

Η ΣΥΜΒΟΛΗ ΤΩΝ ΓΕΩΠΙΣΤΗΜΩΝ ΣΤΗΝ ΕΡΕΥΝΑ ΓΙΑ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΑ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Από
Γ. Χατζηγιάννη¹

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με την εργασία αυτή γίνεται προσπάθεια να περιγραφεί ο ρόλος των γεωπιστημών σ' ένα σημαντικό τομέα της έρευνας του ορυκτού πλούτου της Χώρας όπως είναι τα ραδιενεργά μεταλλεύματα. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα κύρια φυσικά ραδιενεργά στοιχεία είναι το θόριο και το ουράνιο αλλά λόγω της περιορισμένης χρήσης του θορίου τα τελευταία χρόνια το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται μόνο στο ουράνιο.

Το ουράνιο ανακαλύφθηκε το 1787 από τον Μ. Κλαρροθ και κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα χρησιμοποιήθηκε μόνο σε πολύ μικρές ποσότητες στην κεραμική. Με την ανακάλυψη της φυσικής ραδιενέργειας του ουρανίου το 1896 από τον Η. Becquerel και τον πρώτο διαχωρισμό του ραδίου από το ουράνιο από τους Ρ. και Μ. Curie το 1898 άρχισε η πρώτη μαζική παραγωγή ουρανίου στις αρχές του 20ου αιώνα. Το ενδιαφέρον τότε ήταν για το ράδιο και το ουράνιο θεωρείτο στείρο υλικό. Με τη διάσπαση του ατόμου το 1938 και τη χρησιμοποίηση του ουρανίου για στρατιωτικούς σκοπούς στο Β' Παγκόσμιο Πόλεμο ανέβηκε απότομα η ετήσια παραγωγή ουρανίου από τους 100 τόννους που ήταν το 1939, για να φθάσει ένα μέγιστο 34.000 τόννων U το 1959 με κύριο προορισμό στρατιωτικούς σκοπούς.

Από την εποχή του πολέμου αρχίζει ουσιαστικά η φάση της μεταλλευτικής δραστηριότητας στον τομέα του ουρανίου. Πολλά στοιχεία για τις έρευνες για τον εντοπισμό κοιτασμάτων στη διάρκεια του πολέμου και μέχρι τη δεκαετία του '60 δεν υπάρχουν. Είναι όμως γεγονός ότι οι έρευνες για ουράνιο άρχισαν πολύ νωρίς και γρήγορα εντοπίστηκαν σημαντικά κοιτάσματα σε διάφορες Χώρες, ενώ άρχισαν να τελειοποιούνται και να βελτιώνονται οι μέθοδοι και τεχνικές έρευνας.

Κατά την τελευταία δεκαετία η έρευνα για τον εντοπισμό κοιτασμάτων ουρανίου βρέθηκε σε πολύ ανθηρή θέση. Η ενεργειακή κρίση του 1973/74 έστρεψε πολλές χώρες προς την πλατειά χρησιμοποίηση της πυρηνικής ενέργειας με αποτέλεσμα την κατακόρυφη άνοδο της ζήτησης μεταλλεύματος ουρανίου και τη σημαντική αύξηση της τιμής του. Επειδή τα τότε γνωστά αποθέματα ουρανίου δεν επαρκούσαν για την κάλυψη της αυξημένης ζήτησης εντάθηκαν οι έρευνες για τον εντοπισμό νέων

1. Γεωλόγος, Διεύθυνση Ενεργειακών Πρώτων Υλών ΙΓΜΕ, Μεσογείων 70 - Αθήνα

κοιτασμάτων και αναπτύχθηκαν νέες μέθοδοι ενώ τελειοποιήθηκαν οι γνωστές μέχρι τότε μέθοδοι και τεχνικές.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Η έρευνα για τον εντοπισμό ορυκτών πρώτων υλών είναι μία σύνθετη σειρά εργασιών με κύριο στόχο την διαπίστωση οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων. Κατά καιρούς έχουν δοθεί διάφορες ερμηνείες στον διεθνή όρο "mineral exploration" όπως κοιτασματολογική έρευνα, μεταλλευτική έρευνα, αλλά νομίζω ότι η διατύπωση που προτείνεται τώρα αποδίδει σωστότερα την έννοια και την ουσία του όρου.

Η έρευνα αυτή είναι μία δαπανηρή, χρονοβόρα και με μεγάλο ρίσκο επιχείρηση και έχει περιγραφεί σαν κράμα τέχνης και επιστήμης. Αρχίζει από την πρώτη αναγνώριση της περιοχής και φθάνει μέχρι την οικονομοτεχνική μελέτη για ανάπτυξη του κοιτάσματος. Για την επίτευξη του στόχου της χρησιμοποιεί διάφορες μεθόδους και τεχνικές που καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα των γεωεπιστημών από την Τηλεδιασκόπηση μέχρι την Πληροφορική.

Για να είναι αποτελεσματική και ορθολογική η σύγχρονη έρευνα πρέπει να χρησιμοποιεί με άριστο τρόπο τον χρόνο και τις πιστώσεις που είναι διαθέσιμες. Αυτό προϋποθέτει ότι ακολουθεί ορισμένα στάδια και φάσεις σαφώς καθορισμένες και διαλέγει τις βέλτιστες μεθόδους ανάλογα με τη συγκεκριμένη περίπτωση.

Σε διεθνές επίπεδο υπάρχουν μερικά σχήματα που περιγράφουν τα βασικά στάδια και φάσεις της έρευνας για τον εντοπισμό κοιτασμάτων. Δύο από τα κυριότερα σχήματα είναι αυτό του B.R.G.M. της Γαλλίας (πίν. 1) και το Αγγλο-αμερικανικό που χρησιμοποιείται από τις περισσότερες δυτικές ιδιωτικές εταιρίες.

