εμπειρία στην περιοχή ή βάση της έρευνας προσανατολισμού θα κριθεί ποια είναι η κατάλληλη πυκνότητα της δειγματοληψίας. Η δειγματοληψία ανάλογα με τον αριθμό των δειγμάτων που θα συλλεχθούν χωρίζεται σε αναγνωριστική (στρατηγική γεωχημεία) και λεπτομερής (Σχ. 6). Η αναγνωριστική γεωχημεία είναι μια πρώτη επαφή με την περιοχή μελέτης και αποτελείται από μικρό αριθμό δειγμάτων, ο οποίος εξαρτάται από τις γεωλογικές συνθήκες της περιοχής και από το χημικό στοιχείο που αναζητάτε, μικρό κόστος, πραγματοποιείτε σε μεγάλες εκτάσεις στις οποίες υπάρχει πιθανότητα να έχουν κοιτασματολογικό ενδιαφέρον ή μια πηγή ρύπανσης. Όπως φαίνεται και πιο πάνω στο (Σχ. 4) η γεωχημική έρευνα είναι παρόμοια με την μεταλλευτική έρευνα παρότι αποτελεί κομμάτι της. Έτσι με βάση τα αποτελέσματα της αναγνωριστικής έρευνας εφόσον δεν υπάρχουν θετικές ενδείξεις ύπαρξης διασποράς που να έχει οικονομικό ενδιαφέρον τότε η έρευνα σταματάει στην συγκεκριμένη περιοχή (Σχ. 4 μαύρο βελάκι -απόρριψη). Αντίθετα εάν προκύψει κάποια ένδειξη για ένα οικονομικά εκμεταλλεύσιμο κοιτάσμα τότε η έρευνα συνεχίζεται με το επόμενο στάδιο που είναι η λεπτομερής δειγματοληψία. Η λεπτομερής δειγματοληψία επικεντρώνεται στα σημεία ενδιαφέροντος που προέκυψαν από την αναγνωριστική και χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερο αριθμό δειγμάτων σε μια μικρότερη έκταση από την αρχική. Στόχος της είναι ο ακριβής εντοπισμός της θέσης του κοιτάσματος ή της ρύπανσης.

Η δειγματοληψία έχει σχεδιαστεί λεπτομερώς στο αρχικό στάδιο της έρευνας και η θέσεις συλλογής δειγμάτων έχουν καθοριστεί συνήθως. Ορισμένες φορές η δειγματοληψία είναι τυχαία, άλλες φορές βασίζεται σε ένα κάναβο (ορθογώνιο, τετραγωνικό, κυκλικό) ενώ μερικές φορές χρησιμοποιείται χάρτης τοπογραφικού ανάγλυφου (Σχ. 7). Όπως αναφέρθηκε στις παραγράφους 1.3.1. και 1.3.2. η δειγματοληψία βασίζεται στα στοιχεία δείκτες τα οποία θα οδηγήσουν στον εντοπισμό γεωχημικών ανωμαλιών. Η δειγματοληψία είναι ένα στάδιο το οποίο είναι πολύ σημαντικό από οικονομικής πλευράς για την έρευνα και μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλά και διαφορετικά υλικά.



Σχήμα 6. Γεωχημικοί χάρτες ποτάμιων ιζημάτων στο Karamja της Ουγκάντας. (a) (b) (c): Χάρτες βασισμένοι σε 1000 δείγματα (λεπτομερής δειγματοληψία). (d) (e) (f): Χάρτες βασισμένοι σε 100 δείγματα (αναγνωριστική δειγματοληψία). (g) Λιθολογικός χάρτης της περιοχής (Reedman and Gould 1970, Φιλιππίδης 2002).



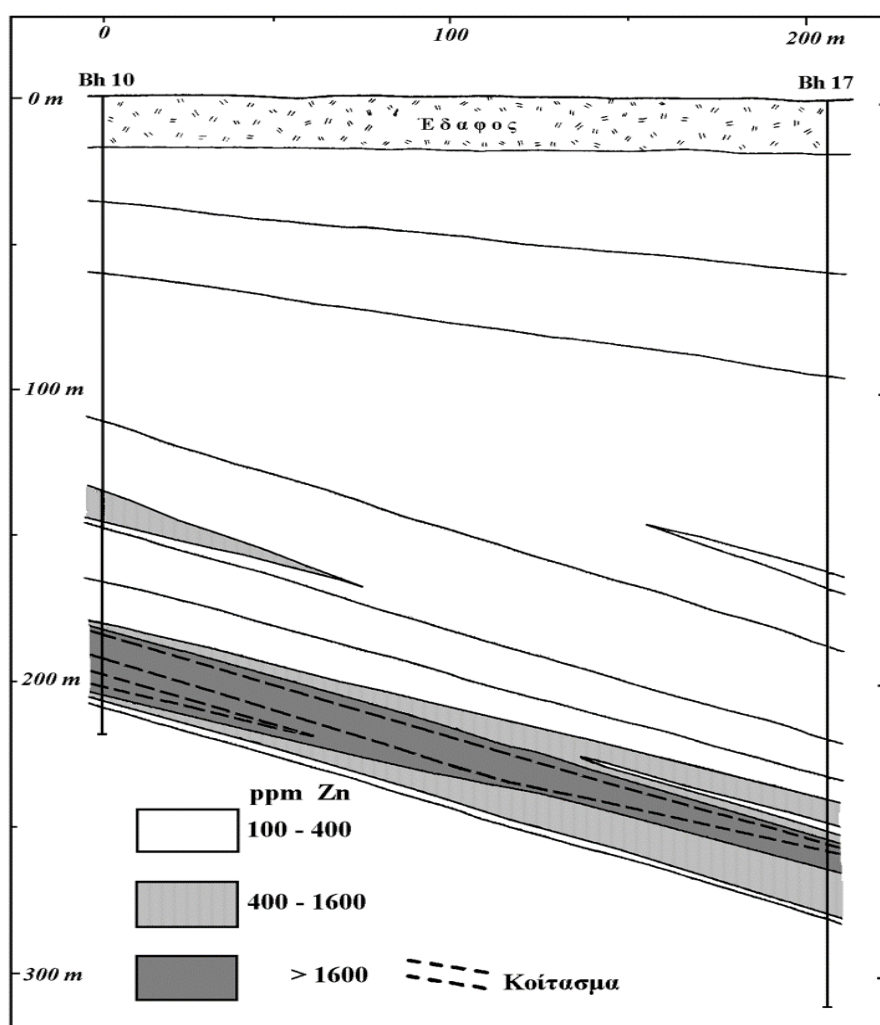
Σχήμα 7. Δειγματοληψία (a) τυχαία. (b) σε τετραγωνικό κάναβο. (c) σε ορθογώνιο κάναβο. (d) σε κυκλικό κάναβο. (e, f) κατά το τοπογραφικό ανάγλυφο (Σαββίδης, 2012).

2.3.1. Γεωχημεία πετρώματος

Η γεωχημεία σε πετρώματα είναι μια λεπτομερής έρευνα κατά την οποία συλλέγονται δείγματα πετρωμάτων ή ορυκτών που έχουν κάποιο ενδιαφέρον. Η λίθο-γεωχημεία, όπως αλλιώς ονομάζεται, είναι πιο εύκολη σε περιοχές όπου υπάρχουν γεωτρήσεις ή σε περιοχές όπου το πέτρωμα που χρειάζεται να αναλυθεί βρίσκεται στην επιφάνεια. Με βάση αυτά η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να είναι είτε υπόγεια και πολλές φορές σε ένα υγείες κομμάτι του πετρώματος, ενώ άλλες φορές εφαρμόζεται και επιφανειακά σε πετρώματα και ορυκτά τα οποία έχουν επηρεαστεί από επιφανειακές συνθήκες.

Όπως έχει αναφερθεί η γεωχημεία βασίζεται στην διασπορά στοιχείων δεικτών τα οποία θα αναδείξουν κάποιο κοίτασμα (Σχ. 8). Με την γεωχημεία πετρώματος εντοπίζονται διασπορές στο πέτρωμα που περιβάλλει το κοίτασμα. Στο περιβάλλον πέτρωμα τα στοιχεία δείκτες σχηματίζουν συγκεντρικές γεωχημικές ζώνες με διαφορετικές ακτίνες. Η ακτίνα των ζωνών αυτών μπορεί να εκτείνεται από μερικά μετρά έως και χιλιόμετρα ανάλογα με το μέγεθος, το σχήμα, την ορυκτολογική και χημική σύσταση του κοιτάσματος, τις χημικές

ιδιότητες του στοιχείου που αναζητείται, όπως η ευκινησία του, αλλά και ανάλογα με την τεκτονική της περιοχής μελέτης. Με βάση αυτούς τους παράγοντες σχηματίζονται συγκεντρικές ζώνες με διαφορετική περιεκτικότητα η κάθε μια. Η γεωχημεία πετρώματος αναζητά την κεντρική ζώνη η οποία είναι και η αρχική πηγή και έχει τις μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε στοιχεία δείκτες του κοιτάσματος ή της ρύπανσης. Το μέγεθος των δειγμάτων ποικίλει ανάλογα με το στοιχείο ή το μέταλλο που είναι προς αναζήτηση. Έτσι τα δείγματα 1 kg είναι επαρκή για την εξερεύνηση βασικών μετάλλων, αλλά ο ακριβής προσδιορισμός των πολύτιμων μετάλλων, όπως χρυσός, απαιτεί μεγαλύτερα δείγματα, ίσως και 5 kg.



Σχήμα 8. Γεωχημεία πετρώματος-Γεωχημικές ανωμαλίες σε γεωτρήσεις (Bh 10 και Bh 17) στο κοιτάσμα σουλφιδίων (σιδηροπυρίτη, χαλκοπυρίτη, σφαλερίτη) της Rudtjebäcken, Σουηδίας (Frietsch 1972, Φιλιππίδης 2002).

Η γεωχημεία πετρώματος έχει πολλές εφαρμογές αλλά και μερικά προβλήματα που απασχολούν τους γεωλόγους. Μια από τις χρήσεις της λίθο-γεωχημείας είναι ο προσδιορισμός του «ταβανιού», το πάνω μέρος του κοιτάσματος εκεί που έρχεται σε επαφή με το περιβάλλον πέτρωμα καθώς και η εξακρίβωση της κάτω επαφής με το πέτρωμα που το φιλοξενεί. Αυτό είναι χρήσιμο για την μετέπειτα εκμετάλλευση έτσι ώστε ο γεωλόγος να γνωρίζει το ακριβές βάθος και θέση του κοιτάσματος καθώς και τα όρια του. Ακόμα μπορεί να εντοπίσει αλλοιώσεις όπου με μια οπτική επαφή δεν είναι εμφανής στο πέτρωμα. Η γεωχημεία πετρώματος έχει χρησιμοποιηθεί στην αναζήτηση ηφαιστειογενών κοιτασμάτων συμπαγών σουλφιδίων στον Καναδά και στην εξερεύνηση, πλούσιων σε σουλφίδια, επιθερμικών κοιτασμάτων χρυσού, τα οποία συχνά εμφανίζουν ζωνώδη κατανομή των στοιχείων (Heitt et al. 2003). Για τις πολλαπλές χρήσεις αυτής της μεθόδου πρέπει να ληφθεί υπόψη το πρόβλημα που παρατηρείται, κυρίως στην αναγνωριστική δειγματοληψία σε μεγάλες εκτάσεις με ποικιλία πετρωμάτων. Σε τέτοιες περιπτώσεις η ερμηνεία των αποτελεσμάτων που αφορούν την περιεκτικότητα στοιχείων και της διασποράς μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολη. Ορισμένα κοιτάσματα δεν παρουσιάζουν αρχικούς κύκλους διασποράς όπως π.χ. συγγενετικά σουλφίδια σε ιζήματα και ορθομαγματικά κοιτάσματα των στοιχείων της πλατίνας (Φιλιππίδης 2019).

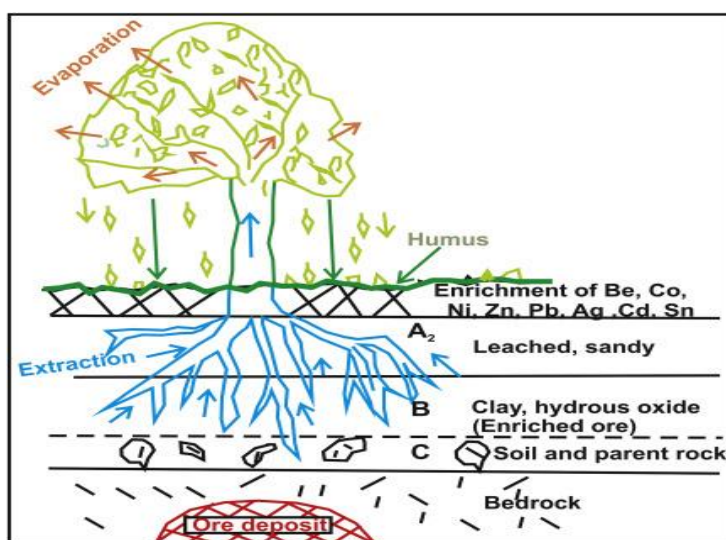
2.3.2. Γεωχημεία βλάστησης

Ένα ακόμα υλικό στο οποίο γίνεται δειγματοληψία και χρησιμοποιείτε από την γεωχημεία είναι η βλάστηση. Τα φυτά κατά την πρόσληψη τροφής και θρεπτικών ουσιών από το υπόβαθρο απορροφούν και χημικά στοιχεία τα οποία επηρεάζουν το φυτό. Έτσι όπως και τα στοιχεία δείκτες που υποδηλώνουν την παρουσία ενός κοιτάσματος υπάρχουν και φυτά δείκτες που εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό, να «μαρτυρούν» την παρουσία στο υπέδαφος κάποιου στοιχείου, που συνδέεται με κοιτάσμα ή με κάποια πηγή ρύπανσης. Η γεωχημεία χρησιμοποιεί τις αναλύσεις σε φυτά με διττό τρόπο, την γεωβοτανική και την βιογεωχημεία.

