



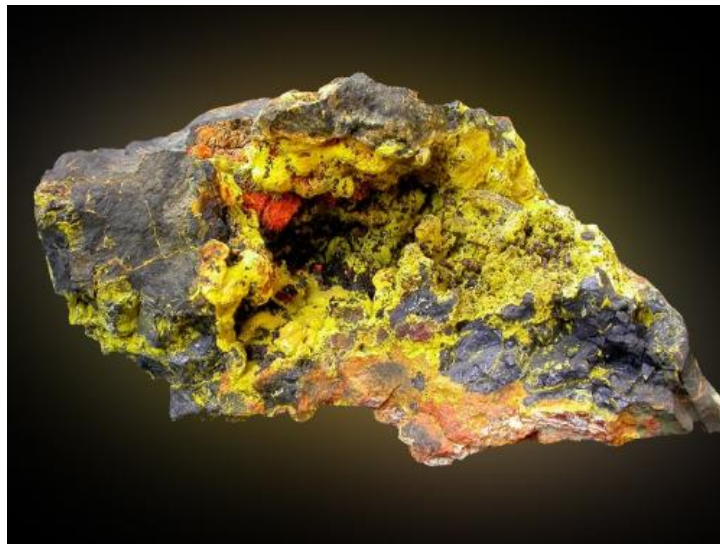
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΑΓΓΙΡΑΣ
ΑΕΜ 5140

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ
ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2023





ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΜΑΓΓΙΡΑΣ

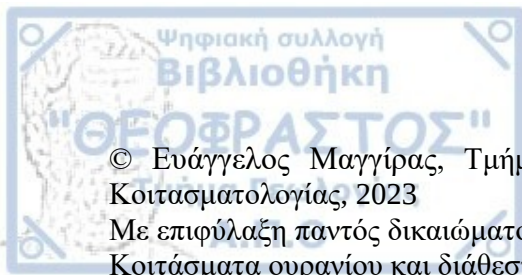
ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΠΥΡΗΝΙΚΩΝ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Καθηγητής

© Ευάγγελος Μαγγίρας, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Ευάγγελος Μαγγίρας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2023
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.
Κοιτάσματα ουρανίου και διάθεση πυρηνικών αποβλήτων – *Διπλωματική Εργασία*

© Evangelos Mangiras, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2023
All rights reserved.
Uranium deposits and nuclear waste disposal – *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: ... Ουράνιο



Κοιτάσματα ουρανίου και διάθεση πυρηνικών αποβλήτων

Ευάγγελος Μαγγίρας

Η παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη του στοιχείου ουρανίου (U), τα κοιτάσματα αυτού σε παγκόσμια κλίμακα, καθώς και την διάθεση των πυρηνικών αποβλήτων. Πρόκειται για ένα ραδιενεργό στοιχείο το οποίο χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο για αρκετές δεκαετίες. Τα κοιτάσματα στα οποία μπορεί να βρεθεί εκμεταλλεύσιμη ποσότητα ουρανίου συναντώνται σε διάφορα μέρη του πλανήτη ενώ οι τύποι αυτών των κοιτασμάτων είναι ποικίλοι. Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα τα βρίσκουμε στο Καζακστάν, την Αυστραλία, την Ρωσία, την Αφρική και τον Καναδά. Τα πυρηνικά απόβλητα μπορεί να είναι από αδιάφορα έως και εξαιρετικά ραδιενεργά γι' αυτό και η συλλογή και απόθεση αυτών θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή και με συγκεκριμένες διαδικασίες για την ελαχιστοποίηση του κινδύνου.



ABSTRACT

Uranium deposits and nuclear waste disposal

Evangelos Mangiras

This diploma thesis focuses on the study of the element uranium (U), its deposits in global scale and the waste disposal management. Uranium is a radioactive element used from people for many decades. The deposits of exploitable uranium are spread all over the world and the types of those deposits are diverse. Large deposits can be found in Kazakhstan, Russia, Australia, Africa and Canada. Nuclear wastes can be from unconcerned up to extremely radioactive and so their collection and disposal should be extremely cautious and under precise procedures in order to minimize the hazard .



ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	2
2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΟΥΡΑΝΙΟ	4
3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ	7
3.1. ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ	7
3.2. ΠΟΛΙΤΙΚΕΣ	8
4. ΤΥΠΟΙ ΟΥΡΑΝΙΟΥ	11
4.1. ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ	15
4.2. ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕ ΓΡΑΝΙΤΗ.....	15
4.3. ΠΟΛΥΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΣΥΜΠΛΕΓΜΑ ΙΟCG ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΟΥΣ	15
4.4. ΣΧΕΤΙΖΟΜΕΝΑ ΜΕ ΗΦΑΙΣΤΕΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ	15
4.5. ΜΕΤΑΣΩΜΑΤΙΚΑ	16
4.6. ΜΕΤΑΜΟΡΦΙΚΑ.....	16
4.7. ΠΡΟΤΕΡΟΖΩΙΚΗΣ ΑΣΥΜΦΩΝΙΑΣ.....	16
4.8. ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗ ΣΩΛΗΝΑ ΛΑΤΥΠΟΠΑΓΟΥΣ	17
4.9. ΨΑΜΜΙΤΙΚΑ	17
4.10. ΠΑΛΑΙΟ-ΧΑΛΑΖΙΟ-ΚΡΟΚΑΛΟΕΙΔΟΥΣ ΣΥΣΣΩΜΑΤΩΜΑΤΟΣ.....	18
4.11. ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ	18
4.12. ΛΙΓΝΙΤΗ-ΑΝΘΡΑΚΑ	18
4.13. ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ	19
4.14. ΦΩΣΦΟΡΙΚΑ	19
4.15. ΜΑΥΡΟΥ ΣΧΙΣΤΟΛΙΘΟΥ	19
5. ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ	20
5.1. ΩΚΕΑΝΙΑ	21
5.1.1 <i>Olympic Dam, Νότια Αυστραλία</i>	22
5.2. ΑΣΙΑ.....	23
5.2.1. <i>Καζακστάν</i>	24
5.2.2. <i>Ρωσία</i>	25
5.3. ΕΥΡΩΠΗ	26
5.4. ΚΑΝΑΔΑΣ, Η.Π.Α. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΚΑΙ ΝΟΤΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ	29
5.4.1. <i>Καναδάς, λεκάνη Athabasca, Saskatchewan</i>	29
5.4.2. <i>Η.Π.Α.</i>	31
5.4.3. <i>Κεντρική και Νότια Αμερική</i>	31
5.5. ΑΦΡΙΚΗ	33
6. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΟΥΣ	34
7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	37
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	38



Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε το Νοέμβριο του 2021 από τον Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Βασίλειο Μέλφο, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για την υπόδειξη, την καθοδήγηση και τις συμβουλές του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.

Στο πλαίσιο της αναζήτησης και μελέτης των χρήσεων και των παγκόσμιων κοιτασμάτων ουρανίου, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει αυτά και να εξετάσει την χρησιμότητα του ουρανίου αλλά και την παρουσία του στον παγκόσμιο χάρτη μέσα από τα ήδη αναγνωρισμένα του κοιτάσματα.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον 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 οικογένειά μου για τη στήριξή τους σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου.



1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το ουράνιο ανακαλύφθηκε το 1789 από τον Martin Heinrich Klaproth (1743-1817), φαρμακοποιό και καθηγητή χημείας στο Πανεπιστήμιο του Βερολίνου. Ο Klaproth εντόπισε το στοιχείο όταν ανέλυσε τον πισσουρανίτη από το ορυχείο George Wagsfort στο Johanngeorgenstadt, Sachsisches Erzgebirge (Saxonian Ore Mountains). Η πρώτη ονομασία που προτάθηκε ήταν Uranit, που άλλαξε το 1790 σε ουράνιο, το όνομα του οποίου που προήλθε από τον πλανήτη Ουρανό που ανακαλύφθηκε το 1781 από τον Friedrich Wilhelm Herschel (1738-1822).