Το σχήμα του B.R.G.M. φαίνεται πληρέστερο μια και εκτός από τις μεθόδους και τεχνικές, περιλαμβάνει τους στόχους κάθε φάσης, τους ανθρώπους, την έκταση της περιοχής έρευνας, το χρόνο και τις δαπάνες.

Πρόσφατα γίνεται προσπάθεια για την καθολική εφαρμογή του από το ΙΓΜΕ.

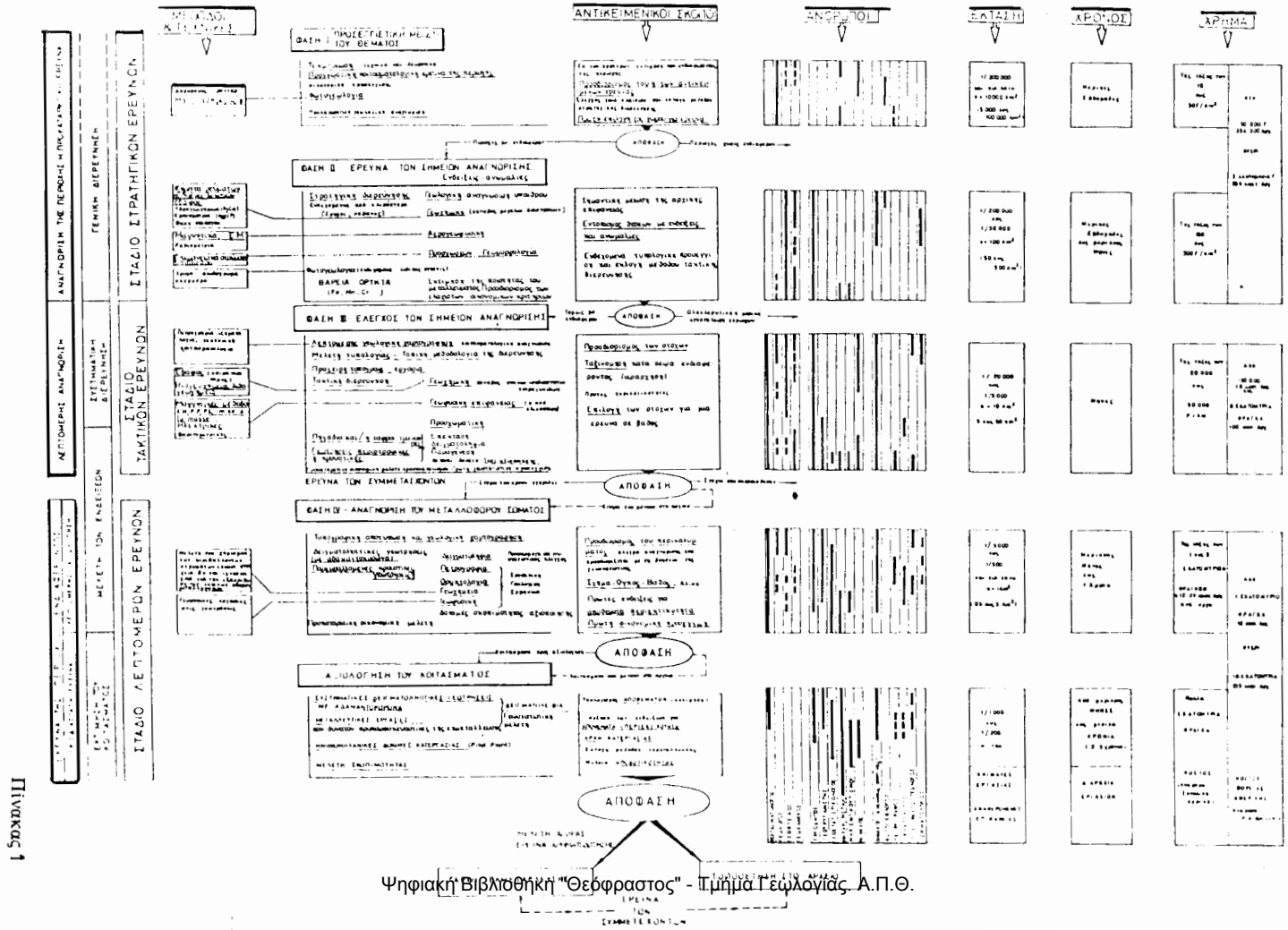
Η έρευνα ουρανίου δεν διαφέρει ουσιαστικά από την έρευνα για τον εντοπισμό των υπολοίπων μεταλλευμάτων, παρουσιάζει όμως το σημαντικό πλεονέκτημα της δυνατότητας ανίχνευσής του από μακριά λόγω της χαρακτηριστικής ιδιότητας της ραδιενέργειας, γεγονός που κάνει ιδιαίτερα χρήσιμες τις ραδιομετρικές μεθόδους διασκόπησης. Τα στάδια και οι φάσεις της έρευνας που ακολουθούνται είναι περίπου τα ίδια με τη μόνη διαφορά στις μεθόδους και τεχνικές λόγω των ειδικών φυσικών χαρακτηριστικών των μεταλλευμάτων του ουρανίου.

Μια Επιτροπή Εμπειρογνομών του Δ.Ο.Α.Ε.¹ διαπίστωσε το 1973 ότι είχαν μέχρι τότε χρησιμοποιηθεί, σε διάφορο βαθμό, περί τις 14 μέθοδοι και τεχνικές έρευνας ουρανίου ενώ άλλες 7 ήταν σε δοκιμαστικό στάδιο.