Η γεωβοτανική αρχικά χρησιμοποιεί την ύπαρξη ή όχι ορισμένου φυτού ή είδους καθώς επίσης την κατάσταση και ορισμένα χαρακτηριστικά τους που μπορεί να υποδηλώνουν την παρουσία ενός συγκεκριμένου πετρώματος ή κοιτάσματος. Η γεωβοτανική είναι η μέθοδος που χρησιμοποιεί τα φυτά δείκτες. Το πιο διάσημο από αυτά είναι το μικρό μωβ χάλκινο λουλούδι της Ζάμπιας Ζώνης Χαλκού, το *Becium homblei*. Γενικά, αυτό το φυτό απαιτεί περιεκτικότητα σε χαλκό του εδάφους 50-1600 ppm Cu για να ευδοκιμήσει, συνθήκες που είναι δηλητηριώδεις για τα περισσότερα φυτά (Reedman 1979). Τα φυτά δείκτες που χρησιμοποιούνται ευρέως ονομάζονται παγκόσμιοι δείκτες ενώ εάν χρησιμοποιούνται για

συγκεκριμένα γεωγραφικά όρια ονομάζονται τοπικοί δείκτες. Τα φυτά δείκτες δεν είναι πάντα αξιόπιστα, διότι μια έρευνα έδειξε ότι μπορούν να ανθίσουν και κάτω από άλλες συνθήκες χωρίς την παρουσία μετάλλων στο υπέδαφος. Η πιο αξιόπιστη μέθοδος για την εύρεση μετάλλων μέσω φυτών είναι η χλώρωση (κιτρίνισμα) το οποίο είναι ιδιαίτερα επιδεκτικό μέσο της τηλεπισκόπησης. Ωστόσο αυτή είναι μια πολύ ακριβή μέθοδος και δεν χρησιμοποιείται συχνά.

Η βιογεωχημεία από την άλλη χρησιμοποιεί αναλύσεις για να προσδιορίσει την περιεκτικότητα ορισμένων φυτών σε χημικά στοιχεία (Σχ. 9). Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο από την γεωβοτανική και ιδιαίτερα στα δάση του βόρειου Καναδά και της Σιβηρίας όπου η επιφανειακή δειγματοληψία είναι δύσκολη. Οι χημικές αναλύσεις γίνονται συνήθως σε τμήματα δέντρων ή φυτών που έχουν αποτεφρωθεί και χρησιμοποιείτε η σταχτή τους (Φιλιππίδης 2019). Η περιεκτικότητα στοιχείων στα φυτά έχει μια διακύμανση μέσα στον χρόνο και εξαρτάται από το είδος και την εποχή. Αυτό περιορίζει την δειγματοληψία χρονικά. Τα δείγματα που λαμβάνονται είναι από συγκεκριμένο είδος φυτού και από συγκεκριμένα μέρη του όπως κλαδιά και φύλλα πρώτου και δευτέρου έτους. Ένα ακόμα πλεονέκτημα της βιογεωχημείας είναι ότι οι ρίζες των φυτών μπορεί να φτάσουν έως πολύ βαθιές ορίζοντες και να πάρουν χημικά στοιχεία από μεγάλο βάθος που δεν είναι εύκολα προσβάσιμο.



Σχήμα 9. Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας εξέλιξης φυτών και πρόσληψη στοιχείων (Halдар 2018).

2.3.3. Γεωχημεία αέριων

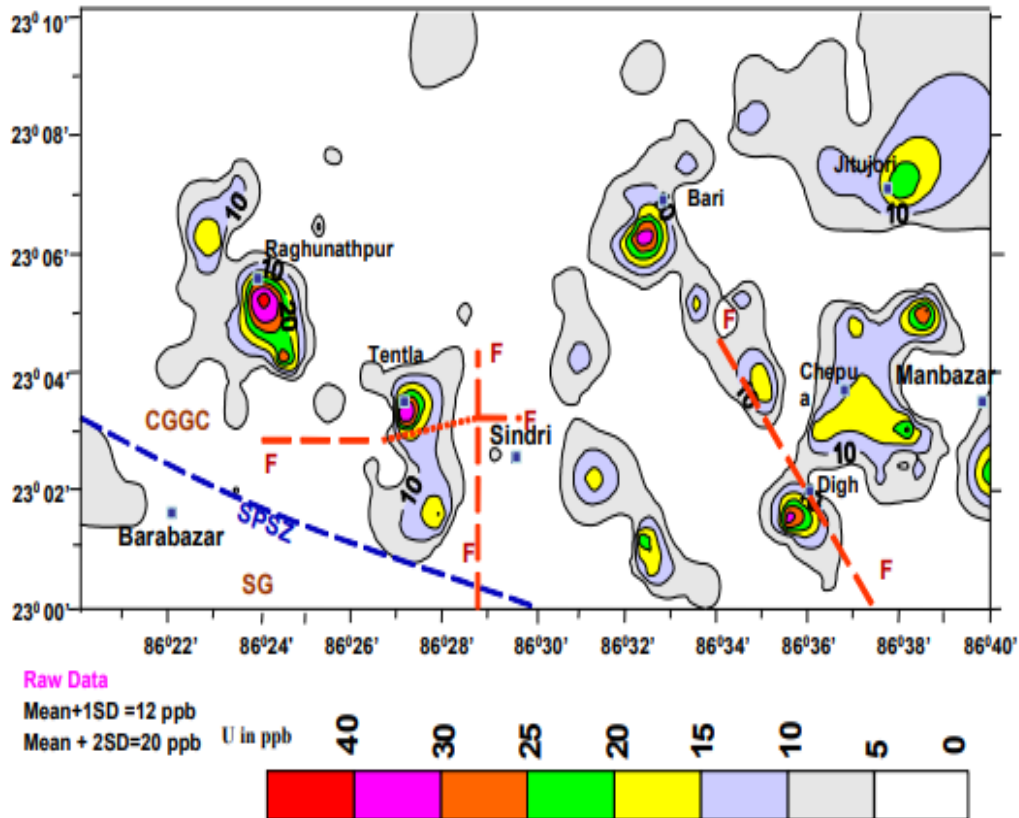
Η επόμενη μέθοδος δειγματοληψίας είναι ένα ελκυστικό μέσο δειγματοληψίας καθώς τα αέρια μπορούν να διαπεράσουν εύκολα τα υπερκείμενα πετρώματα ανεξάρτητα το πάχος τους.

Όπως τα στοιχεία δείκτες (παράγραφος 1.3.2.) και τα φυτά δείκτες (παράγραφος 2.3.4.) έτσι και σε αυτή την μέθοδο υπάρχουν αέρια που δείχνουν την παρουσία ενός κοιτάσματος ή ρύπανσης στην περιοχή μελέτης. Τα αέρια συστατικά προκύπτουν από οξείδωση των πετρωμάτων, ραδιενεργό διάσπαση, ηφαιστειογένεση και από πηγες ρύπανσης. Οι αναλύσεις γίνονται σε αέρια της ατμοσφαιράς ή σε αέρια που είναι εγκλωβισμένα στο έδαφος και τα νερά, είτε υπόγεια είτε επιφανειακά. Μια μέθοδος που ξεκίνησε από την Σκανδιναβία είναι η χρήση ειδικά εκπαιδευμένων σκυλιών.

Η μέθοδος αυτή αντιμετωπίζει πολλά προβλήματα και για αυτό δεν χρησιμοποιείται συχνά. Αρχικά λόγω μεταβολών στις περιβαλλοντικές συνθήκες, ιδιαίτερα αλλαγές στη βαρομετρική πίεση και τις βροχοπτώσεις, παρατηρούνται μεγάλες διακυμάνσεις στη συγκέντρωση αέριων. Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίζουν οι γεωλόγοι σε αυτήν την μέθοδο είναι στην περίπτωση όπου αναζητούν γεωχημικές ανωμαλίες από κάποιο κοίτασμα αλλά παράλληλα στην περιοχή υπάρχει ρύπανση. Αυτό μπορεί να συμβεί και αντίθετα, με αποτέλεσμα να παρερμηνευθούν τα αποτελέσματα από τις αναλύσεις. Ακόμα η μέθοδος αυτή παρουσιάζει αδυναμία σε περιοχές με εύκρατο κλίμα καθώς εκεί η διασπορά επισκιάζεται από την παρουσία των υπογείων νερών.

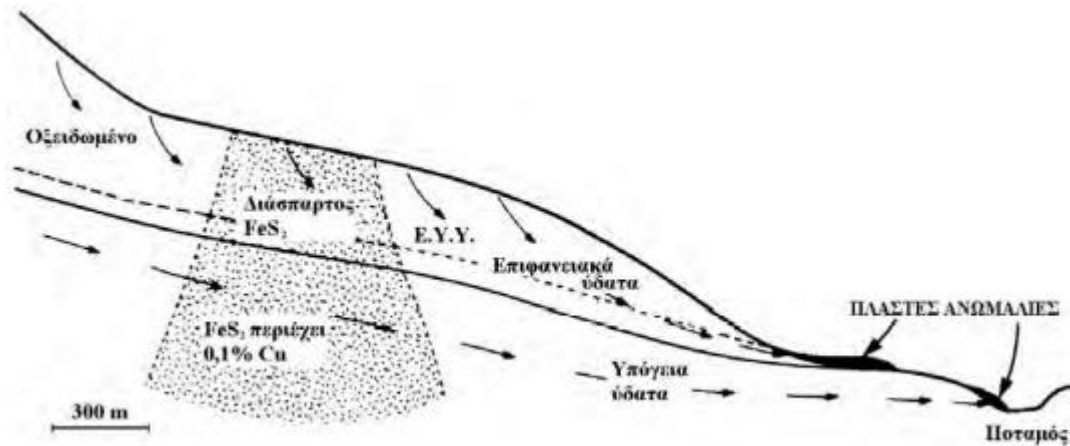
2.3.4. Υδρογεωχημεία

Ένα ακόμα μέσο δειγματοληψίας που χρησιμοποιεί η γεωχημεία και συγκεκριμένα ο κλάδος της υδρογεωχημείας είναι το νερό. Το νερό είναι το πιο ευρέως διαθέσιμο υλικό για λείψει δειγμάτων για την γεωχημεία, είτε επιφανειακό είτε υπόγειο νερό. Η μέθοδος της γεωχημείας υδάτων χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου η δειγματοληψία άλλων υλικών, όπως έδαφος, είναι αδύνατη. Μια πολύ σημαντική απαίτηση της γεωχημείας υδάτων είναι η γεωλογική γνώση της περιοχής μελέτης επειδή ότι τυχόν ασυνέχειες, ρήγματα, στρώσεις, διακλάσεις, επαφές πετρωμάτων μπορεί να επηρεάσουν την πορεία του νερού και να το εμπλουτίσουν σε χρήσιμα συστατικά. Έτσι ένα νερό με κανονικές τιμές μετάλλων μέσω ενός ρήγματος μπορεί να έρθει σε επαφή με ένα κοίτασμα και να εμπλουτιστεί σε μέταλλα. Με αυτόν τον τρόπο συνδυάζοντας την υδρογεωχημεία και την τεκτονική μπορεί ο γεωλόγος να εντοπίσει το κοίτασμα. Πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την έρευνα ότι τα υπόγεια ύδατα τις περισσότερες φορές έχουν αυξημένη συγκέντρωση σε στοιχεία, από τα επιφανειακά νερά, και αυτό οφείλεται στην μικρότερη τιμή του pH, που κάνει τα στοιχεία πιο ευδιάλυτα. Τα χημικά στοιχεία δημιουργούν διασπορά στα ύδατα καθώς και κύκλους διασποράς με αυξημένες τιμές περιεκτικότητας προς το κοίτασμα (Σχ. 10).



Σχήμα 10. Γεωχημικός χάρτης με αποτελέσματα από υδρογεωχημεία ουρανίου στην περιοχή Barabazar-Manbazar, περιοχή Purulia (Dwivedi et al. 2008).

Αν και το νερό είναι το πιο εύκολα διαθέσιμο υλικό για δειγματοληψία η υδρογεωχημεία περιορίζεται σε πολύ συγκεκριμένες συνθήκες. Αρχικά ο γεωλόγος πρέπει να λάβει υπόψη του ότι δεν είναι όλα τα στοιχεία το ίδιο διαλυτά στο νερό καθώς εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τις καιρικές συνθήκες, το pH, των νερών, όπως αναφέρθηκε, και την εύκολη μόλυνση των υδάτων από ανθρώπινες δραστηριότητες. Η περιεκτικότητα των υδάτων παρουσιάζει διακυμάνσεις κατά την διάρκεια του χρόνου και επηρεάζεται κυρίως από τις βροχοπτώσεις αλλά και από την αλλαγή των εποχών. Ένα ακόμα πρόβλημα που μπορεί να παραπλανήσει την ερευνα είναι η πλάστες ή ψεύτικες γεωχημικές ανωμαλίες. Όπως και στην γεωχημεία εδαφών (παρ. 2.3.5.) τα υπόγεια νερά μπορεί να έρχονται σε επαφή με ένα κοίτασμα, να εμπλουτίζονται από αυτό με στοιχεία δείκτες και να συνεχίζουν την πορεία τους μεταφέροντας τα χρήσιμα στοιχεία μακριά από το κοίτασμα, δημιουργώντας έτσι μια «εικονική» ανωμαλία (Σχ. 11).