Παρά το γεγονός ότι ο Klaproth ανακάλυψε το ουράνιο, δεν κατάφερε να παράγει το νέο στοιχείο στην μεταλλική του κατάσταση. Η θέρμανση του "gelben Urankalks" (κίτρινος ασβέστης ουρανίου) με αναγωγικές ουσίες οδήγησε μόνο σε μαύρο οξειδίο. Άλλες ενώσεις ουρανίου που παρήχθησαν ήδη από το 1789 όπως τα νιτρικά άλατα, θειικό, φωσφορικό, οξικό και κάλιο- και διουανικό νάτριο ($\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Ο Klaproth καθιέρωσε ωστόσο τις σημαντικές ιδιότητες του ουρανίου για εμπορική εφαρμογή, όπως για παράδειγμα το χρωματικό αποτέλεσμα σε ένα γυαλί.

Τα ορυκτά ουρανίου είχαν παρατηρηθεί από τους ανθρακωρύχους για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν από τη χημική τους ταυτοποίηση, και είχαν προκαλέσει ποικίλες εικασίες σχετικά με τη σύστασή τους. Αναφορές για ουρανίτη των ορεινών όγκων της Σαξονίας (Erzgebirge) βρίσκονται από το 1565 όπου υπάρχει η έκφραση "Bechblende", Άλλες αναφορές για τον ουρανίτη χρονολογούνται από τα έτη 1727 (Joachimsthal, Erzgebirge) και 1763 (Wittichen, Schwarzwald/Black Forest), όπου το αναφέρουν ως "schwarze bleyschwere ErztArth" (μαύρο, βαρύ μολυβδόχο μετάλλευμα). Πράσινες και κίτρινες μαρμαρυγίες και ώχρες, όπου για πρώτη φορά το 1778 υποπτεύθηκαν σύνδεση τους με το ουράνιο, θα μπορούσαν αργότερα να καθιερωθούν ως ορυκτά του ουρανίου από τον Klaproth.

Το όνομα "torbernite", που πήρε το όνομά του από το σουηδικό χημικό To(r)bern Olof Bergman (1735-1784), επινοήθηκε το 1786 από τον Abraham Gottlob Werner (1749-1817), δηλαδή πριν από την ανακάλυψη του ουρανίου. Ένα άλλο εντυπωσιακά χρωματισμένο ορυκτό του ουρανίου, ο Ωτουνίτης (autunite), αν και ήταν ήδη γνωστός από διάφορες τοποθεσίες στις αρχές του 18ου αιώνα, πήρε το όνομά του το 1852 από την τοποθεσία ανακάλυψής του κοντά στο Autun στο βορειοανατολικό Massif Central, όπου ανακαλύφθηκε το 1800 από τον Joseph-Francois de Champeaux de Saucy (1775-1845). Παλαιότερες έγχρωμες εικόνες των ορυκτών του ουρανίου χρονολογούνται από το 1797, στις

οποίες απεικονίζονται κίτρινοι και πράσινοι κρύσταλλοι από το Cornwell της Αγγλίας. Κατά τη διάρκεια των πρώτων δεκαετιών του 19ου αιώνα, το μέταλλευμα ουρανίου ανακτάται μόνο ως παραπροϊόν στη Σαξονία, τη Βοημία και την Κορνουάλη. Περίπου το 1850, ξεκινάει η εξόρυξη ουρανίου ως κύριο προϊόν στο Joachimsthal που βρίσκεται στην περιοχή της Βοημίας (Τσεχία). Η πρώτη ανάκτηση μεταλλεύματος ουρανίου στη Βόρεια Αμερική αναφέρθηκε το 1871 από την περιοχή της Central City, Κολοράντο. Στην Κορνουάλη, το ορυχείο South Terras άνοιξε για παραγωγή ουρανίου το 1873. Κατά τη διάρκεια του 19ου αιώνα, επιπλέον διακοπτόμενη ή περιστασιακή εξόρυξη μεταλλεύματος ουρανίου έχει λάβει χώρα στο Autunois/Massif Central, στο Oberpfalz (Upper Palatinate) στη Βαυαρία και στο Billingen/Σουηδία.

Παρά το γεγονός ότι ο Klaproth από το 1789 ακόμη είχε ανακαλύψει το ουράνιο σαν στοιχείο, μόλις το 1841 ο Γάλλος χημικός Eugène-Melchior Péligot έδειξε ότι η μαύρη μεταλλική ουσία που βρήκε ο Klaproth ήταν στην πραγματικότητα η ένωση διοξειδίου του ουρανίου. Ο Péligot παρασκεύασε το πραγματικό μέταλλο ουρανίου με αναγωγή του τετραχλωριούχου ουρανίου με μέταλλο καλίου.

Πριν από την ανακάλυψη και τη αποσαφήνιση της πυρηνικής σχάσης, οι λίγες πρακτικές χρήσεις του ουρανίου (και αυτές ήταν πολύ μικρές) ήταν για τον χρωματισμό των κεραμικών και ως καταλύτης σε ορισμένες εξειδικευμένες εφαρμογές. Σήμερα, το ουράνιο έχει μεγάλη αξία για πυρηνικές εφαρμογές, τόσο στρατιωτικές όσο και εμπορικές, και ακόμη και τα χαμηλής ποιότητας μεταλλεύματα έχουν μεγάλη οικονομική αξία. Το μέταλλο ουρανίου παράγεται συνήθως με τη διαδικασία Ames, η οποία αναπτύχθηκε από τον Αμερικανό χημικό F.H. Spedding και τους συναδέλφους του το 1942 στο Πολιτειακό Πανεπιστήμιο της Iowa, στο Ames. Κατά τη διαδικασία αυτή, το μέταλλο προκύπτει από τετραφθοριούχο ουράνιο με θερμική αναγωγή με μαγνήσιο.

Το στοιχείο ουράνιο έγινε αντικείμενο έντονης μελέτης και ευρύτερου ενδιαφέροντος αφότου οι Γερμανοί χημικοί Otto Hahn και Fritz Strassmann ανακάλυψαν στα τέλη του 1938 το φαινόμενο της πυρηνικής σχάσης στο ουράνιο όταν αυτό βομβαρδίζεται από αργά νετρόνια. Ο ιταλικής καταγωγής Αμερικανός φυσικός Ενρίκο Φέρμι πρότεινε (αρχές του 1939) ότι τα νετρόνια ενδέχεται να είναι μεταξύ των προϊόντων της σχάσης και θα μπορούσαν έτσι να συνεχίσουν τη σχάση ως αλυσιδωτή αντίδραση. Ο ουγγρικής καταγωγής Αμερικανός φυσικός Leo Szilard, ο αμερικανός φυσικός Herbert L. Anderson, ο Γάλλος χημικός Frédéric Joliot-Curie και οι συνεργάτες τους επιβεβαίωσαν (1939) την πρόβλεψη αυτή. Μεταγενέστερη έρευνα έδειξε ότι κατά τη σχάση απελευθερώνονται κατά μέσο όρο 21/2 νετρόνια ανά άτομο. Οι ανακαλύψεις αυτές οδήγησαν στην πρώτη αυτοσυντηρούμενη

πυρηνική αλυσιδωτή αντίδραση (2 Δεκεμβρίου 1942), στην πρώτη δοκιμή ατομικής βόμβας (16 Ιουλίου 1945), στην πρώτη ατομική βόμβα που έπεσε σε πολεμική επιχείρηση (6 Αυγούστου 1945), στο πρώτο υποβρύχιο με ατομική ισχύ (1955) και στην πρώτη πυρηνική ηλεκτρική γεννήτρια πλήρους κλίμακας (1957).

2. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΟΥΡΑΝΙΟ

Το ουράνιο (U) είναι ραδιενεργό χημικό στοιχείο της σειράς των ακτινιδίων του περιοδικού πίνακα, με ατομικό αριθμό 92. Αποτελεί σημαντικό πυρηνικό καύσιμο. Το ουράνιο αποτελεί περίπου δύο μέρη ανά εκατομμύριο (2 ppm) του φλοιού της Γης. Ορισμένα σημαντικά ορυκτά ουρανίου είναι ο πισσόλιθος (ακάθαρτο U_3O_8), ο ουρανινίτης (UO_2), ο καρνοτίτης, ο ωτουνίτης (ένα φωσφορικό ουράνιο ασβεστίου) και ο τορμπερνίτης (ένα φωσφορικό ουράνιο χαλκού). Αυτά και άλλα ανακτήσιμα μεταλλεύματα ουρανίου, ως πηγές πυρηνικών καυσίμων, περιέχουν πολλαπλάσια ενέργεια από όλα τα γνωστά ανακτήσιμα κοιτάσματα ορυκτών καυσίμων. Μια λίβρα ουρανίου αποδίδει τόση ενέργεια όση 1,4 εκατομμύρια κιλά (3 εκατομμύρια λίβρες) άνθρακα.