Με βάση τις πιο πάνω μεθόδους και τεχνικές και τα γενικά σχήματα για τα στάδια και φάσεις έρευνας πρώτων υλών έχει συνταχθεί στο ΙΓΜΕ ο πιο κάτω πίνακας με τα στάδια και τις φάσεις έρευνας για ουράνιο (πίν. 2). Οποσδήποτε ο πίνακας είναι γενικός και πρέπει να προσαρμόζεται κάθε φορά στις ειδικές γεωγραφικές συνθήκες

¹ Διεθνής Οργανισμός Ατομικής Ενέργειας

ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΚΑΤΑΣΤΑΣΙΑΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ
Α.Π.Θ. 1971



Πίνακας 1

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

και το στάδιο γνώσης στην κάθε περιοχή, μια και το σύνολο των εργασιών εφαρμόζεται σε περιοχές που ερευνώνται για πρώτη φορά.

Η εφαρμογή της σταδιακής έρευνας προϋποθέτει τη λήψη απόφασης μετά την ολοκλήρωση κάθε σταδίου σχετικά με τη συνέχιση ή όχι της έρευνας στη συγκεκριμένη περιοχή σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προηγούμενων εργασιών.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΕΥΝΑΣ ΓΙΑ ΟΥΡΑΝΙΟ

Μια σύντομη μελέτη του πίνακα με τα στάδια έρευνας για ουράνιο δείχνει ότι οι μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται μπορούν να καταταγούν σε μερικές κύριες ομάδες. Έτσι έχουμε:

- α) τις γεωλογικές και κοιτασματολογικές μεθόδους
- β) τις ραδιομετρικές μεθόδους
- γ) τις γεωχημικές μεθόδους
- δ) τις γεωτρητικές τεχνικές
- ε) τις άλλες μεθόδους και τεχνικές

3.1. Γεωλογικές — κοιτασματολογικές μέθοδοι

Ο όρος γεωλογικές μέθοδοι, καλύπτει ένα πλατύ φάσμα της κλασσικής Γεωλογίας που περιλαμβάνει τη χαρτογράφηση, στρωματογραφία, παλαιοντολογία, τεκτονική, φωτογεωλογία, ιζηματολογία, κ.ά. πιο εξειδικευμένους κλάδους.

Οι κοιτασματολογικές μέθοδοι αναφέρονται στη γνώση της γεωλογικής κατασκευής των κοιτασμάτων ουρανίου, τη γένεσή τους, τη δευτερογενή εξαλλοίωσή τους, τις σχέσεις με τα περιβάλλοντα και τους χαρακτηριστικούς οδηγούς κάθε τύπου μεταλλοφορίας.

Η έρευνα για εντοπισμό ορυκτών πρώτων υλών είναι ουσιαστικά μία άσκηση εφαρμοσμένης γεωλογίας. Οι γεωλογικές παραδοχές καθοδηγούν τη σχεδίαση ενός ερευνητικού προγράμματος, την επιλογή και το συνδυασμό των τεχνικών που θα χρησιμοποιηθούν και την ερμηνεία και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων κάθε φάσης της έρευνας. Η σύνθεση του συνόλου της υπάρχουσας γεωλογικής πληροφόρησης αποτελεί το **εναρκτήριο σημείο** για κάθε ερευνητικό πρόγραμμα.

Αναλύεται η γενική γεωλογική δομή της περιοχής με τη βοήθεια των γεωλογικών στοιχείων που υπάρχουν, της τηλεδιασκόπησης, της φωτογεωλογίας καθώς και με γρήγορη γεωλογική αναγνώριση. Η καλή γνώση των κοιτασματολογικών και μεταλλογενετικών χαρακτήρων των κοιτασμάτων ουρανίου βοηθά στην επιλογή της πιο ελπιδοφόρας περιοχής καθώς και στην επιλογή του βέλτιστου συνδυασμού μεθόδων και τεχνικών έρευνας που θα χρησιμοποιηθούν.

Στη συνέχεια γίνεται η γεωλογική χαρτογράφηση της ερευνητέας περιοχής — εφ' όσον δεν υπάρχει — σε μικρή κλίμακα και ο γεωλογικός χάρτης αποτελεί το υπόβαθρο για τις παραπέρα ερευνητικές εργασίες.

Στο επόμενο στάδιο όταν η περιοχή έρευνας έχει στενέψει γίνεται η γεωλογική χαρτογράφηση σε μεγαλύτερη κλίμακα, αναλύεται με κάθε λεπτομέρεια η στρωματογραφία, η τεκτονική, η πετρογραφία και ιζηματολογία των σχηματισμών της περιοχής. Αυτή η λεπτομερής εικόνα της γεωλογικής κατασκευής της περιοχής είναι η βάση στην οποία στηρίζεται η ερμηνεία των αποτελεσμάτων όλων των υπολοίπων μεθόδων έρευνας. Η καλή γνώση της γεωλογίας των κοιτασμάτων

ΠΙΝ. 2. ΣΤΑΔΙΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΥΜΑΤΩΝ

(από Κ. Κούκουζα, Γ. Χατζηγιάννη)

ΣΤΑΔΙΟ Α. ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

- Φάση Α1. Συγκέντρωση βιβλιογραφικών στοιχείων και χαρτών.
Προγνωστική κοιτασματολογία. Φωτογεωλογία — τηλεδιασκόπηση.
Σύνθεση γεωλογικών στοιχείων.
- Φάση Α2. Αεροραδιομετρία σε αραιό δίκτυο και άλλα γεωφυσικά.
Ραδιομετρία επιφανείας πεζή και επί αυτοκινήτου.
Γεωλογική αναγνώριση και χαρτογράφηση μικρής κλίμακας. Φωτογεω-
λογία. Αναγνωριστική γεωχημική έρευνα (ποτάμια ιζήματα, υδρογεω-
χημεία, λιθογεωχημεία). Στατιστική επεξεργασία και αξιολόγηση
στοιχείων. Σύνταξη χαρτών και έκθεσης.