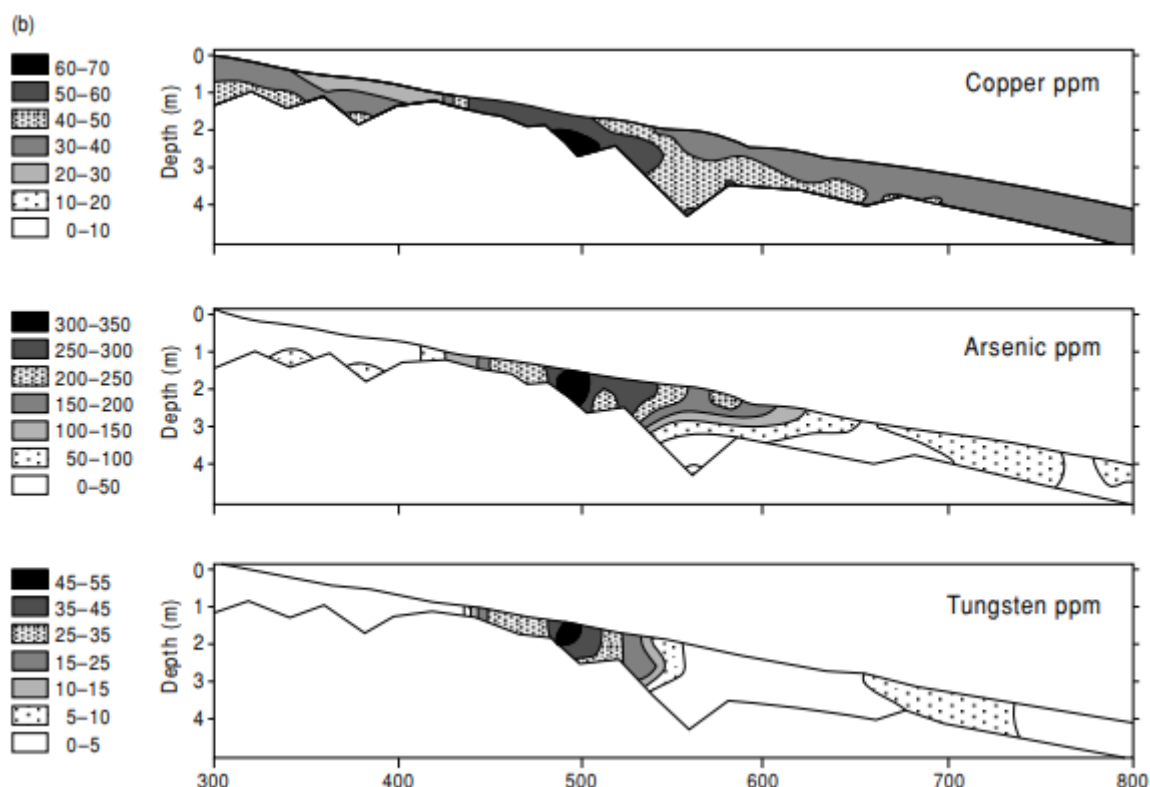
Σχήμα 11. Πλαστές γεωχημικές ανωμαλίες που δημιουργήθηκαν με την μεταφορά μετάλλων από επιφανειακά και υπόγεια ύδατα. (Levinson 1974, Φιλιππίδης 2002)

2.3.5. Γεωχημεία εδαφών

Ένα σημαντικό και πολύπλοκο κομμάτι της γεωχημείας είναι η διασπορά χημικών στοιχείων στα υπερκείμενα εδάφη. Έτσι όπως συμβαίνει και στην γεωχημεία πετρώματος και υδάτων τα στοιχεία σχηματίζουν συγκεντρικές ζώνες στο υπερκείμενο πέτρωμα δημιουργώντας δευτερογενής διασπορές σε αυτό. Οι ζώνες αυτές είναι παρόμοιες και στην γεωχημεία πετρώματος και υδάτων και εδαφών καθώς έχουν την μεγαλύτερη περιεκτικότητα προς το κοίτασμα. Αυτές οι ανωμαλίες απεικονίζονται σε γεωχημικούς χάρτες και χαράσσονται οι ισοχημικές καμπύλες, οι οποίες είναι καμπύλες με ίση συγκέντρωση σε κάποιο στοιχείο. Η δειγματοληψία γίνεται με βάση κάποιον κάναβο. Ανάλογα με το είδος του υπερκείμενου εδάφους διαφοροποιείτε και η μέθοδος δειγματοληψίας. Έτσι εάν το έδαφος είναι σταθερό και αντικατοπτρίζει το υπέδαφος είναι η ασφαλής περίπτωση ενώ εάν το υπερκείμενο έχει μετακινηθεί από άλλη θέση τότε η κατάσταση γίνεται πιο πολύπλοκη.

Όταν το έδαφος δεν έχει μετακινηθεί τότε η δειγματοληψία γίνεται επιφανειακά και είναι μία σχετικά εύκολη διαδικασία ερμηνείας. Η δομή του εδάφους πρέπει να είναι γνωστή από πριν έτσι ώστε να ξέρει γεωλόγος από ποιο στρώμα θα ληφθεί το δείγμα διότι υπάρχουν διάφορες μεταξύ των στρωμάτων. Το δείγμα που συλλέγεται πρέπει να είναι βάρους 100-200 g και από βάθος 30 cm για τα εύκρατα εδάφη και για απλά μέταλλα, ενώ σε αλλιά κλίματα όπου η ανάλυση αφορά την εύρεση χρυσού, τα δείγματα θα πρέπει να είναι βάρους 500 g έως 2 kg. Η απόσταση μεταξύ της μιας θέσης δειγματοληψίας με την άλλη εξαρτάται από το κοίτασμα το οποίο είναι προς αναζήτηση αλλά και με βάση την τοπογραφία της περιοχής. Έτσι διαφορετική δειγματοληψία θα πραγματοποιηθεί σε μια πεδιάδα και διαφορετική σε μια ορεινή

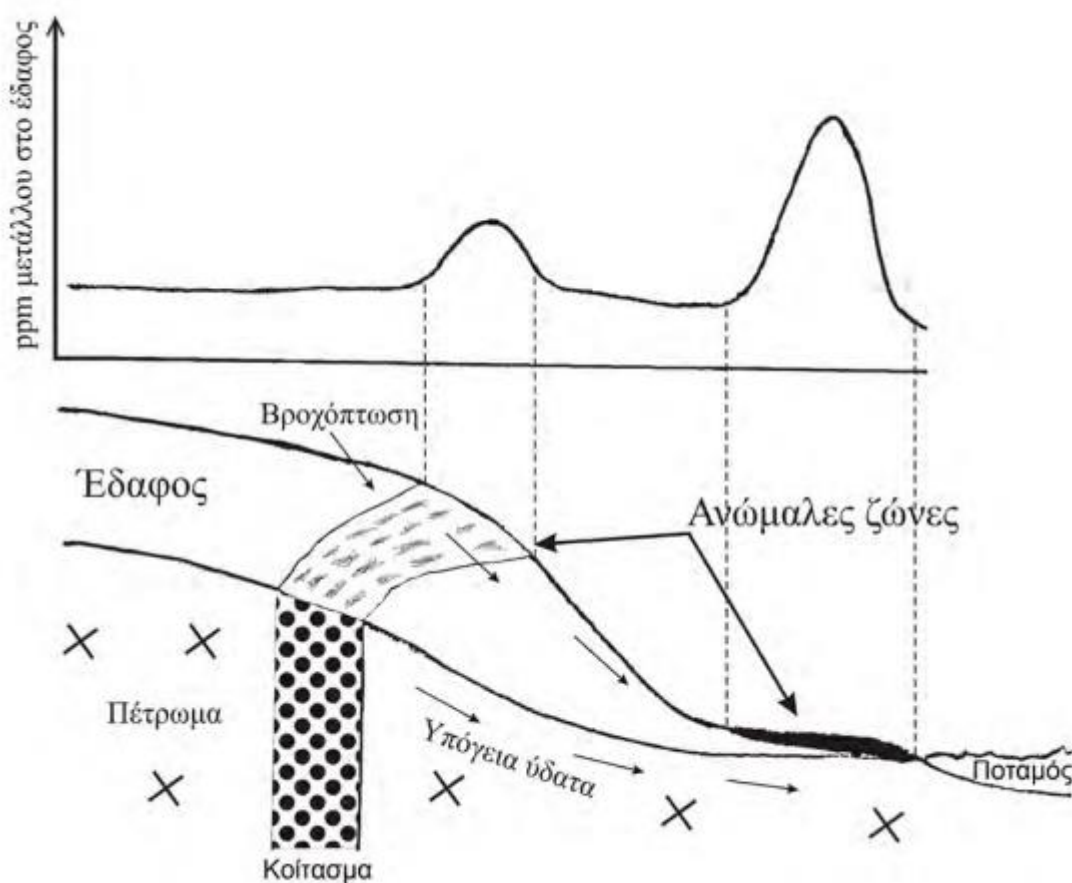
περιοχή με απότομες πλάγιες. Ένας ακόμα παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την δειγματοληψία είναι τα χαρακτηρίστηκα του στοιχείου που αναζητάτε. Όπως φαίνεται στο (Σχ. 12) για διαφορετικά στοιχεία η διασπορά είναι διαφορετική και αυτό φαίνεται από τις συγκεντρώσεις και τις ισοχημικές καμπύλες. Μια ακόμα περίπτωση είναι αυτή με την παρουσία στο έδαφος διαφορετικών στρωμάτων. Σε μια τέτοια περίπτωση η διασπορά θα είναι διαφορετική σε κάθε στρώμα, με πάντα την μεγαλύτερη να είναι στο στρώμα που είναι σε επαφή με το κοίτασμα.



Σχήμα 12 διασπορά διαφορετικών στοιχείων με διαφορετικές κινητικότητες (βολφραμίου, του χαλκού και του αρσενικού) σε υπερκείμενο έδαφος του γρανίτη Leinster στην Ιρλανδία (Evans 1995).

Η δεύτερη περίπτωση, η οποία είναι και πιο πολύπλοκη είναι η δειγματοληψία από εδάφη τα οποία έχουν μετακινηθεί από την αρχική τους θέση. Τέτοιες περιπτώσεις είναι όταν υπάρχουν παγετώνες (περιοχή Canadian Shield), σε αμμώδης ερήμους όπου επικρατεί μηχανική μετακίνηση, σε περιοχές όπου συμβαίνει λατεριτώση καθώς και σε περιοχές όπου επικρατεί το χαλίκι. Σε αυτές τις περιοχές το υπερκείμενο έδαφος δεν αντικατοπτρίζει την πραγματικότητα αλλά δημιουργεί πλάστες ανωμαλίες (Σχ. 13). Καλό θα ήταν σε τέτοιες περιπτώσεις πριν την έναρξη της δειγματοληψίας ο γεωλόγος να μελετήσει τις υδρογεωλογικές, τεκτονικές, στρωματογραφικές, ορυκτολογικές, πετρολογικές και γεωχημικές συνθήκες της περιοχής. Σε περιοχές όπου η μετακίνηση είναι μιας περιόδου τότε

είναι σχετική εύκολη η λύση του προβλήματος, σε περιοχές όπου η μετακινήσεις είναι διαφορετικών, όμως γνωστών περιόδων, τότε η έρευνα του κοιτάσματος είναι σαφώς πιο δύσκολη ενώ εάν δεν είναι γνωστές οι περίοδοι των μετακινήσεων τότε η ανακάλυψη του κοιτάσματος είναι εξαιρετικά δύσκολη.



Σχήμα 13. πλάστες γεωχημικές ανωμαλίες λόγω μετακίνησης εδάφους (Levinson 1974, Φιλιππίδης 2002)

Η δειγματοληψία σε περιοχές όπου τα εδάφη έχουν μετακινηθεί γίνεται σε διαφορετικό βάθος και με διαφορετικό τρόπο. Σε παγετώδεις περιοχές το έδαφος, δηλαδή ο παγετώνας, σπάνια αντανακλά το υπόβαθρο. Σε αυτή την περίπτωση η δειγματοληψία γίνεται σε αρκετά μεγάλο βάθος και με διάτρηση. Σε άλλη περίπτωση, σε αμμώδεις περιοχές όπου το νερό είναι ελάχιστο, τα υλικά είναι της τάξης των 80 mesh και εμπλουτίζεται συνέχεια από καινούργιο υλικό μέσω του αέρα. Σε αυτές τις περιοχές η δειγματοληψία γίνεται σε χονδροειδές κλάσμα (π.χ. 2-6 mm) είτε σε αργίλους που αντιπροσωπεύουν τοπικά την περιοχή.

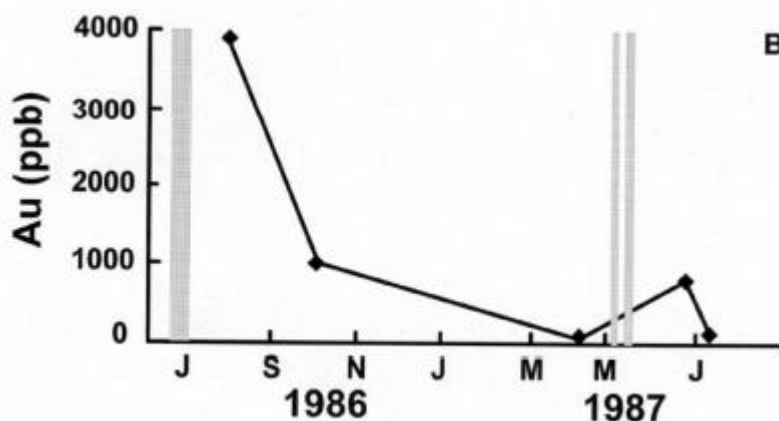
2.3.6. Γεωχημεία ιζημάτων

Η δειγματοληψία ιζημάτων είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος παγκόσμιος για περιοχές όπου βρίσκονται κάτω από την επίδραση εντόνων καιρικών συνθηκών. Είναι μια τεχνική για τον εντοπισμό περιοχών με υψηλό ορυκτό δυναμικό. Ακόμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παρακολούθηση της ποιότητας του περιβάλλοντος. Το ίζημα το οποίο συλλέγεται είναι σύνθετο προϊόν το οποίο έχει υποστεί διάβρωση, μεταφορά καθώς και τις καιρικές συνθήκες της εν λόγω περιοχής, έχει μεταφερθεί στην κοίτη του ποταμού και αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα όλης της λεκάνης απορροής. Οι λήψη δειγμάτων γίνεται από κοίτες ποταμών, λίμνες, ρυάκια, βάλτους, από τον βυθό της θάλασσας αλλά και από πλημμυρικές πεδιάδες ποταμών. Η πιο συνηθισμένη δειγματοληψία γίνεται σε ιζήματα ποταμών, ενώ σε περιοχές του βορείου Καναδά και της Σκανδιναβίας, όπου υπάρχουν παγετώνες, η πρόσβαση στα ποτάμια είναι πολύ δύσκολη και για αυτό τα δείγματα λαμβάνονται από τις μικρές λίμνες που σχηματίζονται και είναι προσβάσιμες μέσω αέρα (ελικόπτερα). Η μέθοδος αυτή έχει πολλά πλεονεκτήματα καθώς είναι πολύ απλή στην εκτέλεση της, είναι οικονομική και έχει μεγάλο βαθμό επιτυχίας ακόμα και αν δεν εκτελείτε πολύ σωστά.