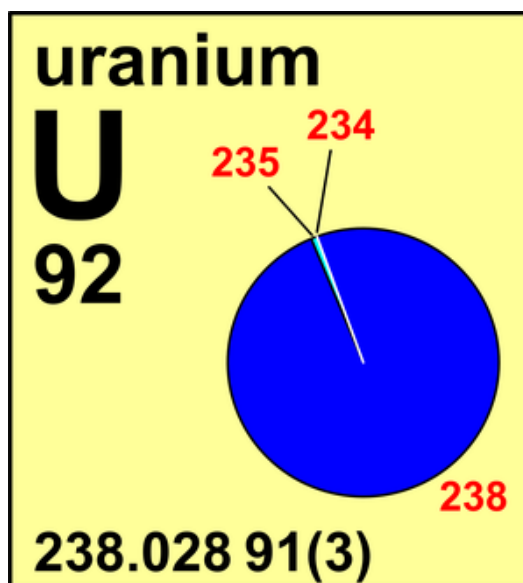
Το ουράνιο είναι ένα πυκνό, σκληρό μεταλλικό στοιχείο με ασημί λευκό χρώμα. Είναι όλκιμο, εύπλαστο και ικανό να δέχεται υψηλή στίλβωση. Στον αέρα το μέταλλο αμαυρώνεται και όταν διασπάται σε μικρά κομμάτια, ξεσπά σε φλόγες.

Το όνομά του προέρχεται από τον πλανήτη Ουρανό, ο οποίος στη ρωμαϊκή μυθολογία ήταν ο "Πατέρας Ουρανός". Ο Γερμανός χημικός Martin-Heinrich Klaproth ανακάλυψε το στοιχείο το 1789, μετά την ανακάλυψη του πλανήτη από τον William Hershel το 1781. Το μεταλλικό ουράνιο απομονώθηκε για πρώτη φορά από τον Γάλλο χημικό Eugène-Melchior Peligot το 1841.

Το 1969, η Επιτροπή για τις Ισοτοπικές Αφθονίες και τα Ατομικά Βάρη (Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights) συνέστησε $A_r(\text{U}) = 238,029(1)$ για το ατομικό βάρος του U με βάση τους φασματομετρικούς προσδιορισμούς μάζας και μια προσεκτική ανάλυση της μεταβλητότητας του $x(^{235}\text{U})$ στη φύση. Το 1979, η Επιτροπή έλαβε υπόψη της μεταγενέστερες μελέτες των διακυμάνσεων της αφθονίας του ^{235}U σε κανονικές πηγές, οι οποίες δικαιολογούσαν μια ακριβέστερη τιμή για το πρότυπο ατομικό βάρος, οδηγώντας έτσι σε $A_r(\text{U}) = 238,0289(1)$. Το ατομικό βάρος και η αβεβαιότητα του ουρανίου άλλαξαν σε 238,028 91(3) το 1999 με βάση νέες βαθμονομημένες φασματοσκοπικές μετρήσεις μάζας.

Σε μια κλίμακα ταξινομημένη σύμφωνα με την αυξανόμενη μάζα των πυρήνων τους, το ουράνιο είναι ένα από τα βαρύτερα από όλα τα στοιχεία που απαντώνται στη φύση (το υδρογόνο είναι το ελαφρύτερο). Το ουράνιο είναι 18,7 φορές πιο πυκνό από το νερό. Όπως και άλλα στοιχεία, έτσι και το ουράνιο εμφανίζεται σε διάφορες ελαφρώς αποκλίνουσες μορφές, γνωστές ως "ισότοπα" (Σχ. 2.1). Αυτά τα ισότοπα διαφέρουν μεταξύ τους ως προς τον αριθμό των μη φορτισμένων σωματιδίων (νετρονίων) στον πυρήνα τους. Το ουράνιο που συναντάται στη φύση, όπως για παράδειγμα βρίσκεται στο φλοιό της Γης, είναι ένα μείγμα κυρίως δύο ισωτόπων: του ουράνιο-238 (U-238), που αντιπροσωπεύει το 99,3% και του ουράνιο-235 (U-235) περίπου το 0,7%. Το ισότοπο U-235 είναι σημαντικό επειδή υπό ορισμένες συνθήκες μπορεί εύκολα να διασπαστεί, αποδίδοντας με αυτό τον τρόπο πολλή ενέργεια. Ως εκ τούτου, λέγεται ότι είναι "σχάσιμο" δηλαδή μπορεί να διασπαστεί και χρησιμοποιούμε την έκφραση "πυρηνική σχάση". Εν τω μεταξύ, όπως όλα τα ραδιενεργά ισότοπα, αποσυντίθενται. Το U-238 διασπάται πολύ αργά, καθώς ο χρόνος ημιζωής του είναι περίπου ίσος με την ηλικία της Γης (4500 εκατομμύρια χρόνια). Αυτό σημαίνει ότι είναι ελάχιστα ραδιενεργό, λιγότερο από πολλά άλλα ισότοπα σε πετρώματα και άμμο. Παρ' όλα αυτά παράγει 0,1 Watt/τόνο ως θερμότητα διάσπασης και αυτό είναι αρκετό για να θερμάνει τον πυρήνα της Γης. Το U-235 διασπάται ελαφρώς ταχύτερα.

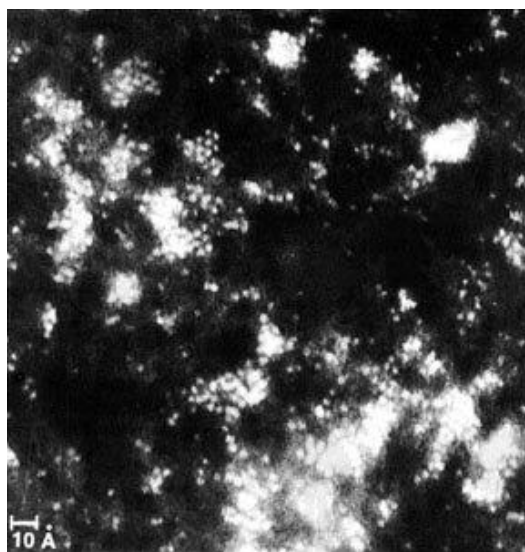
Η διατύπωση του περιοδικού συστήματος από τον Ρώσο χημικό Ντμίτρι Μεντελέγιεφ το 1869 εστίασε την προσοχή στο ουράνιο ως το βαρύτερο χημικό στοιχείο, μια θέση που κράτησε μέχρι την ανακάλυψη του πρώτου υπερουρανίου στοιχείου, του νεπτουνίου, το 1940.



Σχ. 2.1. $A_r(\text{U}) = 238.028\,91(3)$ (CIAAW, 1999)

Το ουράνιο, ραδιενεργό σε όλα τα ισότοπά του, αποτελείται από ένα μείγμα ουρανίου-238 (99,27%, 4.510.000.000 χρόνια ημιζωής), ουρανίου-235 (0,72%, 713.000.000 χρόνια ημιζωής) και ουρανίου-234 (0,006%, 247.000 χρόνια ημιζωής). Αυτοί οι μεγάλοι χρόνοι ημιζωής καθιστούν δυνατό τον προσδιορισμό της ηλικίας της Γης με τη μέτρηση των ποσοτήτων μολύβδου, το οποίο αποτελεί παράγωγο του τελικού προϊόντος διάσπασης του ουρανίου, σε ορισμένα πετρώματα που περιέχουν ουράνιο. Το ουράνιο-238 είναι ο γονέας και το ουράνιο-234 μία από τις θυγατρικές της σειράς διάσπασης του ραδιενεργού ουρανίου- το ουράνιο-235 είναι ο γονέας της σειράς διάσπασης του ακτινίου.