ΣΤΑΔΙΟ Β. ΛΕΙΠΤΟΜΕΡΗΣ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ

- Φάση Β1. Αεροραδιομετρία σε πυκνό δίκτυο κυρίως από ελικόπτερο ή ελαφρό
αεροσκάφος. Ραδιομετρία επιφανείας από αυτοκίνητο ή πεζή σε δίκτυα
ποικίλων διαστάσεων.
Επακόλουθη γεωχημική έρευνα (ποτάμια ιζήματα, έδαφος, υδρογεωχη-
μεία, λιθογεωχημεία).
Γεωλογική χαρτογράφηση σε κλίμακα 1:50.000 — 1:10.000. Ορυκτολο-
γία, πετρογραφία, ιζηματολογία, τεκτονική.
- Φάση Β2. Αρχικές μεταλλευτικές εργασίες (πηγάδια, τρανσέρες, αναγνωριστικές
γεωτρήσεις). Δειγματοληψίες, χημικές αναλύσεις, προκαταρκτική
γεωστατιστική μελέτη. Διαγραφίες γεωτρήσεων.

ΣΤΑΔΙΟ Γ. ΣΥΣΤΗΜΑΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

- Φάση Γ1. Εμανομετρία
Γεωφυσική διασκόπηση εδάφους (ηλεκτρικά, μαγνητικά, ηλεκτρομα-
γνητικά, VLF, επαγομένη πόλωση)
Τεκτονική — μικροτεκτονική ανάλυση
Τοπογραφική και γεωλογική — κοιτασματολογική χαρτογράφηση
μεγάλης κλίμακας (1:5.000 — 1:1.000)
Γεωχημεία πετρώματος, εδάφους
Ραδιομετρία εδάφους πυκνού δικτύου (ή φασματομετρία)
- Φάση Γ2. Γεωτρήσεις δειγματοληψίας σε δίκτυο. Δειγματοληψίες, χημικές
αναλύσεις. Γεωστατιστική.
Ορυκτολογία, πετρογραφία, γεωχημεία πυρήνων.
Μεταλλουργικές δοκιμές. Προσδιορισμοί ραδιενεργού ισορροπίας
Εκτέλεση διαγραφιών σε γεωτρήσεις (ακτίνες γάμμα, ηλεκτρικά)
Ποσοτικός προσδιορισμός ραδιοστοιχείων από τις διαγραφίες. Γνώση
ραδιογεωμετρίας του κοιτάσματος.

ΣΤΑΔΙΟ Δ. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΟΥ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΣ

- Πύκνωση γεωτρήσεων για περιχάραξη του κοιτάσματος. Δειγματοληψί-
ες, χημικές αναλύσεις. Διαγραφίες γεωτρήσεων. Γεωστατιστική
εκτίμηση.
Διάνοξη μεταλλευτικών έργων.
Σύνταξη τελικής έκθεσης.

ουρανίου βοηθά στην εκλογή της καταλληλότερης κατά περίπτωση μεθόδου γεωλογικής ανάλυσης. Έτσι σ' ένα γρανιτικό περιβάλλον το βάρος δίνεται στην τεκτονική ανάλυση και την πετρογραφία, σ' ένα ιζηματογές περιβάλλον πρωτεύοντα ρόλο παίζει η ιζηματολογική και η στρωματογραφική ανάλυση.

Κατά τα τελευταία στάδια της έρευνας, όταν έχει πλέον εντοπισθεί το μεταλλοφόρο σώμα, η λεπτομερής και σε μεγάλη κλίμακα γεωλογική — κοιτασματολογική αποτύπωση σε συνδυασμό με ορυκτολογικούς, πετρογραφικούς και γεωχημικούς προσδιορισμούς επιτρέπει να προσδιορίσουμε ακριβώς **το περιβάλλον και τις συνθήκες μεταλλογενέσεως** και βοηθά στον προσδιορισμό των ποιοτικών και ποσοτικών παραμέτρων του κοιτάσματος. Η προσαρμογή ενός καλού γεωλογικού — κοιτασματολογικού μοντέλου στο συγκεκριμένο κοιτάσμα αποτελεί τη βάση για μια πετυχημένη εκτίμηση αποθεμάτων με τις σύγχρονες μεθόδους όπως η Γεωστατιστική.

3.2. Ραδιομετρικές μέθοδοι

Οι ραδιομετρικές μέθοδοι στηρίζονται στην ανίχνευση και καταγραφή της ραδιενέργειας των φυσικών ραδιενεργών στοιχείων. Είναι από τις πιο χρήσιμες μεθόδους στην έρευνα για τον εντοπισμό κοιτασμάτων ουρανίου. Σε πολλές περιπτώσεις, κυρίως κοιτασμάτων με επιφανειακές εκδηλώσεις, ο συνδυασμός αεροραδιομετρικών διασκοπήσεων, επιφανειακών ραδιομετρήσεων των ανωμαλιών και εκτέλεσης διαγραφιών στις γεωτρήσεις είχε σαν αποτέλεσμα την ανακάλυψη πολλών κοιτασμάτων.