Η μέθοδος αυτή ανάλογα με τον στόχο που έχει τεθεί στην έρευνα προσανατολισμού υπάρχουν και διαφορετικές παράμετροι. Έτσι η μελέτη διαφοροποιείτε εάν στόχος της έρευνας είναι βαριά μέταλλα, όπως ο χρυσός, σε σχέση με την έρευνα για απλά μέταλλα που κατανέμονται πιο ομαλά. Στην περίπτωση που η αναζήτηση αφορά απλά μέταλλα τότε το δείγμα που θα ληφθεί μπορεί να είναι μέχρι και 500 g, ενώ για βαριά μέταλλα λόγω της ασταθούς κατανομής θα έπρεπε να είναι μεγαλύτερα δείγματα. Ένας ακόμα στόχος που επηρεάζει την έρευνα προσανατολισμού είναι το στοιχείο το οποίο αναζητείτε. Ανάλογα με το στοιχείο αλλάζει και η κινητικότητα που έχει, έτσι ώστε άλλα στοιχεία να μπορούν να μετακινηθούν μακριά από την αρχική πηγή ενώ αλλά να είναι δυσκίνητα και να μένουν κοντά στο κοίτασμα χωρίς να έχουν μεγάλη διασπορά. Μια ακόμα παράμετρος που καθορίζεται στην έρευνα προσανατολισμού είναι η πυκνότητα της δειγματοληψίας αλλά και οι ακριβείς θέσεις που θα γίνει αυτή.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη δειγματοληψία και γενικά την έρευνα μπορεί να είναι και εξωτερικοί. Ένας κύριος παράγοντας είναι η μελέτης της ευρύτερης περιοχής πριν την δειγματοληψία. Αυτό γίνεται για να αποφευχθούν δείγματα τα οποία είναι κοντά σε δρόμους, σε βιομηχανίες σε αγροκτήματα και σε άλλες πηγές μόλυνσης. Με αυτόν τον τρόπο ο γεωλόγος θα γνωρίζει την πιθανότητα οι αυξημένες συγκεντρώσεις σε ορισμένα στοιχεία να προέρχονται από τις πηγές που μόλις αναφέρθηκαν και επηρεάζουν της αναλύσεις και τα αποτελέσματα

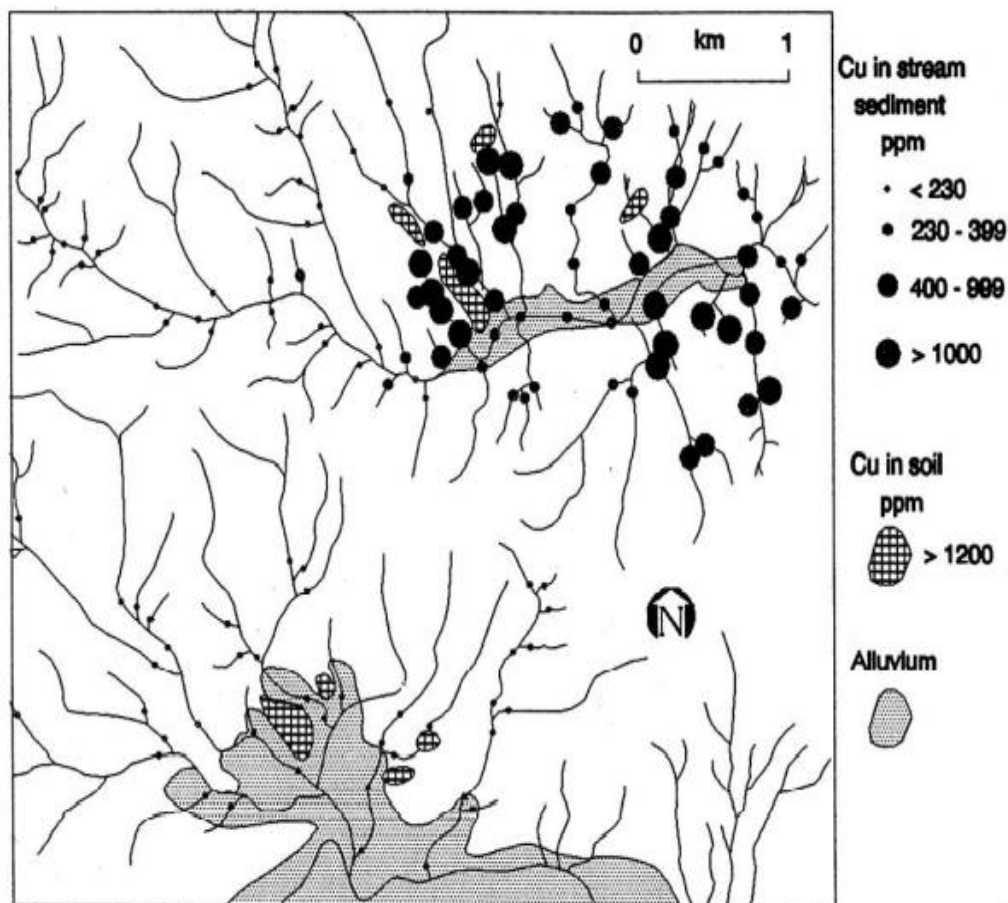
τους. Μια ακόμα παράμετρος που έχει επιπτώσεις στη δειγματοληψία κυρίως είναι η εποχιακές μεταβολές. Η δειγματοληψία καλό θα ήταν να πραγματοποιείτε σε περιόδους μετά από πλημμυρικά συμβάντα ή σε χρονικές περιόδους στις αρχές του καλοκαιριού όπου ξεκινάει το λιώσιμο του χιονιού (Σχ. 14). Αυτό συμβαίνει διότι αμέσως μετά την πλημμυρική περίοδο τα μέταλλα είναι στην επιφάνεια της κοίτης του ποταμού και είναι πιο εύκολα ανιχνεύσιμα. Μετά το πέρας ορισμένου χρόνου αυτά καλύπτονται από αλλά ιζήματα και χώματα που μεταφέρει το ποτάμι και έτσι δεν μπορούν να ανιχνευθούν εύκολα.



Σχήμα 14. Εποχιακή διακύμανση των συγκεντρώσεων χρυσού στα βαρέα ορυκτά από το Harris Creek, Βρετανική Κολομβία, Ιούλιος 1986 έως Ιούνιος 1987. Οι σκιασμένες περιοχές υποδεικνύουν περιόδους κατά τις οποίες το ρέμα ήταν πλημμυρισμένο (Fletcher and Day 1989)

Το ιδανικό δείγμα θα πρέπει να αντιπροσωπεύει όλα τα μέρη της λεκάνης απορροής εξίσου, έτσι ώστε ένα κοίτασμα οπουδήποτε στη λεκάνη απορροής θα έχει ίσες πιθανότητες να εντοπισθεί. Ο Hawke (1976) επισημοποίησε αυτό το ιδανικό ως ένα μοντέλο που συσχετίζει την πηγή της ανωμαλίας με την περιεκτικότητα σε μέταλλο του ανώμαλου δείγματος και το μέγεθος της λεκάνης απορροής. Το μοντέλο του Hawke ταιριάζει καλύτερα σε μικρά, πρώτης και δεύτερης τάξης ρέματα όπου οι πλαγιές της κοιλάδας και το κανάλι του ρέματος είναι μάλλον στενά συνδεδεμένα. Αντίθετα, το μοντέλο θα γίνεται όλο και πιο αναξιόπιστο καθώς αυξάνεται το μέγεθος της λεκάνης απορροής και οι σύνδεσμοι μεταξύ των πλαγιών της κοιλάδας και της παροχής ιζήματος στο ρεύμα γίνονται πιο περίπλοκοι. Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι το ρέμα είναι αποσυνδεδεμένο από τις πλευρές της κοιλάδας του και το ιζήμα δεν αντιπροσωπεύει πλέον όλα τα μέρη της λεκάνης απορροής εξίσου. Η αποσύνδεση μπορεί να συμβεί στην περίπτωση που υπάρχει αλλουβιακή πλημμυρική πεδιάδα και σε περιόδους αύξησης του όγκου του ποταμού τα υλικά διάβρωσης αποτίθενται στην πλημμυρική πεδιάδα και έτσι ο ποταμός δεν αντιπροσωπεύει εξ ολοκλήρου όλη την λεκάνη απορροής (Σχ.

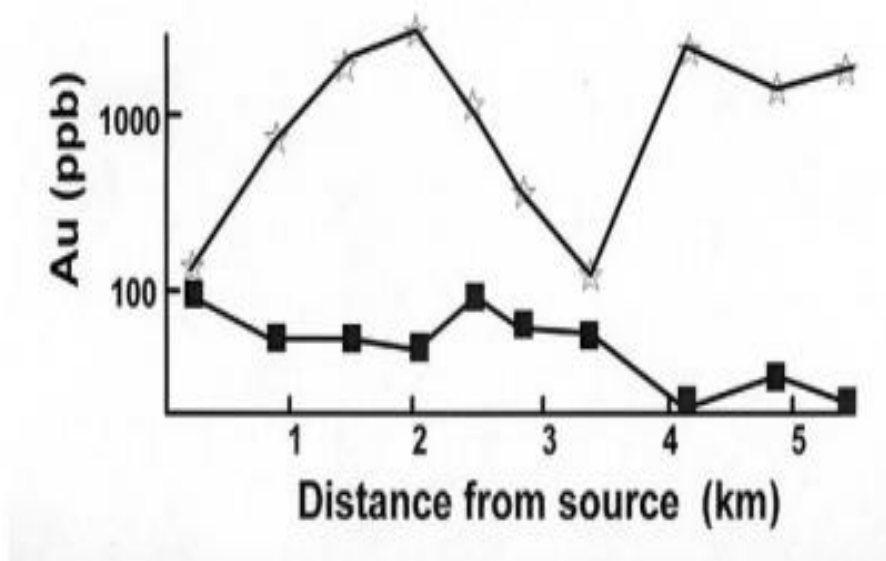
15). Η απλή μέθοδος ισοζυγίου μάζας του Hawke βρίσκει εφαρμογή σε τροπικές περιοχές με έντονες καιρικές συνθήκες αλλά πρέπει να τροποποιείτε με βάση την τοπογραφία και άλλες παραμέτρους της περιοχής.



Σχήμα 15. Διασπορά Cu στην περιοχή Namosi των Φίτζι. Η νότια περιοχή δεν αντανakλάται η γεωχημεία των ιζημάτων του ρέματος λόγω της επίδρασης των προσχώσεων που αποσυνδέει το ρεύμα από το πέτρωμα. (Leggo 1977, Appleton and Ridgway 1994)

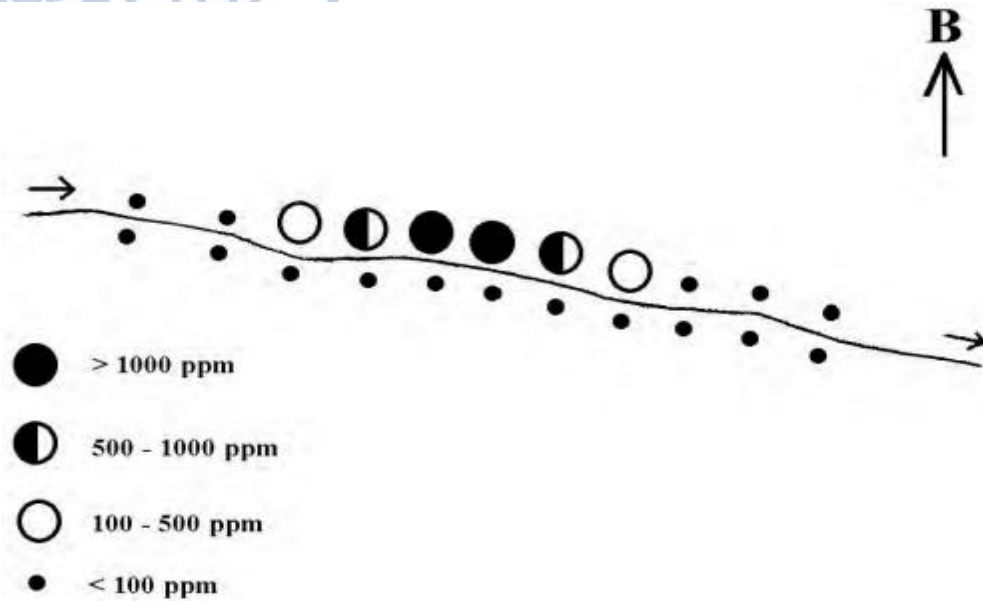
Μέσα σε ένα ποτάμι το μέγεθος των κόκκων μεταβάλλεται κατά το πλάτος τους αλλά και όσο απομακρύνονται οι κόκκοι προς τα κατάντη. Τα υλικά που προέρχονται από τις διαδικασίες διάβρωσης και αποσαθρώσεις αποτίθενται με κατεύθυνση την ροή του ποταμού, με πρώτα τα χονδρόκοκκα και στην συνέχεια τα λεπτόκοκκα. Ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων αλλά και με την ταχύτητα ροής του νερού τα υλικά πραγματοποιούν διάφορες κινήσεις στον πυθμένα του ποταμού. Οι πιο μικρή και ελαφριοί κόκκοι μετακινούνται με αναπήδηση ή με αιώρηση και οι πιο μεγάλη κόκκοι με κύλιση στον πυθμένα του ποταμού. Κατά αυτόν τον τρόπο χρήσιμα μέταλλα μπορεί να παγιδευτούν σε διαφορά σημεία του ποταμού και έτσι να δημιουργήσουν γεωχημική ανωμαλία που στην συνέχεια θα οδηγήσει τον γεωλόγο στην

εύρεση του κοιτάσματος. Τέτοιες περιοχές που παγιδεύονται μέταλλα μπορεί να είναι πίσω από μεγάλους ογκολίθους στον πυθμένα του ποταμού, σε περιοχές του ποταμού όπου μειώνεται η ταχύτητα ροής του και έτσι αποτίθενται υλικά, στις ρίζες φυτών στις όχθες του ποταμού αλλά και στην πλημμυρική πεδιάδα όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος. Σε περιοχές όπου η δειγματοληψία είναι δύσκολο να πραγματοποιηθεί μετά από ένα πλημμυρικό γεγονός γίνεται δειγματοληψία από τα φυτά στις όχθες των ποταμών όπου παγιδεύονται χρήσιμα συστατικά (Σχ. 16).