Η σχάση πραγματοποιείται με αργά νετρόνια στο σχετικά σπάνιο ισότοπο ουράνιο-235 (το μοναδικό σχάσιμο υλικό που απαντάται στη φύση), το οποίο πρέπει να διαχωριστεί από το άφθονο ισότοπο ουράνιο-238 για τις ποικίλες χρήσεις του (Σχ 2.2). Το ουράνιο-238, ωστόσο, αφού απορροφήσει νετρόνια και υποστεί αρνητική διάσπαση βήτα, μεταστοιχειώνεται στο συνθετικό στοιχείο πλουτόνιο, το οποίο είναι σχάσιμο με αργά νετρόνια. Το φυσικό ουράνιο, συνεπώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αντιδραστήρες μετατροπής και αναπαραγωγής, στους οποίους η σχάση επιτελείται από το σπάνιο ουράνιο-235 και ταυτόχρονα παράγεται πλουτόνιο από τη μεταστοιχείωση του ουρανίου-238. Το σχάσιμο ουράνιο-233 μπορεί να συντεθεί για χρήση ως πυρηνικό καύσιμο από το μη σχάσιμο ισότοπο του θορίου Th-232, το οποίο υπάρχει σε αφθονία στη φύση. Το ουράνιο είναι επίσης σημαντικό ως το πρωτογενές υλικό από το οποίο έχουν παρασκευαστεί τα συνθετικά στοιχεία τρανσουρανίου με αντιδράσεις μεταστοιχείωσης.



Σχ. 2.2 Ηλεκτρονική μικρογραφία διέλευσης μεμονωμένων ατόμων ουρανίου και μικροκρυστάλλων που προέκυψε από διάλυμα οξικού ουρανυλίου. (Albert V. Crewe, Enrico Fermi Institute, University of Chicago)

3. ΧΡΗΣΕΙΣ ΟΥΡΑΝΙΟΥ

3.1. Στρατιωτικές

Πυρομαχικά που περιέχουν απεμπλουτισμένο ουράνιο (DU) έχουν χρησιμοποιηθεί από το ΝΑΤΟϊκές και Αμερικανικές δυνάμεις κατά τη διάρκεια των πολεμικών επιχειρήσεων στο Ιράκ (1991), τη Βοσνία (1994), το Κοσσυφοπέδιο και τη Σερβία(1999) (Giannardi, C., & Dominici, D. (2003)). Πρόσφατα, το ΝΑΤΟ παρέδωσε ορισμένες πληροφορίες σχετικά με 112 τοποθεσίες που αποτέλεσαν στόχο των όπλων απεμπλουτισμένου ουρανίου στο Κοσσυφοπέδιο στην Ομάδα Εργασίας του Περιβαλλοντικού Προγράμματος των Ηνωμένων Εθνών για τα Βαλκάνια.(UNEP BTF). Το Νοέμβριο του 2000 πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για την ανίχνευση της μόλυνσης από ομάδα της UNEP σε 11 από τις 112 τοποθεσίες.

Ο πόλεμος του Κόλπου κατά του Ιράκ το 1991 ήταν η πρώτη γνωστή σύγκρουση όπου οι σφαίρες DU χρησιμοποιήθηκαν σε μεγάλη ποσότητα (περίπου 300 τόνοι DU) (Πίνακας ΣΤ στο US DoD, 1998). Οι συνέπειες για την υγεία του ιρακινού πληθυσμού και των βετεράνων των ΗΠΑ εξακολουθούν να είναι υπό μελέτη. Η έκθεση στο DU προς το παρόν δεν θεωρείται η πιο πιθανή αιτία του Συνδρόμου του Πολέμου του Κόλπου που εμφανίζουν εκατοντάδες χιλιάδες βετεράνοι (Hodgson and Kipen, 1999)- από την άλλη πλευρά, οι επιπτώσεις του DU που έμεινε στο ιρακινό έδαφος είναι δύσκολο να αποδειχθεί, λόγω του μεγάλου αριθμού τοξικών ουσιών που διασκορπίστηκαν στο περιβάλλον κατά τη διάρκεια του πολέμου και την υποβάθμιση της υγιεινής που προκλήθηκε από το εμπάργκο που επιβλήθηκε στη χώρα από το 1991. Εκθέσεις σχετικά με τις πιθανές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον από τη χρήση του DU έχουν εμφανιστεί τα τελευταία χρόνια. Αυτές περιλαμβάνουν μελέτες σχετικά με τον κίνδυνο για το Jefferson Proving Ground, μια αμερικανική εγκατάσταση για τη δοκιμή πυρομαχικών DU (Ebinger, 1998) και την εκτίμηση κινδύνου για τον πληθυσμό, ως αποτέλεσμα των βομβαρδισμών στο Κοσσυφοπέδιο και του πολέμου του Κόλπου (UNEP BTF, 1999- Fetter & von Hippel, 1999).

Το DU μπορεί να ληφθεί ως παραπροϊόν κατά τη διαδικασία εμπλουτισμού του φυσικού ουρανίου στην παραγωγή πυρηνικών καυσίμων και για στρατιωτικές εφαρμογές. Καθώς το μέταλλευμα που εξάγεται είναι φυσικού ουρανίου, το DU συνδέεται με μια μειωμένη αλυσίδα ραδιενεργών ισοτόπων, που σχηματίζονται από προϊόντα διάσπασης β-πομπού ^{238}U και ^{235}U που έχουν μικρότερους χρόνους διάσπασης: ^{234}Th (24 ημέρες), ^{234}Pa (1,17 λεπτά) και ^{234}Pa (6,7 ώρες), ^{231}Th (25,5 ώρες). Το DU μπορεί επίσης να ληφθεί ως παραπροϊόν κατά την επανεπεξεργασία αναλωμένων καυσίμων πυρηνικών εργοστασίων, και

επομένως μπορεί να υπάρχουν ίχνη τρανσουρανικών στοιχείων και ^{236}U . Σύμφωνα με επίσημες πληροφορίες, το DU που χρησιμοποιείται από το Υπουργείο Άμυνας των ΗΠΑ περιέχει περίπου 0,2% ^{235}U και ίχνη ^{234}U , ^{236}U .

Το μεταλλικό ουράνιο έχει υψηλή πυκνότητα (19 g/cm³), είναι πυροφορικό και φθηνότερο από το βολφράμιο, και έτσι ήταν ελκυστικό για τον αμερικανικό στρατό για την παραγωγή θωρακισμένων πυρομαχικών που διαπερνούν θώρακες από τη δεκαετία του 1960. Μέχρι το 1973 προτιμούνταν τα κράματα βολφραμίου, έως ότου υιοθετήθηκε ένα κράμα DU με 0,75% τιτάνιο (U-3/4Ti) για πυρομαχικά κατασκευασμένα από λεπτό κύλινδρο σε κράμα DU που περιβάλλεται από ελαφρύτερο υλικό. Όπλα DU ανήκουν ή βρίσκονται υπό ανάπτυξη σε διάφορες χώρες (Σαουδική Αραβία, Γαλλία, Ηνωμένο Βασίλειο, Ισραήλ, Πακιστάν, Ρωσία, Ταϊλάνδη και Τουρκία). Η χρήση πυρομαχικών DU προκαλεί την έκθεση των ανθρώπων τόσο αμέσως όσο και μετέπειτα, επειδή το DU διασκορπίζεται ως αερόλυμα όταν το βλήμα προσκρούει σε σκληρό στόχο και στη συνέχεια πέφτει σε περιορισμένη έκταση. Η μόλυνση όλων των περιβαλλοντικών μητρών λαμβάνει χώρα και οι επιπτώσεις στην υγεία των ανθρώπων που ζουν κοντά πρέπει να πρέπει να λαμβάνονται υπόψη, τόσο για τις τοξικολογικές βλάβες όσο και για τον ραδιολογικό κίνδυνο. Μεταξύ των διαφόρων ισοτόπων που υπάρχουν στο DU, όπως δηλώθηκε, τα ^{238}U , ^{234}U και ^{235}U προκαλούν ανησυχία. Όσον αφορά τον χημικό κίνδυνο, το νεφρό έχει προσδιορίζεται ως το όργανο-στόχος, ανεξάρτητα από την υποτιθέμενη οδό παραδοχής. Λόγω της επικρατούσας ακτινοβολίας μικρής εμβέλειας που εκπέμπεται, ο κίνδυνος που συνδέεται με έκθεση σε ιονίζουσα ακτινοβολία προέρχεται κυρίως από την κατάποση και την εισπνοή. Η εξωτερική ακτινοβολία από το έδαφος είναι λιγότερο σημαντική. (Giannardi, C., & Dominici, D. 2003, World Health Organization. (2001).