Οι ραδιομετρικές διασκοπήσεις κατά τις οποίες καταγράφεται η ολική ακτινοβολία γάμμα ή ορισμένα φάσματα ενέργειας (φασματομετρία) έχουν πολλές και ποικίλες εφαρμογές. Συνεπώς υπάρχει μεγάλη ποικιλία ραδιομετρικών οργάνων υπαίθρου και εργαστηρίων. Οι κύριες τεχνικές είναι οι ακόλουθες:

3.2.1. Αεροραδιομετρικές διασκοπήσεις

Συνίστανται στην μέτρηση από τον αέρα, από διάφορο ύψος πτήσης είτε από αεροπλάνο είτε από ελικόπτερο, της ολικής ή ειδικής ενέργειας γάμμα ακτινοβολίας. Χρησιμοποιούνται κύρια κατά τα δύο πρώτα στάδια της έρευνας με διαφορετικό στόχο στο καθένα. Κατά το 1ο στάδιο, χρησιμοποιούνται αεροπλάνα, πολύ ευαίσθητοι ανιχνευτές, το ύψος πτήσης είναι μεγάλο και ο στόχος είναι να χαρτογραφηθεί η ραδιενέργεια μεγάλων περιοχών της Γης και ο εντοπισμός περιοχών με υψηλό υπόβαθρο (background) ραδιενέργειας. Στο επόμενο στάδιο χρησιμοποιούνται κυρίως ελικόπτερα, το ύψος πτήσης είναι χαμηλό και στόχος είναι πλέον ο εντοπισμός συγκεκριμένων ραδιομετρικών ανωμαλιών που ενδεχόμενα δείχνουν την ύπαρξη συγκεντρώσεων ουρανίου. Οι ραδιενεργές ανωμαλίες ανιχνεύονται, καταγράφονται και πλοτάρονται σε χάρτες για παραπέρα εξέταση στο έδαφος.

Παρά το σχετικό υψηλό κόστος ανά χιλιόμετρο πτήσης οι αεροραδιομετρικές διασκοπήσεις αποτελούν μια αποτελεσματική συγκριτικά με το κόστος τεχνική έρευνας.

3.2.2. Ραδιομετρικές διασκοπήσεις επιφανείας

Χρησιμοποιούνται σ' όλα τα στάδια της έρευνας για ουράνιο, ακόμα και κατά τη λειτουργία των μεταλλείων και εκτελούνται είτε από αυτοκίνητο είτε πεζή. Οι

ραδιομετρικές διασκοπήσεις από αυτοκίνητο (C.B.S.) γίνονται κατά τα πρώτα στάδια έρευνας και η αποτελεσματικότητά τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την πυκνότητα του οδικού δικτύου μιας περιοχής. Εκτελούνται με την εγκατάσταση σπινθηρομέτρων ή φασματομέτρων σε αυτοκίνητα τύπου τζίπ και παρουσιάζουν τα αποτελέσματα με τη μορφή χαρτών.

Οι ραδιομετρικές διασκοπήσεις πεζή είναι οι πιο διαδεδομένες τεχνικές έρευνας για ουράνιο και εκτελούνται σ' όλα τα στάδια και σε καννάβους διαφόρων διαστάσεων ανάλογα με τη φάση έρευνας (από 200×200 μ. έως 5×5 μ.). Γίνεται ανίχνευση και καταγραφή της ολικής ραδιενέργειας που εκπέμπεται από τα φυσικά ραδιενεργά στοιχεία και σπανιότερα γίνεται διάκριση του φάσματος ενέργειας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται με μορφή χαρτών ισοραδίων καμπυλών ή σχετικής συγκέντρωσης των ραδιοστοιχείων (K, U, Th).

3.2.3. Διαγραφίες γεωτρήσεων

Με τον όρο διαγραφίες γεωτρήσεων αποδίδεται ο αγγλικός όρος "borehole logging" και ορίζεται σαν η μέτρηση και καταγραφή ορισμένων φυσικών ιδιοτήτων των πετρωμάτων κατά μήκος μιας γεώτρησης. Οι φυσικές ιδιότητες που μετρούνται είναι: η ραδιενέργεια (ολική ή φάσμα ενεργειών), η ειδική αντίσταση, η πυκνότητα, η υγρασία, το πορώδες, η διαπερατότητα των πετρωμάτων. Η καταγραφή γίνεται με ειδικούς φωρατές που κατεβάζονται μέσα στη γεώτρηση.

Η καταγραφή της ραδιενέργειας και η επεξεργασία και αποτίμηση του διαγράμματος που προκύπτει μας δίνει το πάχος και την περιεκτικότητα σε ουράνιο των σχηματισμών που διατρήθηκαν. Η καταγραφή των υπολοίπων παραμέτρων που αναφέρθηκαν βοηθά στον λιθολογικό προσδιορισμό, τη στρωματογραφική συσχέτιση και παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για την επεξεργασία της διαγραφίας.

Με την εκτέλεση των διαγραφιών στις γεωτρήσεις έρευνας για ουράνιο παίρνουμε τα λιθολογικά, ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία που ζητάμε χωρίς να χρειασθεί να εκτελέσουμε ακριβές πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις. Έτσι είναι δυνατό σ' ένα σωστά σχεδιασμένο πρόγραμμα να υπάρχει μια ορισμένη αναλογία πυρηνοληπτικών και μη γεωτρήσεων, με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του κόστους.

3.2.4. Ανίχνευση ραδονίου

Το ραδόνιο (Rn-222) είναι ένα ευγενές ραδιενεργό αέριο της σειράς διάσπασης του U-238 (πίν. 3) και η παρουσία του στο έδαφος, τα πετρώματα και το νερό μπορεί να είναι ενδεικτική της ύπαρξης συγκεντρώσεων ουρανίου, σε βάθη αρκετών δεκάδων μέτρων ενώ η ακτινοβολία γάμμα απορροφάται εύκολα από μισό μόλις μέτρο υπερκειμένων.

Για την ανίχνευση και καταγραφή του ραδονίου χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές που στηρίζονται στην ανίχνευση των σωματιδίων άλφα που εκπέμπονται από τη διάσπαση του ραδονίου προς πολώνιο.