Σχήμα 16. Διασπορά χρυσού σε φυτά στις όχθες των ποταμών και ιζήματα ρεμάτων στο McKay Creek, Mount Washington, British Columbia. Τα αστεράκια δείχνουν την συγκέντρωση στα φυτά και τα μαύρα τετράγωνα την αντίστοιχη συγκέντρωση στα ιζήματα ποταμών (Matysek 1989).

Μια γεωχημική ανωμαλία σε ποτάμια ιζήματα επηρεάζεται από πολλές μεταβλητές. Αρχικά η αλλαγή κλίσης επηρεάζει την ταχύτητα ροής του νερού και κατ' επέκταση την απόθεση των υλικών που αυτό μεταφέρει. Έτσι σε κατηφορικές περιοχές αναμένονται ανωμαλίες μετάλλων με μεγάλο ειδικό βάρος. Ακόμα σημαντικό ρόλο παίζει και η χημεία του νερού, δηλαδή το pH του που μπορεί να οφείλεται σε κάποιο πέτρωμα από το οποίο διέρχεται το ποτάμι και εμπλουτίζεται σε στοιχεία. Σε περιπτώσεις όπου η διασπορά παρατηρείται στην μια πλευρά του ποταμού (Σχ. 17), αυτό μπορεί να οφείλεται σε κορήματα που εισέρχονται στο ποτάμι ή σε υπόγεια νερά που διασταυρώνονται με αυτό (Φιλιππίδης 2002).



Σχήμα 17. Η γεωχημική ανωμαλία των πλευρικών ιζημάτων του ποταμού. (Levinson 1974, Φιλιππίδης 2002)

2.4. Ανάλυση δειγμάτων

Το επόμενο στάδιο αφού συλλεχθούν τα δείγματα είναι να γίνει η σωστή προετοιμασία τους και στην συνέχεια να πάνε στο εργαστήριο για ανάλυση. Σε αυτό το στάδιο, της ανάλυσης, ο ρόλος του γεωλόγου είναι περιορισμένος διότι δεν ασχολείται με την διαδικασία της ανάλυσης. Οι επεξεργασία των δειγμάτων γίνεται μακριά από τον τόπο όπου συλλέχθηκαν τα δείγματα. Τα εργαστήρια πραγματοποιούν τις αναλύσεις αλλά ως κύριος στόχος τους είναι να αποκομίσουν κέρδος για αυτό τον λόγο πρέπει να υπάρχει ο γεωλόγος να επιβλέπει και να αναγνωρίζει εάν η διαδικασία γίνεται σωστά και να δει αν χρησιμοποιούνται οι σωστές μέθοδοι ανάλυσης. Η χημική ανάλυση στοχεύει στον προσδιορισμό στοιχειακών συγκεντρώσεων σε ένα δείγμα.

2.4.1. Προετοιμασία δειγμάτων

Εφόσον συλλεχθούν τα σωστά δείγματα, σύμφωνα με την αντίστοιχη μέθοδο που έχει επιλεγεί, ακολουθεί η προετοιμασία τους έτσι ώστε να αποσταλούν στο εργαστήριο έτοιμα. Τις περισσότερες φορές η διαδικασία αυτή γίνεται στο ύπαιθρο. Η διαδικασία αυτή πρέπει να γίνεται σωστά διότι μπορεί τα δείγματα να αλλοιωθούν κατά την μεταφορά τους στο εργαστήριο. Για αυτόν τον λόγο αποφεύγεται η χρήση μεταλλικών δοχείων. Καταλληλότερα υλικά για την συλλογή δειγμάτων από εδάφη ή ιζήματα είναι η σακουλές Kraft, όπου δεν επηρεάζουν το δείγμα αλλά μπορούν να τοποθετηθούν και σε φούρνο, για να απομακρυνθεί η

υγρασία που περιέχουν τα δείγματα. Από την άλλη μεριά για δείγματα πετρωμάτων προτιμότερο είναι ένα παχύ πλαστικό ύφασμα. Σε όλα τα δείγματα από έξω πρέπει να συμπληρώνεται η θέση του δείγματος, το υλικό που συλλέχθηκε και η μέρα που έγινε η δειγματοληψία πάντα με μαρκαδόρο χωρίς μεταλλικό μελανί. Τα δείγματα ξηραίνονται είτε στον ήλιο ή σε φούρνο με θερμοκρασία κάτω από 65°C, έτσι ώστε να μην διαφύγουν πτητικά, όπως ο υδράργυρος, που είναι χρήσιμα για την ανάλυση και ερμηνεία των δειγμάτων. Στην συνέχεια γίνεται η διαδικασία του κοσκινίσματος έτσι ώστε το δείγμα να αποκτήσει το κατάλληλο μέγεθος ανάλογα τον στόχο της ανάλυσης αλλά και τις προδιαγραφές του μηχανήματος που θα γίνει η ανάλυση.

2.4.2. Μέθοδοι ανάλυσης

Η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου έχει ήδη αποφασιστεί στην έρευνα προσανατολισμού μέσω διάφορων μεταβλητών. Όπως ήδη αναφέρθηκε η χημικές αναλύσεις στοχεύουν στον προσδιορισμό των στοιχειακών συγκεντρώσεων. Η επιλογή της σωστής μεθόδου λαμβάνει υπόψη πολλούς παράγοντες. Αρχικά είναι η φύση του δείγματος που είναι προς ανάλυση. Διαφορετική μέθοδος ανάλυσης θα γίνει για ένα υγρό δείγμα και άλλη για ένα στερεό. Ακόμα πριν την τοποθέτηση των δειγμάτων στο μηχάνημα ανάλυσης πρέπει να έχει γίνει η σωστή προετοιμασία διότι μερικές συσκευές δεν δέχονται όλων των ειδών τα υλικά. Ανάλογα το κάθε μηχάνημα διαφοροποιείται και το όριο ανιχνευσιμότητας. Όριο ανιχνευσιμότητας είναι η ελάχιστη περιεκτικότητα που μπορεί να ανάλυση και να δώσει αποτέλεσμα το κάθε μηχάνημα. Έτσι εάν τον όριο ανιχνευσιμότητας είναι 20ppm για ένα μηχάνημα δεν είναι δυνατή η χρήση του για δείγμα που περιέχει κάτω από αυτή την περιεκτικότητα. Υπάρχουν και άλλοι περιορισμοί σε διαφορά μηχανήματα που δεν επιτρέπουν την χρήση τους, ανάλογα με τον δείγμα (π.χ. ατομικός αριθμός στο XRF). Μια ακόμα σημαντική παράμετρος είναι και το κόστος της κάθε ανάλυσης. Αυτό επηρεάζεται από το όριο ανιχνευσιμότητας του μηχανήματος, όσο μικρότερο είναι τόσο μεγαλύτερο το κόστος, και από το είδος τις αναλύσεις που πρέπει να γίνει.

Οι διαφορές μεταξύ των μεθόδων ανάλυσης είναι το κόστος, τα όρια ανίχνευσης της ανάλυσης και η ταχύτητα ανάλυσης (Σχ. 18). Στις ανεπτυγμένες χώρες χρησιμοποιούνται φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων X (XRF), φασματοσκοπία επαγωγικού ζεύγους πλάσματος σε συνδυασμό με φασματογράφο μάζας (ICP-MS) και η μέθοδος της φασματομετρίας πλάσματος εκπομπής (ICP-ES). Συνήθως οι δυο τελευταίες μέθοδοι

πραγματοποιούνται συνδυαστικά για πιο ακριβή αποτελέσματα. Οι τρεις μέθοδοι απαιτούν εξαιρετικά εξελιγμένα εργαστήρια, καθαρά χημικά, συνέχεια, μη κυμαινόμενα τροφοδοτικά και άμεσα διαθέσιμο και εξειδικευμένο προσωπικό, χαρακτηριστικά που δεν υπάρχουν πάντα στις αναπτυσσόμενες χώρες. Σε λιγότερο εξελιγμένες χώρες η μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η φασματοσκοπία ατομικής απορρόφησης (AAS) και φασματοσκοπία ενεργοποίησης νετρονίων (NAA). Τα πολύτιμα μέταλλα, της ομάδας του χρυσού και της πλατίνας, μπορούν να αναλυθούν με τις μεθόδους AAS, ICP-ES ή εναλλακτικά NAA σε στερεά δείγματα.

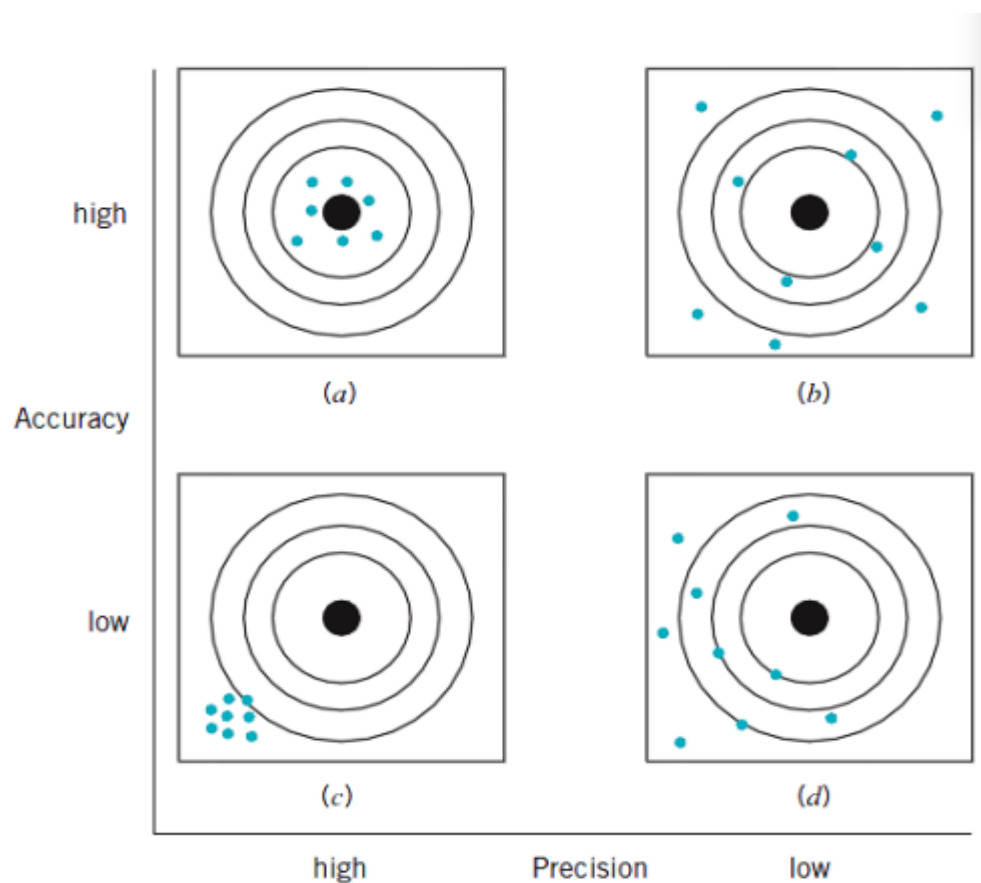
Method	Capital cost \$ (approx.)	Multielement	Precision	Sample type (\$US)	Cost per	comments sample
Colorimetry	8000	No	Poor	Solution	2-10	Good for field use and W, Mo
Atomic absorption spectrophotometry	60,000	No	Good	Solution	1-5	Cheap and precise
X-ray fluorescence	200,000	Yes	Good	Solid	20	Good for refractory elements
ICP-ES	150,000	Yes	Good	Solution	10	Good for transition metals
ICP-MS	150,000-1000,000	Yes	Good	Solution	10	Good for heavy metals. High resolution instruments very low detection limits

Σχήμα 18. Περίληψη των κύριων μεθόδων που χρησιμοποιούνται στην εφαρμοσμένη γεωχημεία (Evans 1995).

2.4.3. Ακρίβεια και πιστότητα αναλύσεων

Ο γεωλόγος με βάση τα αποτελέσματα των αναλύσεων πρέπει να αποφασίσει εάν αυτά είναι σωστά και αντιπροσωπεύτηκα για την έρευνα που κάνει. Ένας τρόπος για τον γεωλόγο να βγάλει συμπεράσματα για την εγκυρότητα της έρευνας είναι η πιστότητα των μετρήσεων (Σχ. 19). Για να είναι η πιστότητα σωστή θα πρέπει υστέρη από επαναλαμβανόμενες αναλύσεις στο ίδιο δείγμα, ανεξάρτητα την μέρα και την ώρα, τα αποτελέσματα να συμπίπτουν. Αυτό όμως δεν αρκεί για έναν γεωλόγο. Μια ακόμα παράμετρος που λαμβάνει υπόψη του ο γεωλόγος είναι εάν η μετρήσεις αντικατοπτρίζουν την πραγματικότητα. Δηλαδή εάν η ανάλυση βγάζει τα ακριβή αποτελέσματα μετά από επεξεργασία των δειγμάτων. Η ακρίβεια ή αλλιώς ορθότητα μιας ανάλυσης εξετάζεται με σύγκριση των δειγμάτων που συλλέχθηκαν με δείγματα γνωστής σύστασης που ονομάζονται υλικά αναφοράς. Τα υλικά αυτά είτε εισάγονται από έξω, αλλά έχουν πολύ υψηλό κόστος ή κατασκευάζονται από το κάθε εργαστήριο. Τέλος

το όριο ανιχνευσιμότητας, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 2.4.2, είναι ακόμα μια παράμετρος που είναι σημαντική για να εκτιμηθεί η αξιοπιστία μιας μεθόδου ανάλυσης. Αυτές οι τρεις μεταβλητές πρέπει να συνδυάζονται έτσι ώστε μια ανάλυση να είναι αξιόπιστη.