3.2. Πολιτικές

Πριν από την ανακάλυψη της ραδιενεργότητάς του, το ουράνιο χρησιμοποιούνταν κυρίως για τον χρωματισμό κεραμικών και γυαλιού (World Health Organization. 2001). Depleted uranium : sources, exposure and health effects.). Διουρανικά του νατρίου και του αμμωνίου χρησιμοποιούνταν ως κίτρινο γυαλί, αν και μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε αυξημένη περιεκτικότητα σε συγκεντρώσεις για την παραγωγή κρεμ, πορτοκαλί, καφέ, πράσινων ή μαύρων υαλωμάτων. Στο γυαλί, το ουράνιο χρησιμοποιείται συνήθως σε συγκεντρώσεις της τάξης του 0,1% έως 2% κατά μάζα, παράγει μια φθορίζουσα

κίτρινη ή ανοιχτή πράσινη λάμψη που καθιστά εύκολη την αναγνώριση αυτού του τύπου γυαλιού. Παραγωγή γυαλιού που περιέχει ουράνιο συνεχίστηκε μέχρι τα μέσα του 20ου αιώνα και ονομαζόταν με διάφορα ονόματα ανάλογα με το χρώμα του. Για παράδειγμα, οι δημοφιλείς γερμανικές ονομασίες περιλαμβάνουν το "Annagelb" για το κίτρινο γυαλί και το "Annagruen" για το πράσινο γυαλί, ενώ στο Ηνωμένο Βασίλειο και στις ΗΠΑ το γυαλί αυτό αναφέρεται συνήθως ως "γυαλί βαζελίνης". Το απεμπλουτισμένο ουράνιο δυνητικά χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα ως βάση μιας κίτρινης σκόνης σμάλτου που προορίζεται για την κατασκευή εμβλημάτων και κοσμημάτων (NUREG, 1999).

Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1980 το ουράνιο και το απεμπλουτισμένο ουράνιο χρησιμοποιούνταν επίσης για την παραγωγή οδοντιατρικών πορσελάνων για την απόκτηση φυσικού χρώματος και φθορισμού (Sairenji et al., 1982 Noël et al., 1988 και NUREG, 1999). Συγκεντρώσεις ουρανίου από 170 έως 13 300 mg/kg εντοπίστηκαν σε 15 τύπους σκονών πορσελάνης από έναν κατασκευαστή (Noël et al., 1988), ενώ οι Sairenji et al. (1982) εντόπισαν συγκεντρώσεις ουρανίου από 0,5 έως 24,7 mg/kg σε οκτώ τύπους σκονών πορσελάνης που κυκλοφόρησαν στη Σουηδία. Η Εθνική Ρυθμιστική Αρχή των ΗΠΑ (NRC) έχει ορίσει το πρότυπο για το ουράνιο στις οδοντοστοιχίες σε 500 mg/kg (NUREG, 1999).

Το ουράνιο έχει επίσης κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί ως καταλύτης σε ορισμένες εξειδικευμένες χημικές αντιδράσεις και σε φωτογραφικά φιλμ. Για παράδειγμα, η βιομηχανία πετρελαίου και φυσικού αερίου συνεχίζει να χρησιμοποιεί υλικό νικελίου ουρανίου (10%-65% DU) σε σχετικά μεγάλες ποσότητες ως καταλύτη. Η πυρηνική βιομηχανία έχει επίσης χρησιμοποιήσει μικρές ποσότητες DU για τη χημική απορρόφηση του αερίου τριτίου για τους σκοπούς των μεταφορών και για την παραγωγή πλουτωνίου. Κατά την περίοδο μεταξύ της ανακάλυψης της ραδιενέργειας και της πυρηνικής σχάσης, το μέταλλευμα ουρανίου (συνήθως ως πισσολιθικό) εξορυσσόταν κυρίως για την εξαγωγή ραδίου (προϊόν διάσπασης του ουρανίου) το οποίο χρησιμοποιούνταν για ιατρικούς σκοπούς και για την παρασκευή φωτεινών βαφών.

Η πυκνότητα του DU το καθιστά κατάλληλο υλικό για τη θωράκιση της ακτινοβολίας γάμμα. Για το λόγο αυτό, το ουράνιο έχει χρησιμοποιηθεί εκτενώς στην ιατρική, στους τομείς της έρευνας και των μεταφορών (NUREG, 1999) ως συλλέκτες δέσμης ακτινοβολίας και ως δοχεία για τη μεταφορά πυρηνικών πηγών. Έτσι, το DU έχει χρησιμοποιηθεί συχνά ως ασπίδα για ραδιενεργές πηγές σε μονάδες τηλεθεραπείας που χρησιμοποιούνται στη θεραπεία του καρκίνου και του σε γραμμικούς επιταχυντές. Οι τυπικές ποσότητες DU που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον εξοπλισμό κυμαίνονται από δεκάδες έως εκατοντάδες χιλιόγραμμα.

Οι τρέχουσες εξελίξεις στη διαχείριση αποβλήτων έχουν επίσης χρησιμοποιήσει το DU ως υλικό θωράκισης. Για παράδειγμα, τα δοχεία που χρησιμοποιούνται για τη φύλαξη των χρησιμοποιημένων καυσίμων στη βιομηχανία πυρηνικής ενέργειας έχουν κατασκευαστεί συνδυάζοντας DU με σκυρόδεμα (π.χ. DUCRETE™ (www.starmet.com, 2001)). Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση της θωράκισης από ακτινοβολία γάμμα με λεπτότερα τοιχώματα θωράκισης και πολύ μικρότερο βάρος σε σχέση με τα παραδοσιακά δοχεία αποθήκευσης. Αξιοσημείωτες ποσότητες (δηλ. χιλιάδες κιλά) DU έχουν χρησιμοποιηθεί ως υλικό θωράκισης σε δοχεία που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ραδιενεργών πηγών, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται στην ιατρική και τη μηχανική βιομηχανία.

Σκάφη και εξοπλισμός, όπως βάρκες και οι δορυφόροι απαιτούν τη μεταφορά μεγάλης ποσότητας βάρους με τη μορφή ερμαρίου. Η υψηλή πυκνότητα και η σχετική διαθεσιμότητα του DU το καθιστούν δυνητικά κατάλληλο υλικό για τη χρήση αυτή καθώς πληροί τις απαιτήσεις βάρους, ελαχιστοποιώντας παράλληλα την ποσότητα του χώρου που καταλαμβάνεται από το υλικό του ερμαρίου. Οι βιομηχανίες στις οποίες έχει αναφερθεί η χρήση DU για τους σκοπούς αυτούς περιλαμβάνουν τη βιομηχανία αεροσκαφών, τη στρατιωτική αεροδιαστημική βιομηχανία και την εξερεύνηση και παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου. (NUREG, 1999). Έχει επίσης προταθεί ότι έχει χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή πυθμένων για σκάφη αναψυχής.