Η παλιότερη και πιο διαδεδομένη είναι η κλασική εμανομετρία με την οποία καταγράφονται σε ένα θάλαμο ιονισμού ή από ένα σπινθηριστή τα σωματίνα άλφα που υπάρχουν στο αέριο του εδάφους στη μονάδα χρόνου. Νεώτερες τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι τα πλαστικά φιλμς, οι κάρτες άλφα, οι στερεοί ανιχνευτές και

ΠΙΝ. 3. ΚΥΡΙΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΕΙΡΑΣ ΔΙΑΣΠΑΣΗΣ U

238

Ισότοπο	Χρόνος Υποδιπλασιασμού	Κύρια ακτινοβολία	Ακτίνες -γ ανά διάσπαση	Κύρια ενέργεια ακτίνων -γ (MeV)
^{238}U	$4.15 \times 10^9 \text{ a}$	α	-	
↓				
^{234}Th	24.1 d	β	0.08	
↓				
^{234}Pa	1.18 min	β	-	
↓				
^{234}U	$2.48 \times 10^5 \text{ a}$	α	-	
↓				
^{230}Th	$8 \times 10^4 \text{ a}$	α	-	
↓				
^{226}Ra	$1.600 \times 10^3 \text{ a}$	α	0.04	
↓				
^{222}Rn	3.82 d	α	-	
↓				
^{218}Po	3.05 min	α	-	
↓				
^{214}Pb	26.8 min	β, γ	0.6	0.29, 0.35
↓				
^{214}Bi	19.8 min	β, γ	1.3	0.61, 1.12, 1.76
↓				
^{214}Po	$1.6 \times 10^{-4} \text{ s}$	α	-	
↓				
^{210}Pb	21.3 a	β	0.04	
↓				
^{210}Bi	5.01 d	β	-	
↓				
^{210}Po	138.4 d	α	-	
↓				
^{206}Pb	Σταθερό	-	-	

ο ανιχνευτής με ενεργοποιημένο άνθρακα (ROAC ή CARP).

Τα αποτελέσματα της ανίχνευσης ραδονίου παρουσιάζονται με τη μορφή χαρτών ισοκατανομής του ραδονίου.

Η ανίχνευση του ραδονίου χρησιμοποιείται κυρίως στο στάδιο της συστηματικής έρευνας με τα σημεία παρατήρησης σε πυκνό δίκτυο με αντικειμενικό σκοπό την επιλογή των πιο ευνοϊκών σημείων για την εκτέλεση γεωτρήσεων ή άλλων ερευνητικών εργασιών.

Σε ορισμένες περιπτώσεις η ανίχνευση του ραδονίου έχει χρησιμοποιηθεί και στα πρώτα στάδια έρευνας κυρίως σε περιοχές με παχιά υπερκείμενα και κυρίως η ανίχνευση μέσα στα υπεδafικά νερά.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μιας έρευνας με ραδόνιο

είναι δύσκολη και χρειάζεται πολλή προσοχή στις ανωμαλίες που προκύπτουν μια και ο μηχανισμός διαχύσεως του ραδονίου δεν είναι απόλυτα γνωστός και η διάχυση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες.

3.3. Γεωχημικές μέθοδοι

Οι γεωχημικές μέθοδοι είναι γνωστές για την πλατεία εφαρμογή τους στην έρευνα για κοιτάσματα μετάλλων. Στην έρευνα ουρανίου έχουν χρησιμοποιηθεί από παλιά με ποικίλο βαθμό αποτελεσματικότητας. Πιο διαδεδομένη από τις γνωστές γεωχημικές τεχνικές είναι η δειγματοληψία ιζημάτων ρεμάτων, εδάφους και νερού από ρέματα, πηγές και πηγάδια. Χρησιμοποιούνται σ' όλα τα στάδια της έρευνας για ουράνιο με διαφοροποίηση των εφαρμοζομένων τεχνικών ανά συγκεκριμένο στάδιο. Έτσι στο πρώτο στάδιο έρευνας χρησιμοποιείται η αναγνωριστική ή **στρατηγική γεωχημική έρευνα** με πιο κατάλληλες τεχνικές τη δειγματοληψία ποτάμιων ιζημάτων και νερών. Η κλίμακα εργασίας είναι μικρή 1:100.000 — 1:50.000 και μικρή η πυκνότητα δειγματοληψίας (0.1-2 δείγματα/km²). Συνήθως η πυκνότητα δειγματοληψίας προσδιορίζεται από την έρευνα προσανατολισμού που πρέπει να προηγείται. Εκτός από το ουράνιο γίνονται προσδιορισμοί άλλων στοιχείων που είναι καθοδηγητικά για την ανίχνευση μεταλλοφορίας U, όπως είναι τα Mn, Cu, Zn, Mo, Se, κ.ά. Με την αναγνωριστική γεωχημική έρευνα μπορούν γρήγορα να περιχαραχθούν περιοχές με υψηλότερη περιεκτικότητα σε ουράνιο που είναι και οι πιο ευνοϊκές για τη φιλοξενία κοιτασμάτων ουρανίου.

Η αναγνωριστική γεωχημική έρευνα (ποτάμια ιζήματα και νερά) χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στις Η.Π. σε συνδυασμό με αεροραδιομετρική διασκόπηση, καθώς επίσης σε τμήματα της Μακεδονίας και Θράκης.