Σχήμα 19. Αναπαράσταση πιστότητας (precision) και ακρίβειας (accuracy) (Λεοντή 2017).

2.5. Ερμηνεία αποτελεσμάτων

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων, σε αντίθεση με την ανάλυση των δειγμάτων, είναι μια δουλειά που πραγματοποιεί ο γεωλόγος και είναι το τελευταίο κομμάτι της γεωχημικής έρευνας. Αφού γίνει η ανάλυση των δειγμάτων στο εργαστήριο και ελεγχθούν τα αποτελέσματα για πιστότητα και ακρίβεια (παράγραφος 2.4.3.) πρέπει ο γεωλόγος να βρει τον γρηγορότερο και πιο αποδοτικό τρόπο επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων. Η διαδικασία αυτή έχει γίνει πολύ πιο εύκολη και σε αυτό βοήθησε η εξέλιξη της τεχνολογίας. Επειδή οι αναλύσεις γίνονται σε πολλά στοιχεία και τα δεδομένα που προκύπτουν είναι πάρα πολλά, η ερμηνεία του γίνεται με την χρήση στατιστικών μεθόδων. Τα παλιότερα χρόνια τα δεδομένα από τα εργαστήρια πήγαιναν στον γεωλόγο σε έντυπη μορφή και η διαδικασία επανεισαγωγής των δεδομένων στον υπολογιστή γίνονταν με το χέρι. Αυτή είναι μια χρονοβόρα, δαπανηρή διαδικασία η οποία επιφέρει και πολλά σφάλματα. Στην σύγχρονη

εποχή η λήψη των δεδομένων από τον αναλυτή γίνεται με τη μορφή δισκέτας, CD-ROM ή μέσω διαδικτύου, κάτι που μειώνει το σφάλμα στο ελάχιστο. Στην συνέχεια μεταφέρονται σε μια ηλεκτρονική βάση δεδομένων έτσι ώστε να είναι εύκολα προστάσια.

Ο στόχος του γεωλόγου μέσα από την ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι να εντοπίσει εάν και που υπάρχουν γεωχημικές ανωμαλίες. Οι ανωμαλίες αυτές ορίζονται με τη στατιστική ομαδοποίηση των δεδομένων και τη σύγκριση αυτών με πληροφορίες γεωλογίας και δειγματοληψίας. Το καλύτερο μέσο στατιστικής ομαδοποίησης δεδομένων είναι η γραφική εξέταση με χρήση ιστογραμμάτων και γραφικών πλαισίων (Howarth 1984, Garrett 1989). Αυτό συνδυάζεται με την περιγραφή χρησιμοποιώντας μέτρα κεντρικής τάσης (μέσος όρος ή διάμεσος) και στατιστικής διασποράς (συνήθως τυπική απόκλιση). Εφόσον γίνει η σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από τις αναλύσεις, στην συνέχεια ο γεωλόγος θα πρέπει να χρησιμοποιήσει αυτά τα δεδομένα προς όφελος του. Έτσι θα συνδυάσει την στατιστική ανάλυση των δειγμάτων με την χαρτογράφηση. Με αυτόν τον τρόπο θα δημιουργήσει γεωχημικούς χάρτες στους οποίους θα αναγράφονται πάνω η θέση των γεωχημικών ανωμαλιών, οι κύκλοι διασποράς, οι συγκεντρώσεις και τα στοιχεία από τα οποία αποτελούνται οι κύκλοι διασποράς. Με αυτόν τον τρόπο ο γεωλόγος θα γνωρίζει ποιες είναι οι περιοχές ενδιαφέροντος έτσι ώστε να επικεντρωθεί η έρευνα σε εκείνα τα σημεία.

Ο χρυσός είναι ένα υλικό το οποίο έχει μια πολύ σημαντική θέση στην παγκόσμια αγορά. Αυτό τον καθιστά ένα προϊόν το οποίο είναι εξαιρετικά σημαντικό για τη ανθρωπότητα. Ο άνθρωπος από τα αρχαία χρόνια έχει στηριχθεί στον χρυσό και σπεύδει συνεχώς στην ανακάλυψη νέων κοιτασμάτων. Πάνω στον χρυσό έχουν ανθίσει πολιτισμοί, έχουν ξεσπάσει πολεμικές συγκρούσεις κάτι που δείχνει την σημαντικότητα του χρυσού. Ο χρυσός από την αρχαία εποχή χρησιμοποιούνταν ως είδος πληρωμής λόγω της μεγάλης του αξίας, για την κατασκευή κοσμημάτων αλλά και εργαλείων. Κατά την διάρκεια των αιώνων και με την εξέλιξη της τεχνολογίας βρέθηκαν και άλλες εφαρμογές του χρυσού (π.χ. στην ιατρική). Η μονάδα μέτρησης του είναι το καράτι. Στην φύση ο χρυσός βρίσκεται με πολλές μορφές.

REDUCED INTRUSION-RELATED

OROGENIC

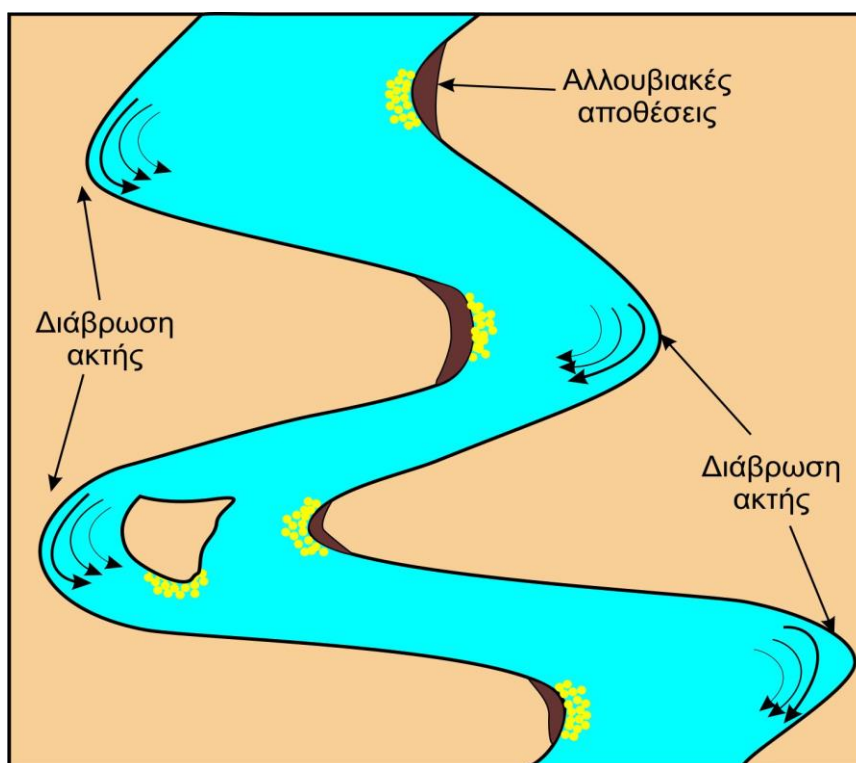
OXIDIZED INTRUSION-RELATED

Ore styles

- Vein
- Sheeted veinlets
- Stockwork-dissem.

Ψηφιακή βιβλιοθήκη Θεόφραστος – Τμήμα Γεωλογίας – Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Οι μέθοδοι αναζητήσεις χρυσού έχουν εξελιχθεί πολύ τα τελευταία χρόνια καθώς το απαιτεί η ζήτηση του προϊόντος καθώς και η οικονομική του αξία. Για κοιτάσματα τα οποία είναι επιφανειακά χρησιμοποιείτε η μέθοδος της γεωχημείας. Αντίθετα για κοιτάσματα που δεν έχουν επιφανειακή αποκάλυψη είναι πιο καλή η χρήση γεωφυσικών μεθόδων. Η καλύτερη λύση όμως είναι ο συνδυασμός αυτών των δυο μεθόδων, μαζί με την γεωλογία έτσι ώστε να παρέχονται τα πιο έγκυρα αποτελέσματα. Η μέθοδος της γεωχημείας, κυρίως η γεωχημεία εδαφών και ιζημάτων, έχει αποτελέσει πολύ αποτελεσματικό τρόπο αναζήτησης χρυσού. Λόγο της μεγάλης αντοχής του χρυσού στις καιρικές συνθήκες καθώς και στην διάβρωση επιτρέπουν την ιχνηλάτηση των κοιτασμάτων μέχρι την αρχική πηγή τροφοδοσίας τους. Η εφαρμοσμένη γεωχημεία είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη κύριος για προσχωματικά κοιτάσματα (Σχ. 21). Μια τεχνική που εφαρμόζεται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι αυτή του “panning” (παράγραφος 3.2). Ακόμη οι μη συμβατικές μέθοδοι γεωχημικής εξερεύνησης γίνονται όλο και πιο σημαντικές καθώς η εξερεύνηση εξελίσσεται σε περιοχές με βαθύτερη κάλυψη. Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί διάφορες νέες τεχνικές οι οποίες εντοπίζουν κυρίως γεωχημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά κοιτασμάτων απομακρυσμένων περιοχών.

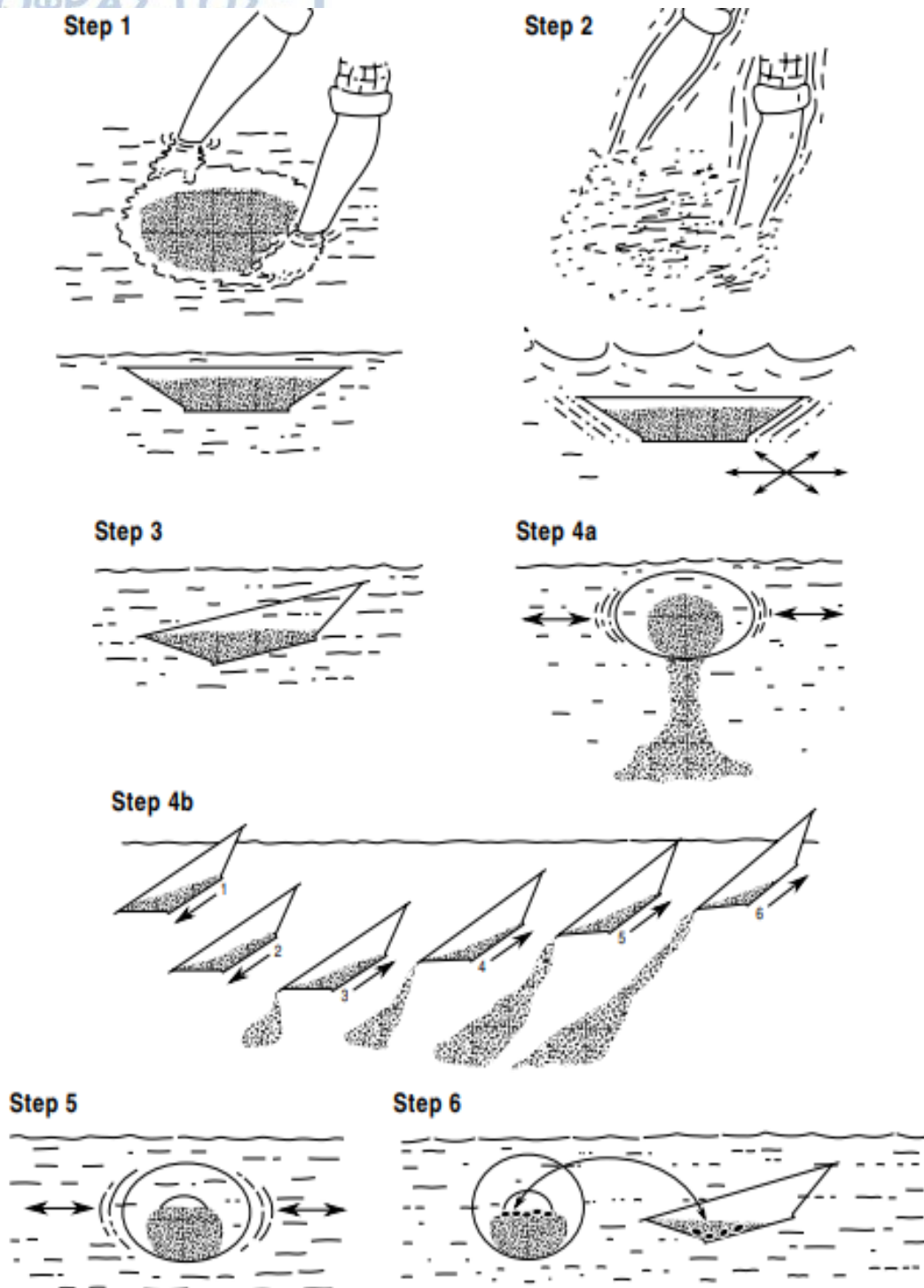


Σχήμα 21. Προσχωματικά κοιτάσματα χρυσού, περιοχές συγκεντρώσεις χρυσού σε ποτάμια (Μέλφος και Βουδούρης 2022).