Τέλος, η σημαντικότερη χρήση του ουρανίου εμφανίζεται στα πυρηνικά όπλα και την παραγωγή ενέργειας. Από το 1938, όταν ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά η πυρηνική σχάση, η εξόρυξη ουρανίου επεκτάθηκε λόγω της ανάγκης για εμπλουτισμένο ουράνιο ως καύσιμο για χρήση σε πυρηνικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής και για πυρηνικά όπλα. Το πρώτο βήμα της διαδικασίας είναι η εξόρυξη- ιστορικά, αυτή περιλάμβανε την υπόγεια ή επιφανειακή απομάκρυνση των μεταλλευτικών πετρωμάτων και τώρα περιλαμβάνει επίσης την υγρή επί τόπου έκπλυση μη ενοποιημένων κοιτασμάτων (η τελευταία μέθοδος χρησιμοποιήθηκε εκτενώς στην Τσεχική Δημοκρατία και στην πρώην Ανατολική Γερμανία). Τα επόμενα στάδια της παραγωγής καυσίμου ουρανίου, που αποσκοπούν στη συμπίκνωση του ουρανίου, πραγματοποιούνται συνήθως κοντά στο ορυχείο για εξοικονόμηση κόστους μεταφοράς. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από τη φύση του μεταλλεύματος και μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανικές διαδικασίες όπως θραύση, κοσκίνισμα και επίπλευση, ακολουθούμενες από όξινη ή αλκαλική έκπλυση, εκχύλιση με διαλύτες ή ανταλλαγή ιόντων και τελικά κατακάθιση. Το προϊόν αυτών των σταδίων συγκέντρωσης περιέχει ίσως 40%-70% ουράνιο κατά βάρος και γενικά αποστέλλεται σε μια κεντρική

μονάδα επεξεργασίας για περαιτέρω εξευγενισμό. Ο εν λόγω εξευγενισμός γίνεται είτε με χώνευση με νιτρικό οξύ και εκχύλιση του προκύπτοντος νιτρικού ουρανιού σε οργανικό διαλύτη, είτε με μετατροπή σε UF₆ και κλασματική απόσταξη αυτής της πτητικής ένωσης. Σε αυτό το στάδιο, όλα τα φυσικά ραδιενεργά παράγωγα έχουν απομακρυνθεί από το ουράνιο, το οποίο θεωρείται χημικά καθαρό. Ωστόσο, λόγω της εγγενούς ραδιενεργού φύσης του ουρανίου, μετά από αυτό το στάδιο καθαρισμού η παρουσία άλλων ραδιενεργών στοιχείων στις αλυσίδες διάσπασης του ουρανίου θα αρχίσει να αυξάνεται.

4. ΤΥΠΟΙ ΟΥΡΑΝΙΟΥ

Οι γνώσεις μας για τη μεταλλογένεση πολλών κοιτασμάτων ουρανίου, αν και θεωρείται ότι είναι συνολικά ή κατά βάση κατανοητή, είναι σε πολλές περιπτώσεις ανεπαρκείς, αμφίβολες ή διφορούμενες. Αυτό καθίσταται σαφές όταν προσπαθούμε να συμβιβάσουμε αντικρουόμενα δεδομένα από διάφορους γεωεπιστημονικούς χώρους σχετικά με την το ίδιο θέμα. Ορισμένα κοιτάσματα είναι καλά ερευνημένα, άλλα, μεταξύ των οποίων και μερικά σημαντικά, δεν είναι. Σε άλλες περιπτώσεις, μια πολύπλοκη, πολυφασική εξέλιξη των κοιτασμάτων δυσχεραίνει σημαντικά την αποκρυπτογράφηση της πραγματικής προέλευσης της μεταλλοφορίας. Με βάση θεωρητικά και εμπειρικά συμπεράσματα και ερμηνείες των διαθέσιμων δεδομένων, προκύπτουν ενδιαφέρουσες έννοιες και υγιή μοντέλα σχετικά με τη μεταλλογένεση των κοιτασμάτων ουρανίου τα οποία έχουν προωθηθεί από πολλούς εξειδικευμένους γεωλόγους. Παρά τις όποιες μελέτες που έχουν εκπονηθεί για την έρευνα του ουρανίου και έχουν ως αποτέλεσμα την ανάδειξη των θεμελιωδών συστατικών του, η πραγματική προέλευση πολλών κοιτασμάτων εξακολουθεί να είναι εντελώς ή εν μέρει αινιγματική.

Οι αρχές της μεταλλογένεσης είναι σήμερα επαρκώς κατανοητές μόνο για ορισμένους

τύπους κοιτασμάτων, συμπεριλαμβανομένων των κοιτασμάτων κροκαλοπαγή χαλαζία του κατώτερου Προτεροζωικού, του rollfront ψαμμίτη, διεισδυτικών, φωσφορίτη και ορισμένες επιφανειακές αποθέσεις. Επιπλέον, η γένεση των Ερκύνιων, φλεβικών κοιτασμάτων τύπου Limousin έχουν τεκμηριωθεί ικανοποιητικά. Όλα τα άλλα μεταλλεύματα ουρανίου είναι κατανοητά σε μικρότερη έκταση και σε διαφορετικούς βαθμούς.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, ο σχηματισμός κοιτασμάτων ουρανίου μπορεί να αποδοθεί σχηματικά σε τρεις γενετικές αιτίες κατηγορίες (Σχ 3.1 , Σχ 3.2), καθεμία από τις οποίες

σχετίζεται με ένα από τα τρία κυρίαρχα καθεστώτα του γεωλογικού κύκλου της εξέλιξης του φλοιού. Οι κατηγορίες αυτές είναι οι εξής:

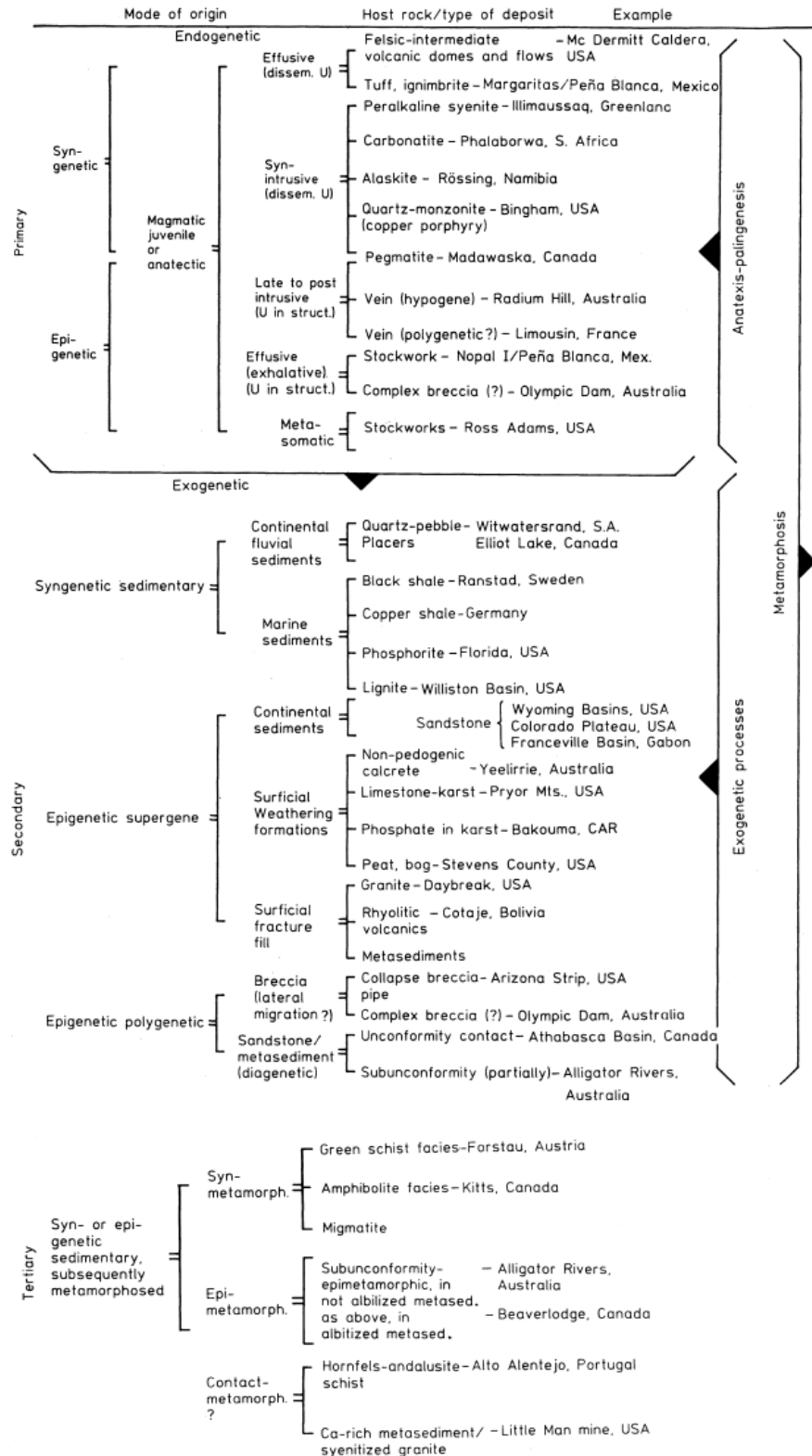
1. Πρωτογενή κοιτάσματα ουρανίου που σχηματίστηκαν από ενδογενείς μαγματογενείς/ανατεκτονικές διεργασίες.