Κατά το επόμενο στάδιο έρευνας χρησιμοποιείται η **επακόλουθη ή τακτική γεωχημική έρευνα** που έχει σαν στόχο τον εντοπισμό ανωμαλιών και τον προσδιορισμό της προέλευσης ανωμαλιών μέσα στην ευρύτερη περιοχή που περιχαραχθηκε κατά την αναγνωριστική έρευνα. Η πυκνότητα δειγματοληψίας αυξάνεται σε 10-20 δείγματα/km² ενώ χρησιμοποιούνται και πάλι τα ποτάμια ιζήματα και τα νερά από πηγές και πηγάδια επιπρόσθετα στα νερά ρεμάτων.

Πέρα από το ουράνιο γίνονται προσδιορισμοί και άλλων στοιχείων που το συνοδεύουν στο συγκεκριμένο περιβάλλον. Έτσι όταν ο στόχος είναι ιζηματογενή κοιτάσματα προσδιορίζονται και τα στοιχεία As, Se, P, V, Mo, Cu, Mn.

Με την τακτική γεωχημική έρευνα επιτυγχάνεται η σημαντική μείωση της περιοχής ενδιαφέροντος, αξιολογείται το δυναμικό της, εντοπίζεται ενδεχόμενη μεταλλοφορία ουρανίου και γνωρίζουμε καλύτερα την προέλευση της γεωχημικής ανωμαλίας. Έτσι είναι δυνατό να επιλέξουμε την μέθοδο που είναι πιο κατάλληλη για παραπέρα στάδια έρευνας.

Στο στάδιο της συστηματικής έρευνας εφαρμόζεται — όπου είναι κατάλληλη — η **συστηματική γεωχημική έρευνα** με στόχο τον εντοπισμό των πηγών των ανωμαλιών ή επεκτάσεις γνωστών κοιτασμάτων, ή την αξιολόγηση ραδιομετρικών ανωμαλιών. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως η δειγματοληψία εδάφους και εν μέρει η λιθογεωχημεία. Η συστηματική γεωχημεία εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου το κάλυμα αποσάθρωσης είναι αρκετά παχύ και καθιστά μη αποτελεσματικές τις ραδιομετρικές μεθόδους.

Για τη δειγματοληψία ακολουθείται ένα κανονικό πλέγμα διαστάσεων 10 έως 50 μ. και γίνονται αναλύσεις για τα στοιχεία που αναφέρθηκαν προηγούμενα.

Τα αποτελέσματα των γεωχημικών ερευνών παρουσιάζονται με τη μορφή χαρτών κατανομής των διαφόρων στοιχείων μετά την κατάλληλη στατιστική επεξεργασία που βοηθά στην ερμηνεία τους.

Άλλες γεωχημικές τεχνικές που έχουν εφαρμοσθεί σε περιορισμένη κλίμακα είναι η βιογεωχημεία και η γεωβοτανική.

3.4. Γεωτρητικές τεχνικές

Οι γεωτρητικές τεχνικές δεν διαφέρουν ουσιαστικά από αυτές που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και των υπόλοιπων μεταλλευμάτων. Δηλαδή πυρηνοληπτικές και μη γεωτρήσεις μικρής διαμέτρου με διαμαντοκορώνα.

Λόγω όμως της χρήσης των διαγραφιών στις γεωτρήσεις για τον ποσοτικό προσδιορισμό του ουρανίου χρησιμοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα οι μη πυρηνοληπτικές γεωτρήσεις με wagon-drill ή αερόσφουρα.

Πρόσφατα χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις χαλαρών σχηματισμών (όπως στα κοιτάσματα U σε ψαμμίτες) η νέα τεχνική γεωτρήσεων της αναστρόφου κυκλοφορίας.

3.5. Άλλες μέθοδοι και τεχνικές

Πέρα από τις πιο πάνω κύριες μεθόδους ένας μεγάλος αριθμός έχει χρησιμοποιηθεί ή βρίσκεται σε δοκιμαστικό στάδιο στην έρευνα ουρανίου. Σπουδαιότερες από αυτές είναι:

1. Ορυκτολογικές-πετρογραφικές: Πρόκειται για τις γνωστές μεθόδους που εφαρμόζονται σε κάθε έρευνα ορυκτών πρώτων υλών.

2. Φυσικοχημικοί προσδιορισμοί: Περιλαμβάνουν κυρίως τις αναλύσεις για προσδιορισμό του ουρανίου και άλλων στοιχείων καθώς και τις μεθόδους προσδιορισμού ραδιενεργού ισορροπίας, ισοτοπικής σύστασης, κ.ά.

Οι αναλύσεις για ουράνιο γίνονται είτε με χημικές μεθόδους (φθορισμομετρία) είτε με πυρηνικές (νετρονική ενεργοποίηση, φασματομετρία) είτε με φθορισμό ακτίνων — X και πρόσφατα με διάφορες τεχνικές πλάσματος.

3. Γεωμαθηματικά και H/Y: Η συγκέντρωση και επεξεργασία αριθμού δεδομένων που προκύπτουν από τις γεωχημικές και ραδιομετρικές μεθόδους έκανε απαραίτητη τη χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών τόσο στην αποθήκευση και αρχειοθέτηση όσο και στην επεξεργασία των στοιχείων. Έτσι με τη χρήση τραπεζών πληροφοριών γίνεται αποθήκευση, ταξινόμηση και γρήγορη αλλαγή, επεξεργασία και ανάκτηση των ερευνητικών δεδομένων.

Ακόμη με τη χρήση των γεωμαθηματικών γίνεται επεξεργασία των ερευνητικών δεδομένων ώστε να γίνει στη συνέχεια η καλύτερη δυνατή ερμηνεία τους και να ανακτηθούν όλες οι πληροφορίες που περιέχουν. Έτσι γίνεται στους H/Y η επεξεργασία των γεωχημικών και ραδιομετρικών δεδομένων μέχρι και η σχεδίαση των αντίστοιχων χαρτών. Τέλος με τη Γεωστατιστική γίνεται σήμερα η καλύτερη δυνατή εκτίμηση των αποθεμάτων και της ποιότητας των κοιτασμάτων ουρανίου.