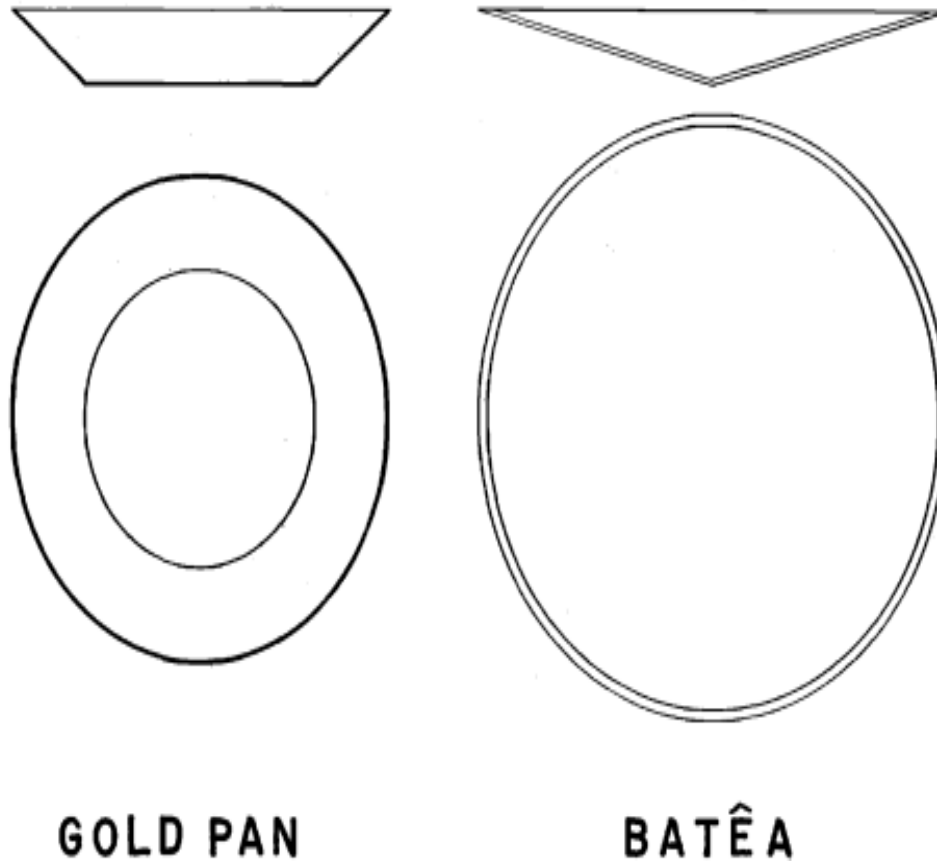
3.2. Τεχνική panning

Μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην εφαρμοσμένη γεωχημεία είναι η χρήση λεκανών για το «κοσκίνισμα» βαρειών ορυκτών με την βοήθεια νερού (Σχ. 21). Αυτή η μέθοδος από πολλούς θεωρείται και τέχνη διότι χρειάζεται αρκετό καιρό προετοιμασία και δοκιμές έτσι ώστε κάποιος να τελειοποιήσει την τεχνική αυτή. Πριν την εφαρμογή της μεθόδου σε περιοχές με άγνωστη περιεκτικότητα γίνονται δοκιμές σε περιοχές όπου η περιεκτικότητα του χρυσού είναι γνωστή. Ακόμα η διαδικασία εκμαθήσεις της τεχνικής μπορεί να γίνει με τοποθέτηση γνωστής ποσότητας και περιεκτικότητας υλικών μέσα στο pan και στο τέλος της δοκιμής το συμπίκνωμα να είναι αυτού που έχει καθοριστεί πριν ξεκινήσει η διαδικασία panning. Αυτή η τεχνική προτάθηκε και χρησιμοποιήθηκε από τον Derby, έναν Αμερικανό γεωλόγο που εργάστηκε για πολλά χρόνια στη Βραζιλία.

Η διαδικασία του panning είναι αρκετά δύσκολη και χρειάζεται συγκεκριμένο εξοπλισμό όμως είναι πολύ αποδοτική. Όπως έχει αποδειχθεί τα δείγματα που συλλέγονται με αυτή την τεχνική είναι πιο αντιπροσωπευτικά και πιο αποδοτικά διότι συλλέγεται ένας μεγάλος αριθμός λεπτοκόκκου δείγματος. Ωστόσο για να πραγματοποιηθεί αυτή η διαδικασία ο γεωλόγος πρέπει να έχει στην διάθεση του μια πληθώρα από συγκεκριμένα εργαλεία και εξοπλισμό για να χρησιμοποιήσει. Αρχικά θα χρειαστεί μια λεκάνη ή αλλιώς pan. Υπάρχουν δυο ειδών λεκάνες η μια είναι η λεγόμενη batea και η άλλη η λεκάνη που χρησιμοποιείται για τον χρυσό, αν και χρησιμοποιούνται και άλλα πιο πρωτόγονης μορφής. Η πρώτη έχει σχήμα κωνικό, κατασκευασμένο από σκληρό ξύλο, όπως για παράδειγμα το μαόνι, διάμετρο περίπου 20 ίντσες και βάθος στο κέντρο από 2 έως 3 ίντσες (Σχ. 22). Το ξύλο προτιμάται από το μέταλλο, επειδή οι ξύλινες λεκάνες είναι φθηνότερες και ελαφρύτερες. Τα pan που χρησιμοποιούνται για χρυσό έχουν διάμετρος στεφάνης 27 cm, διάμετρος βάσης 15 cm, ύψος 5 cm και είναι πλαστικά. Ένα σημαντικό μειονέκτημα των πλαστικών λεκανών είναι ότι οι μαλακές εσωτερικές τους επιφάνειες ξύνονται εύκολα. Οι γρατσουνιές επηρεάζουν αρνητικά την αποτελεσματικότητα διαχωρισμού και μπορεί να οδηγηθεί η διαδικασία σε σφάλματα. Εκτός από την λεκάνη θα χρειαστεί άφθονο νερό για τις εκπλήσεις του λεπτοκόκκου υλικού καθώς και έναν μαγνήτη χειρός. Τις περισσότερες φορές η τεχνική γίνεται με τα χεριά (Σχ. 21), ενώ άλλες χρησιμοποιείται ένα ειδικό τραπέζι Wilfley, όπου σε αυτό πραγματοποιούνται οι εκπλύσεις.



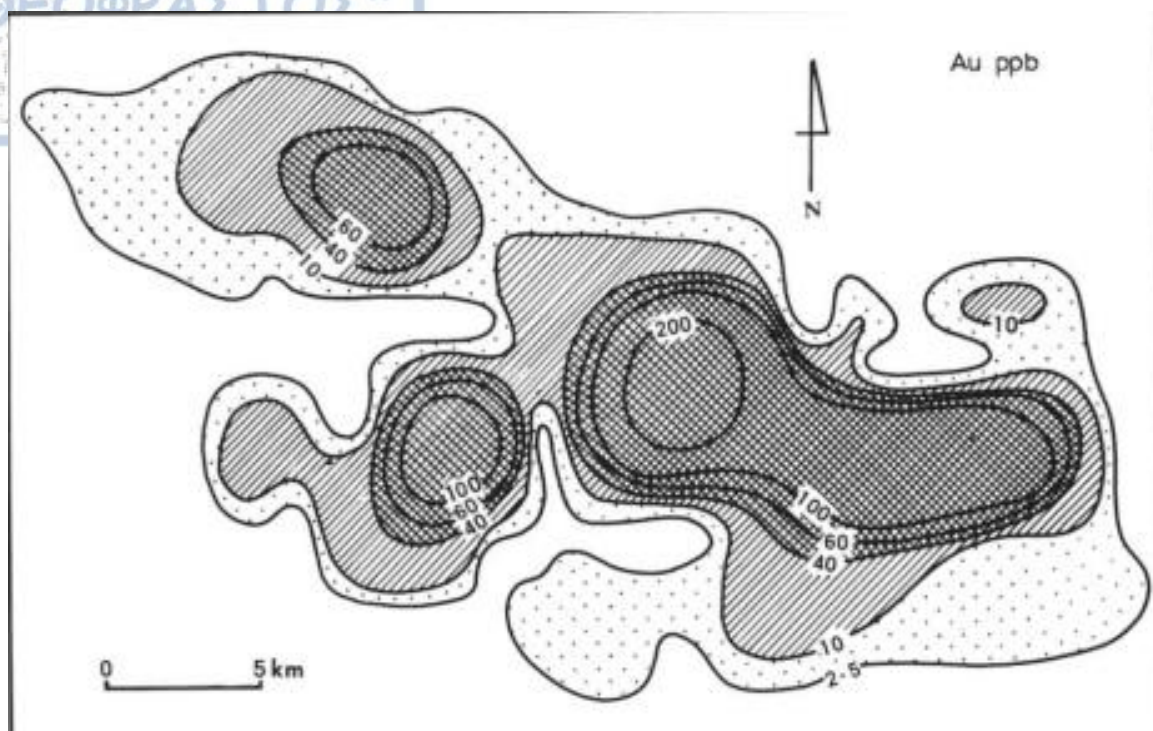
Σχήμα 21. Η διαδικασία rapping. (1) αρχικά τοποθετείται μια ποσότητα από υλικά μέσα στο ran (2) στην συνέχεια πραγματοποιούνται οι εκπλήσσεις με διαδοχική βύθιση στο νερό και ανάδευση (3) έτσι τα βαριά ορυκτά μένουν στον πάτο του ταπιού και πάνω είναι τα λεπτόκοκκα υλικά που δεν έχουν ενδιαφέρον για την έρευνα (4) μετά από συνεχόμενες εκπλήσσεις και πολύ προσεκτική απόρριψη των μη σημαντικών υλικών απομένουν στον πάτο βαριά ορυκτά που είναι και ο στόχος της διαδικασίας όπως χρυσός (Goldspear 1987).



Σχήμα 22. Gold pan/pan για χρυσό 16 ίντσες και ένα batea που χρησιμοποιούν στην Βραζιλία 20 ίντσες (Mertie 1954).

3.3. Το πρόβλημα του χρυσού για την γεωχημεία

Ο χρυσός όπως προαναφέρθηκε βρίσκεται στην φύση με διάφορες μορφές και σε διάφορους τύπους κοιτασμάτων, κάτι που δυσκολεύει τις έρευνες. Το χρηματικό ποσό που διατίθεται για την εξερεύνηση χρυσού μοιράζεται τις περισσότερες φορές ως εξής: για γεωτρήσεις 50%, γεωλογία 28%, γεωφυσική 16% άλλες μέθοδοι συμπεριλαμβανομένων των γεωχημικών μεθόδων 6%. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι για τα γεωχημικά δεν δαπανούνται πολλά χρήματα για την αναζήτηση χρυσού και αυτό λόγω της ιδιαιτερότητας του. Τα μοναδικά γεωχημικά χαρακτηριστικά του χρυσού, δηλαδή το πρόβλημα της αντιπροσωπευτικότητας του δείγματος και της αναλυτικής αναπαραγωγιμότητας που προκαλείται από την άνιση κατανομή των διακριτών σωματιδίων Au στη φύση, είναι αυτά που οδηγούν τους γεωλόγους να μην δίνουν έμφαση στις γεωχημικές μεθόδους. Αν και αυτό το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί με τη συλλογή μεγάλων δειγμάτων, αυτή η προσέγγιση είναι δαπανηρή και άβολη (Σχ. 23).



Σχήμα 23. Γεωχημική ανωμαλία του Au γύρω από το κοίτασμα χρυσού Jiapigou στην επαρχία Jilin (Xuejing and Xueqiu 1991).

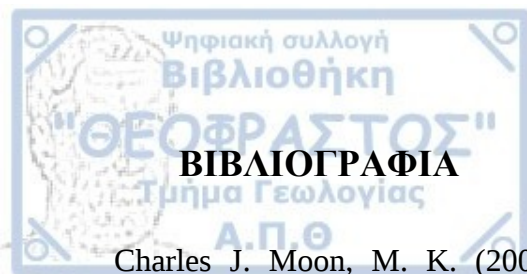
Με την εξέλιξη της τεχνολογίας προσπάθησαν να δοθούν λύσεις στο πρόβλημα τις μη αντιπροσωπευτικότητας του χρυσού. Η αρχική λύση είναι αυτή που αναφέρθηκε πιο πάνω, η λήψη δειγμάτων μεγαλύτερου μεγέθους. Αυτός όμως δεν είναι καθόλου βολικό και οικονομικό. Έτσι δόθηκαν άλλες λύσεις. Σαν πρώτο βήμα προτάθηκε να χρησιμοποιούν εκτενώς τις γεωχημικές έρευνες ως την κύρια αναγνωριστική μέθοδο για την αναζήτηση χρυσού. Στην συνέχεια όσο αφορά τις αναλυτικές μεθόδους το όριο ανίχνευσης για το Au στα 0,2 ppb έτσι ώστε να μπορούν να καθοριστούν οι τιμές του «background» με ακρίβεια. Τέλος να οριστούν ευνοϊκές περιοχές με όριο 2-4 ppb. Με αυτή την προσέγγιση, έχει επιτευχθεί μεγάλη επιτυχία με τη χρήση γεωχημικών μεθόδων για την εξερεύνηση χρυσού. Είναι πλέον το νούμερο ένα εργαλείο για την εξερεύνηση χρυσού στην Κίνα. Ένα κλειδί για την επιτυχία της παραπάνω προσέγγισης είναι ότι ο χρυσός εμφανίζεται στα ιζήματα και στα εδάφη όχι μόνο ως χονδροειδή σωματίδια αλλά και σε σημαντικές ποσότητες ως υπομικροσκοπικός ελεύθερος χρυσός και ως άλλες πολύπλοκες μορφές σε σουλφίδια, οξείδια, οργανική ύλη και ορυκτά αργίλου.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η εφαρμοσμένη γεωχημεία αποτελεί ένα κλάδο της γεωχημείας και βρίσκει εφαρμογές στην καθημερινότητα των ανθρώπων. Μια από τις βασικές χρήσεις της είναι ο εντοπισμός νέων κοιτασμάτων ή προεκτάσεις ήδη γνωστών κοιτασμάτων αλλά και πηγών ρύπανσης. Βασική αρχή της γεωχημείας είναι η μετακίνηση διάφορων στοιχείων από το πρωτογενές στο δευτερογενές περιβάλλον και αντίστροφα, μέσω διάφορων διεργασιών όπως η διάβρωση. Η διαδικασία αυτή ή καλύτερα ο κύκλος αυτός ονομάζεται γεωχημικός κύκλος. Ο κλάδος της γεωχημείας και πιο συγκεκριμένα η εφαρμοσμένη γεωχημεία ασχολείται με την ανίχνευση στοιχείων στην φύση, τα οποία λόγω των διεργασιών που αναφέρθηκαν μετακινούνται και αποτεθέντα δημιουργώντας περιοχές με συγκεντρώσεις στα στοιχεία μεγαλύτερες από αυτές που υπάρχουν στον φλοιό της γης. Αυτές οι αυξημένες συγκεντρώσεις ονομάζονται γεωχημικές ανωμαλίες και είναι ο κύριος στόχος της εξερευνητικής γεωχημείας.