2. Δευτερογενή κοιτάσματα ουρανίου που σχηματίστηκαν από μεταγενέστερες εξωγενείς, δηλαδή υπεργενείς και/ή ιζηματογενείς (συμπεριλαμβανομένων των διαγενετικών) διεργασίες από τους πρωτογενείς τύπους.

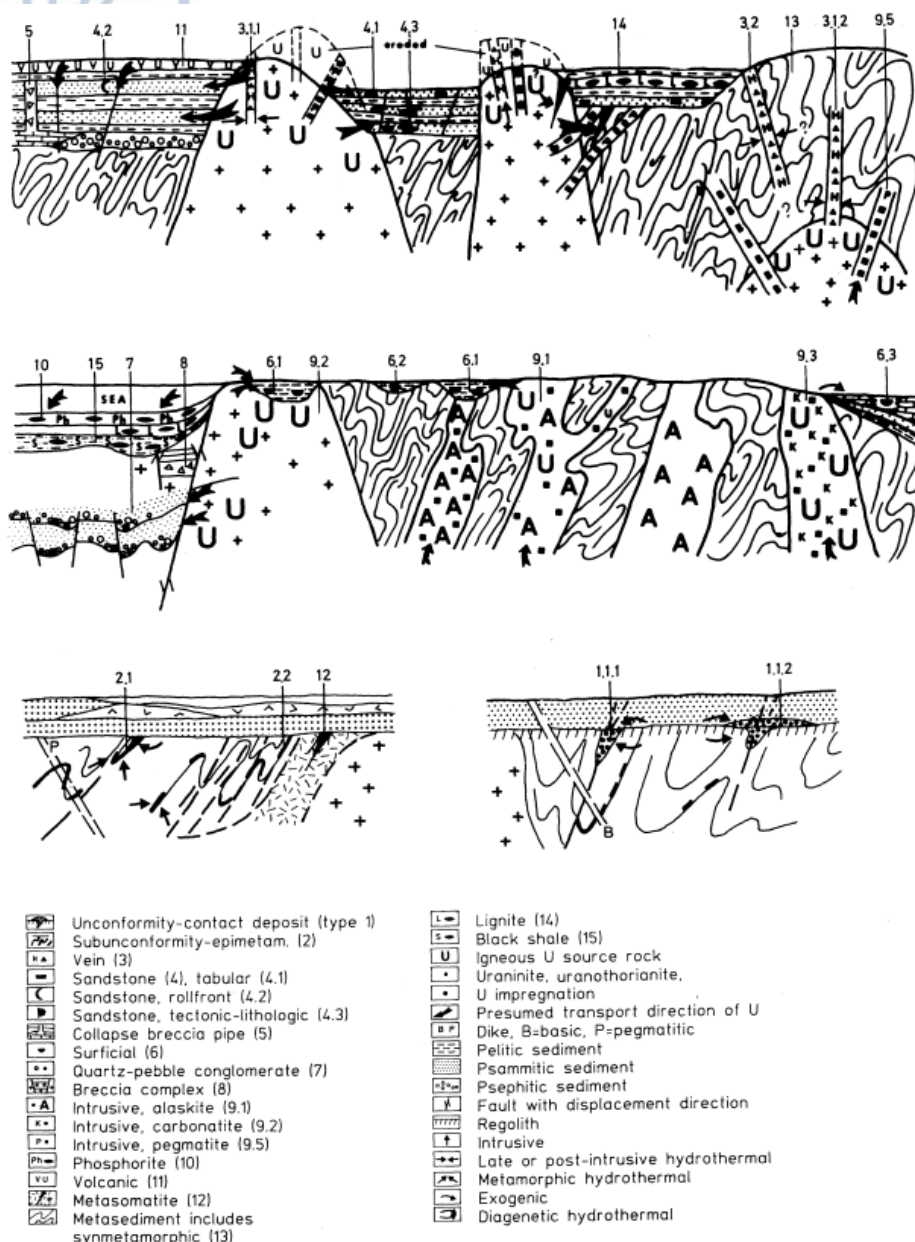
3. Τριτογενή κοιτάσματα ουρανίου που σχηματίστηκαν με ενδογενείς μεταμορφικές διεργασίες από πρωτογενή και δευτερογενή κοιτάσματα.

Ο κύκλος αυτός κλείνει εάν τα κοιτάσματα των δευτερογενών και τριτογενών κατηγοριών μετασχηματίζονται εκ νέου από αντένδειξη ή παλιγγενεσία σε εκείνα της πρωτογενούς κατηγορίας. Από την άλλη πλευρά, οι εξωγενείς διεργασίες μπορούν να απελευθερώσουν ουράνιο από το μεταμορφωμένο περιβάλλον και να το επανασυγκεντρώσουν για να σχηματίσουν δευτερογενούς κατηγορίας.

Ο σχηματισμός κοιτασμάτων ουρανίου, ωστόσο, δεν περιορίζεται σε αυτά τα κύρια γενετικά καθεστώτα. Αντίθετα, σύνθετες πολυγενετικές διαδικασίες μπορεί να είναι υπεύθυνες για τη γένεση αρκετών κοιτασμάτων. Ορισμένοι από τους τύπους κοιτασμάτων δεν μπορούν να αποδοθούν ούτε στη μία ούτε στην άλλη κατηγορία.



Σχ 3.1 Σχηματική μεταλλογενετική συσχέτιση κοιτασμάτων και εμφανίσεων ουρανίου. Σημείωση: Ορισμένα από τα κοιτάσματα είναι διαβαθμίζονται μεταξύ τους, άλλα είναι πολυφασικής προέλευσης, ενώ για ορισμένους τύπους κοιτασμάτων η προέλευση είναι αβέβαιη. Τα κοιτάσματα αυτά αποδίδονται εδώ σε διεργασίες που υποτίθεται ότι δημιούργησαν το τελικό στάδιο της μεταλλοφορίας ή/και τη διαμόρφωση του κοιτάσματος. (Dahlkamp 1993).



Σχ. 3.2 Σχηματικό διάγραμμα του περιφερειακού δομικού και λιθολογικού περιβάλλοντος των κοιτασμάτων και των εμφανίσεων ουρανίου και των υποθετικών διαδρομών μετανάστευσης του ουρανίου για το σχηματισμό των κοιτασμάτων (Dahlkamp 1993).

Τα κοιτάσματα ουρανίου παγκοσμίως ομαδοποιούνται σε 15 κύριους τύπους με βάση το γεωλογικό τους περιβάλλον. Ορισμένες κατηγορίες έχουν διάφορους υποτύπους. Η πιο πρόσφατη γεωλογική ταξινόμηση καθορίστηκε από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) το 2013 και έχει υιοθετηθεί στο Κόκκινο Βιβλίο (Red Book) από το 2014. Οι τύποι κοιτασμάτων έχουν θεμελιώδη χαρακτηριστικά και κριτήρια αναγνώρισης, και ως προς αυτό, ενώ ονομάζονται κυρίως με βάση το πέτρωμα υποδοχής, οι τύποι αποτελούν ουσιαστικά εμπειρικά μοντέλα, που βασίζονται σε παρατηρήσιμα χαρακτηριστικά.

Σε αυτόν τον τύπο περιλαμβάνονται αυτά που σχετίζονται με μια σειρά από διεισδυτικά πετρώματα, όπως ο αλασκίτης, ο γρανίτης, ο πηγματίτης και οι μονζονίτες. Τα σημαντικότερα παγκόσμια κοιτάσματα περιλαμβάνουν τα Rössing και Husab (Ναμίμπια), Kvanefjeld (Γροιλανδία), περιοχή Bancroft (Καναδάς) και Palabora (Νότια Αφρική). Στο Radium Hill της Νότιας Αυστραλίας εξορύχθηκε το διάστημα 1954 έως 1962, ενώ μεγάλα σώματα χαμηλού βαθμού μεταλλοφορίας εμφανίζονται στην επαρχία Olary.