4. Άλλες γεωφυσικές μέθοδοι: Πέρα από τις ραδιομετρικές ένας αριθμός άλλων γεωφυσικών μεθόδων έχει χρησιμοποιηθεί στην έρευνα ουρανίου. Οποσδήποτε με τις μεθόδους αυτές δεν γίνεται άμεσος εντοπισμός της μεταλλοφορίας ουρανίου αλλά

εντοπίζονται είτε οι δομές που ευνοούν τη συγκέντρωση ουρανίου είτε άλλα μεταλλικά ορυκτά που μπορούν να απαντούν στην παραγένεση. Πιο διαδεδομένες είναι οι μέθοδοι μαγνητικές, ηλεκτρομαγνητικές (κυρίως VLF), ηλεκτρικές (ειδ. αντίσταση, επαγομένη πόλωση) και σπανιότερες είναι οι βαρυτομετρικές και οι σεισμικές.

5. Νέες μέθοδοι και τεχνικές: Υπάρχουν λίγες πιθανώς ενδιαφέρουσες τεχνικές που δοκιμάζονται σε ερευνητικό επίπεδο μολονότι δεν χρησιμοποιούνται σε πλατειά έκταση. Αυτές περιλαμβάνουν τη ραδιογενή θερμότητα, το ήλιο, το ραδιογενή μόλυβδο, τον παραμένοντα μαγνητισμό και τη θερμοφωταύγεια.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μέθοδοι και τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην έρευνα για ουράνιο καλύπτουν ένα πλατύ φάσμα γεωεπιστημών από την κλασσική γεωλογία, την κοιτασματολογία, τη γεωχημεία, τη γεωφυσική κ.ά.

Πρέπει όμως να τονισθεί ότι παρά τη συμμετοχή ενός μεγάλου αριθμού γεωεπιστημόνων διαφόρων ειδικοτήτων σ' ένα ερευνητικό πρόγραμμα ουρανίου καθοριστικής σημασίας και απαραίτητη είναι η συμβολή του γεωλόγου-ερευνητή (exploration geologist) στο όλο πρόγραμμα. Ο γεωλόγος-ερευνητής σχεδιάζει το πρόγραμμα, επιλέγει τις καταλληλότερες μεθόδους και συντονίζει όλες τις εργασίες, αξιολογεί τα αποτελέσματα των ερευνητικών εργασιών και αποφασίζει για τη συνέχιση ή όχι των ερευνών στο τέλος κάθε σταδίου. Ευνόητο είναι ότι ο γεωλόγος-ερευνητής πρέπει να έχει σφαιρική γνώση των μεθόδων και τεχνικών της έρευνας για ουράνιο, καλή γνώση της κοιτασματολογίας του ουρανίου και αξιολογη πείρα στην έρευνα ορυκτών υλών.

Τελειώνοντας θέλουμε να επισημάνουμε ότι η έρευνα για ραδιενεργά μεταλλεύματα στη χώρα δεν έχει προχωρήσει σε μεγάλη έκταση, τουλάχιστο όσον αφορά τα προχωρημένα στάδια. Οι σημαντικές επιτυχίες των ερευνών, κατά τα τελευταία χρόνια, και η διαπίστωση αποθεμάτων ουρανίου σε μερικές περιοχές δείχνουν ότι το δυναμικό σε ουράνιο της Χώρας είναι αξιόλογο. Για την πλήρη καταγραφή και γνώση του δυναμικού αυτού είναι απαραίτητη η συνέχιση της ενίσχυσης των ερευνών από την Πολιτεία.

Η αναστολή του πυρηνικού προγράμματος ηλεκτροπαραγωγής από την Κυβέρνηση και η δύσκολη κατάσταση στη διεθνή αγορά ουρανίου (υπερπροσφορά ουρανίου και πολύ χαμηλές τιμές, $\approx 20 \$ / \text{lb } \text{U}_3\text{O}_8$), πιστεύουμε ότι δεν πρέπει να επηρεάσουν την πορεία των ερευνητικών μας προγραμμάτων για ουράνιο και αυτό για τρεις κύριους λόγους:

— Γιατί, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η έρευνα για ουράνιο στη Χώρα μας έχει καθυστερήσει σε σύγκριση με τις άλλες δυτικές και τις γειτονικές χώρες.

— Η αγορά του ουρανίου σε μακρόχρονη βάση παρουσιάζει χαρακτηριστική κυκλική συμπεριφορά και η σημερινή κατάσταση είναι ένα χαμηλό σημείο του κύκλου. Όλες οι εκτιμήσεις (Ο.Ο.Σ.Α. και Δ.Ο.Α.Ε., 1982) είναι ότι στα επόμενα χρόνια θα υπάρξει ανάκαμψη της αγοράς και στη δεκαετία του 1990 θα υπάρξει μεγαλύτερη ζήτηση από προσφορά.

— Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί μεταξύ της έρευνας για ουράνιο και της

εξαγωγής του από τα εργοστάσια εμπλουτισμού είναι περίπου 10 χρόνια. Έτσι το ουράνιο που θα ανακαλυφθεί σήμερα θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί βιομηχανικά στη δεκαετία του 1990.

Συνεπώς η γνώση του δυναμικού σε ουράνιο, ενός σημαντικού ενεργειακού αλλά και στρατηγικού μετάλλου, θα βοηθήσει σημαντικά τον σωστό προγραμματισμό της ενεργειακής πολιτικής της χώρας και πρέπει να ενισχυθεί η έρευνα για τον εντοπισμό οικονομικά εκμεταλλεύσιμων κοιτασμάτων.