Για να εντοπιστούν οι αρχικοί κύκλοι διασποράς των στοιχείων που παρέχουν ενδείξεις για κάποιο κοιτάσμα πρέπει να εκπονηθεί μια γεωχημική έρευνα. Η έρευνα αποτελείται από πολλά στάδια, όμως δεν χρηματοδοτείται με πολύ κεφάλαιο σε σχέση με όλη την μεταλλευτική έρευνα. Για την τελειοποίηση μιας γεωχημικής έρευνας χρειάζεται η αρχική σωστή μελέτη της περιοχής έρευνας, καθώς και η επί τόπου παρατήρηση της περιοχής. Στην συνέχεια σειρά έχει η δειγματοληψία όπου παίζει σημαντικό ρόλο και μπορεί να πραγματοποιηθεί σε πολλά υλικά. Η πιο διαδεδομένη είναι η δειγματοληψία σε εδάφη και ιζήματα. Εφόσον τα δείγματα συλλεχθούν και γίνει κατάλληλη προετοιμασία του μεταφέρονται στο εργαστήριο όπου με την επίβλεψη του γεωλόγου γίνονται οι κατάλληλες γεωχημικές αναλύσεις και λαμβάνονται ορισμένα δεδομένα. Αυτά τα δεδομένα καλείτε να ερμηνεύσει ο γεωλόγος έτσι ώστε να οδηγηθεί στην θέση ενός κοιτάσματος ή μιας ρύπανσης.

Η διαδεδομένη χρήση της γεωχημείας ανά τον κόσμο είναι στην αναζήτηση χρυσού κυρίως σε ποτάμιες περιοχές. Είναι ευρέως χρησιμοποιούμενη η μέθοδος του panning. Ο χρυσός όμως σαν στοιχείο έχει πολλές ιδιαιτερότητες κάτι που οδήγησε του ανθρώπους στην αναζήτηση εναλλακτικών λύσεων για να χρησιμοποιήσουν τη γεωχημεία. Η εφαρμοσμένη γεωχημεία κατέχει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στην εξερεύνηση κοιτασμάτων. Η καλύτερη λειτουργία όμως ενός ερευνητικού προγράμματος απαιτεί και άλλες μεθόδους όπως η γεωφυσική και η γεωλογία. Για αυτό θα ήταν καλό αυτές οι τρεις μέθοδοι να συνδυάζονται έτσι ώστε να παρέχονται τα σωστά αποτελέσματα.



- Charles J. Moon, M. K. (2006). Introduction to Mineral Exploration, Second Edition. Malden, Oxford, Carlton: Blackwell Publishing.
- Dwivedi, A. K., Sen, J., Murugan, C., Bairwa, G., Bhatt, A. K., Babu, P. R., & Pandit, S. A. (2008). The application of hydrogeochemical method in uranium exploration—a case study from Barabazar-Manbazar area, Purulia district, West Bengal. *Journal of the Geological Society of India*, 72(4), 561-570.
- Dwivedi, A. K., Sen, J., Murugan, C., Bairwa, G., Bhatt, A. K., Babu, P. R., and Pandit, S. A. (2008). The application of hydrogeochemical method in uranium exploration—a case study from Barabazar-Manbazar area, Purulia district, West Bengal. *Journal of the Geological Society of India*, 72(4), 561-570.
- Fletcher, W. (1997). Stream Sediment Geochemistry in Today's Exploration World. Vancouver, British Columbia, Canada: University of British Columbia.
- Fletcher, W. K. (1997). Stream sediment geochemistry in today's exploration world. In *Proceedings of exploration* (Vol. 97, pp. 249-260).
- Frietsch R. (1972). Metoder for Malmletning. Almqvist and Wiksell, Uppsala, Sweden
- Garrett R.G. (1989) The role of computers in exploration geochemistry. In Garland G.D. (ed.) *Proceedings of Exploration '87*, spec. vol. 3, 586-608. Ontario Geological Survey, Toronto
- Goldspear (1987) Gold Panning. Practical and useful instructions. Goldspear (UK) Ltd, Beaconsfield.
- Greenwood, P. F., Brocks, J. J., Grice, K., Schwark, L., Jaraula, C. M. B., Dick, J. M., and Evans, K. A. (2013). Organic geochemistry and mineralogy. I. Characterisation of organic matter associated with metal deposits. *Ore Geology Reviews*, 50, 1-27.
- Greenwood, P. F., Brocks, J. J., Grice, K., Schwark, L., Jaraula, C. M. B., Dick, J. M., & Evans, K. A. (2013). Organic geochemistry and mineralogy. I. Characterisation of organic matter associated with metal deposits. *Ore Geology Reviews*, 50, 1-27.
- Haldar, S. K. (2018). Mineral exploration: principles and applications. Elsevier.
- Heitt, D. G., Dunbar, W. W., Thompson, T. B., and Jackson, R. G. (2003). Geology and geochemistry of the Deep Star gold deposit, Carlin trend, Nevada. *Economic Geology*, 98(6), 1107-1135.
- Howarth R.J. (1984) Statistical applications in geochemical prospecting: a survey of recent developments. *J. Geochem. Explor.*, 21, 41-61.
- Leggo, M. D. (1977). Contrasting Geochemical Expressions of Copper Miner-Alization at Namosi, Fiji. In *Developments in Economic Geology* (Vol. 9, pp. 431-456). Elsevier.
- Levinson A.A. (1974). Introduction to Exploration Geochemistry. Applied Publ. Ltd, Wilmette, Illinois, USA.
- Levinson, A. A., Bradshaw, P. M., Bradshaw, P. M., and Thomson, I. (1987). Practical problems in exploration geochemistry. Applied Pub Limited.
- Matysek, P.F., Day, S.J., and Gravel, J.L., 1989, Applied Geochemistry Section: Highlights of 1988 activities: in *Geological Fieldwork 1989*. B.C. Ministry of Energy, Mines and Petroleum Resources, Paper 1989-1, 579-583.
- McClenaghan, M. B., Kjarsgaard, B. A., and Goodfellow, W. D. (2007). Indicator mineral and surficial geochemical exploration methods for kimberlite in glaciated terrain, examples from Canada. *Mineral Resources of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods*. Geological Association of Canada, Special Publication, 4, 1998.
- McClenaghan, M. B., Kjarsgaard, B. A., and Goodfellow, W. D. (2007). Indicator mineral and surficial geochemical exploration methods for kimberlite in glaciated terrain, examples

- from Canada. Mineral Resources of Canada: A Synthesis of Major Deposit-types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces and Exploration Methods. Geological Association of Canada, Special Publication, 4, 1998.
- McNerney, J. J., and Buseck, P. R. (1973). Geochemical exploration using mercury vapor. *Economic Geology*, 68(8), 1313-1320.
- McNerney, John J., and Peter R. Buseck. "Geochemical exploration using mercury vapor." *Economic Geology* 68.8 (1973): 1313-1320.
- Mertie, J. B. (1954). The gold pan; a neglected geological tool. *Economic Geology*, 49(6), 639-651.
- Mertie, J. B. (1954). The gold pan; a neglected geological tool. *Economic Geology*, 49(6), 639-651.
- Misra, K. C. (2012). *Introduction to geochemistry: principles and applications*. John Wiley and Sons.
- Moradi, M., Basiri, S., Kananian, A., & Kabiri, K. (2015). Fuzzy logic modeling for hydrothermal gold mineralization mapping using geochemical, geological, ASTER imageries and other geo-data, a case study in Central Alborz, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1), 197-205.
- Moradi, M., Basiri, S., Kananian, A., and Kabiri, K. (2015). Fuzzy logic modeling for hydrothermal gold mineralization mapping using geochemical, geological, ASTER imageries and other geo-data, a case study in Central Alborz, Iran. *Earth Science Informatics*, 8(1), 197-205.
- Ovchinnikov, L.N., and Grigoryan, S.V. (1978). Geochemical prospecting for ore deposits. *International Geology Review*, 20(12), 1413-1425.
- Poulsen, K.H., Robert, F., and Dubé, B., (2000), Geological classification of Canadian gold deposits: Geological Survey of Canada Bulletin 540.
- Reedman, A. J., and Gould, D. (1970). Low density stream sediment surveys in geochemical prospecting: an example from northeastern Uganda. *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, B, Applied Earth Science*, 79, 246-248.
- Robert, F., 2004, Geologic footprints of gold systems, in J Muhling et al. eds., SEG 2004: Predictive Mineral Discovery Under Cover, Extended Abstracts: Centre for Global Metallogeny, The University of Western Australia Publication 33, 97-101.
- Rose A.W., Hawkes H.E. and Webb J.S. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*. Academic Press, London.
- Rowe, R. R., and Zhou, X. (2007). Models and exploration methods for major gold deposit types. In *Proceedings of Exploration*, Vol. 7, 691-711.
- Saxby, J.D. (1969). Metal-organic chemistry of the geochemical cycle. *Reviews of pure and applied chemistry*, 19, 131-150.
- Swennen, R., & Van der Sluys, J. (1998). Zn, Pb, Cu and As distribution patterns in overbank and medium-order stream sediment samples: their use in exploration and environmental geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 65(1), 27-45.
- Swennen, R., and Van der Sluys, J. (1998). Zn, Pb, Cu and As distribution patterns in overbank and medium-order stream sediment samples: their use in exploration and environmental geochemistry. *Journal of Geochemical Exploration*, 65(1), 27-45.
- Xie, X., Wang, X., Xu, L., Kremenetsky, A. A., & Kheffets, V. K. (1999). Orientation study of strategic deep penetration geochemical methods in the central Kyzylkum desert terrain, Uzbekistan. *Journal of Geochemical Exploration*, 66(1-2), 135-143.
- Xie, X., Wang, X., Xu, L., Kremenetsky, A. A., and Kheffets, V. K. (1999). Orientation study of strategic deep penetration geochemical methods in the central Kyzylkum desert terrain, Uzbekistan. *Journal of Geochemical Exploration*, 66(1-2), 135-143.

- Xuejing, X., and Xueqiu, W. (1991). Geochemical exploration for gold: a new approach to an old problem. *Journal of Geochemical Exploration*, 40(1-3), 25-48.
- Xueqiu, X. X. (1989). Geochemical exploration for gold: a new approach to an old problem. Hebei 102849, China: Elsevier Science Publishers B.V.
- y González-Barros, M. R. (2013). Industrial minerals and rocks: our invisible friends. *European Geologist European Geologist*, 34.
- Zapata, M. (July 21, 2022). 30 Best Places to Pan for Gold and Gemstones. Ανάκτηση από <https://www.farandwide.com/s/best-places-pan-gold-gemstones-095e3175eb2946b9>
- Ανέστης Α. Φιλιππίδης, Β. Ι. (2012). ΓΕΩΧΗΜΕΙΑ. ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ, ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ, ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ.
- ΛΕΟΝΤΗ, Ι. (ΙΟΥΛΙΟΣ 2017). ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΒΩΣΗ ΜΕΤΡΗΤΙΚΩΝ ΟΡΓΑΝΩΝ ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΕΙΟΥ. ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ, ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ, ΚΟΖΑΝΗ.
- Μέλφος, Β., & Βουδούρης, Π. (2022). Κοιτάσματα της Ελλάδας [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις. <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-32>
- Μόδης, Κ., και Σταματάκη, Σ. (2016). Έμμεσες μέθοδοι αναζήτησης κοιτασμάτων.
- Νίκας, Κ., Αγγελικάκης, Ι., Βέργου-Βήχου, Α., & Βασιλειάδης, Ε. (2001). Υδρογεωλογικές και γεωχημικές έρευνες στο νομό Αχαΐας= Hydrogeological and geochemical survey in Achaia prefecture area. *Δελτίον της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας*, 34(5), 1875-1884.
- ΠΑΠΑΗΛΙΑΣ, Γ. (2008). ΜΗ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΗΣ ΥΔΡΟΓΟΝΑΝΘΡΑΚΩΝ ΣΕΧΕΡΣΑΙΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ: Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΚΑΝΗΣ Ν.ΓΡΕΒΕΝΩΝ ΚΑΙ ΝΤΡΙΚΑΛΩΝ- ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΓΕΩΛΟΓΙΚΩΝ, ΓΕΩΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΙ ΓΕΩΧΗΜΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΙΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΩΝ ΥΠΟΔΟΜΩΝ. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ, ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ. Βολος: Institutional Repository-Library and Information Centre-University of Thessaly.
- Σαββίδης, Σ. (2012). Εφαρμοσμένη, Περιβαλλοντική και Αναλυτική Γεωχημεία. 2012, ISBN: 978-960-93-3759-5, (Σελ. 141).
- Τριανταφυλλίδης, Σ. (2015). Περιβαλλοντική συμπεριφορά κοιτασμάτων μεταλλικών ορυκτών. Σχολή Μηχανικών Μεταλλείων-Μεταλλουργών, ΕΜΠ, Αθήνα.
- Φιλιππίδης Α. (2002). Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία. Υπηρεσία Δημοσιευμάτων, ΑΠΘ, Θεσσαλονίκη
- Φιλιππίδης, Α.Α. (2019). Εφαρμοσμένη και Περιβαλλοντική Γεωχημεία με στοιχεία Περιβαλλοντικής Ορυκτολογίας και Νομοθεσίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Τμήμα Γεωλογίας, Θεσσαλονίκη.
- Χαραλαμπίδης Γ. (2013). Δευτερογενής Διασπορά, Κυριότερες γεωχημικές μέθοδοι Αναζήτησης Κοιτασμάτων, Σχεδιασμός και δειγματοληψία. Τ.Ε.Ι. Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος και Μηχανικών Αντιρρύπανσης.