4.2. Σχετιζόμενα με Γρανίτη

Δύο υποτύποι: Ενδογρανιτικός και Περιγρανιτικός: Ενδογρανιτικός και Περιγρανιτικός. Περιλαμβάνει πολλά κοιτάσματα φλεβών σε γρανίτη, κοιτάσματα σε παρακείμενα μετα-ιζηματογενή πετρώματα, καθώς και διάχυτη μεταλλοφορία σε γρανίτη. Οι διαστάσεις των ανοιγμάτων έχουν μεγάλο φάσμα, από τις ογκώδεις φλέβες πισσόλιθου στο κοιτάσμα Jachymov (Τσεχική Δημοκρατία), έως τις στενές ρωγμές, ρήγματα και σχισμές γεμάτες πισσόλιθους σε ορισμένα μεταλλευτικά σώματα στην Ευρώπη, τον Καναδά και την Αυστραλία.

4.3. Πολυμεταλλικό σύμπλεγμα IOCG λατυποπαγούς

Το Olympic Dam είναι το μεγαλύτερο κοιτάσμα ουρανίου στον κόσμο και αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο τμήμα των πόρων ουρανίου της Αυστραλίας, αν και ανακτάται μόνο ως παραπροϊόν μαζί με το χαλκό. Τόσο αυτό όσο και η Carrapateena απαντούν σε ένα σύμπλεγμα λατυποπαγούς-γρανίτη πλούσιο σε αιματίτη στο Gawler Craton, το οποίο επικαλύπτεται από περίπου 300 μέτρα επίπεδων ιζηματογενών πετρωμάτων της γεωλογικής επαρχίας Stuart Shelf.

4.4. Σχετιζόμενα με ηφαιστειακή δραστηριότητα

Τα κοιτάσματα ουρανίου αυτού του τύπου εμφανίζονται μέσα και κοντά σε ηφαιστειακές καλδέρες, σε όξινα έως ενδιάμεσα ηφαιστειακά πετρώματα και σχετίζονται με ρήγματα και ζώνες διάτμησης. Το ουράνιο εμφανίζεται σε φλέβες ή είναι διάσπαρτο και συνήθως συνδέεται με μολυβδαίνιο και φθορίτη. Σημαντικά κοιτάσματα αυτού του τύπου απαντώνται στην Κίνα (Xiangshan), το Καζακστάν, τη Μογγολία (Dornod και Gurvanbulag), τη Ρωσική Ομοσπονδία (καλδέρα Streltonvska, η σημαντικότερη εμφάνιση), το Περού και το Μεξικό. Στην Αυστραλία, είναι μικρότερης σημασίας - οι Ben Lomond και Maureen στο Queensland είναι οι σημαντικότερες.

4.5. Μετασωματικά

Τα μετασωματικά κοιτάσματα αποτελούνται από ανομοιόμορφα διασκορπισμένο ουράνιο σε δομικά παραμορφωμένα πετρώματα που έχουν επηρεαστεί από μετασωματισμό νατρίου ή/και καλίου. Σημαντικά παραδείγματα αυτού του τύπου περιλαμβάνουν την περιοχή Elkon (Ρωσία), την περιοχή Lagoa Real-Caetite (Βραζιλία), τα κοιτάσματα Novokonstantinovskoye και εκείνα κοντά στο Zheltye Vody (Ουκρανία), τα κοιτάσματα Valhalla και Skal (Αυστραλία), Michelin (Καναδάς) και Lianshanguan (Κίνα).

4.6. Μεταμορφικά

Τα μεταμορφικού τύπου κοιτάσματα ουρανίου απαντούν σε μετασχιστώματα ή/και μεταβολκανικά που δεν σχετίζονται με τον γρανίτη. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα κοιτάσματα στο Forstau (Αυστρία), το κοιτάσμα Shinkolobwe (Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό), το Rozna (Τσεχική Δημοκρατία), το Jaduguda (Ινδία), την περιοχή Kokshetau (Καζακστάν) και το Port Radium (Καναδάς). Στην Αυστραλία, το μεγαλύτερο αυτού του τύπου ήταν το κοιτάσμα ουρανίου/σπάνιων γαιών Mary Kathleen κοντά στο Mount Isa, Queensland, το οποίο εξορύχθηκε το 1958-63 και το 1976-82. Το εν λόγω μεταλλευτικό σώμα εμφανίζεται σε μια ζώνη αλλοίωσης πλούσιας σε ασβέστιο μέσα σε μεταμορφωμένα πετρώματα του Προτεροζωικού. Το κοιτάσμα Itataia στη Βραζιλία φιλοξενεί φωσφορικά άλατα σε μάρμαρο.

4.7. Προτεροζωικής ασυμφωνίας

Τα κοιτάσματα που σχετίζονται με ασυμφωνία προκύπτουν από γεωλογικές αλλαγές που συμβαίνουν κοντά σε μεγάλες ασυμφωνίες του Προτεροζωικού. Κάτω από την ασυμφωνία, τα μετασχιστολιθικά πετρώματα που φιλοξενούν την μεταλλοφορία είναι συνήθως διαρρηγμένα και σπασμένα. Οι υπερκείμενοι νεότεροι Προτεροζωικοί ψαμμίτες είναι συνήθως απαράμορφωτοι. Τα κοιτάσματα που σχετίζονται με τις ασυμμορφίες αποτελούν περίπου το ένα τρίτο των πόρων ουρανίου του δυτικού κόσμου και περιλαμβάνουν ορισμένα από τα μεγαλύτερα και πλουσιότερα κοιτάσματα. Τα ορυκτά είναι ουρανίτης και πρισωλιούχος που συνδέονται με ισχυρή διάλυση χαλαζία. Τα κυριότερα κοιτάσματα απαντώνται στον Καναδά (λεκάνη Athabasca, Saskatchewan και λεκάνη Thelon, Northwest Territories)- και στην Αυστραλία (περιοχή Alligator Rivers στο γεωσύγκλινο Pine Creek, Northern Territories και περιοχή Rudall River, Western Australia).

4.8. Κατάρρευση σωλήνα λατυποπαγούς

Αυτά εμφανίζονται σε κυκλικές, κάθετες δομές κατάρρευσης γεμάτες με χονδροειδή θραύσματα και μια λεπτή μήτρα των ιζημάτων. Οι σωλήνες κατάρρευσης έχουν διάμετρο 30-200 μέτρα και βάθος έως και 1000 μέτρα. Η μεταλλοφορία του ουρανίου βρίσκεται ως επί το πλείστο μέσα σε διαπερατούς ψαμμιτικά λατυποπαγή εντός του σωλήνα. Το κύριο ορυκτό του ουρανίου είναι ο πισσόλιθος. Όλα τα παραδείγματα αυτού του τύπου βρίσκονται κοντά στο Grand Canyon (ΗΠΑ), κυρίως στη Strip της Αριζόνα.

4.9. Ψαμμιτικά

Τα κοιτάσματα ουρανίου από ψαμμίτη απαντώνται σε ψαμμίτες μέσους έως χονδρόκοκκους που έχουν αποτεθεί σε ηπειρωτικό ποτάμιο ή οριακό θαλάσσιο ιζηματογενές περιβάλλον. Αδιαπέραστες μονάδες σχιστόλιθου/ιλυόλιθου παρεμβάλλονται στην ιζηματογενή ακολουθία και συχνά εμφανίζονται αμέσως πάνω και κάτω από τον μεταλλοφόρο ψαμμίτη. Το ουράνιο καταβυθίζεται υπό αναγωγικές συνθήκες που προκαλούνται από μια ποικιλία αναγωγικών παραγόντων εντός του ψαμμίτη, όπως: ανθρακούχα υλικά (αποσπασματικά φυτικά υπολείμματα, άμορφο χουμικό άλας, θαλάσσια φύκη), σουλφίδια (πυρίτης, H_2S), υδρογονάνθρακες και παρεμβαλλόμενη βασική ηφαιστειακή τέφρα με άφθονα σιδηρομαγνησιούχα ορυκτά (π.χ. χλωρίτης).

Τα κοιτάσματα ψαμμίτη αποτελούν περίπου το 28% των παγκόσμιων βεβαιωμένων πόρων ουρανίου και το 40% των συνεπαγόμενων πόρων και είναι μείζονος οικονομικής σημασίας στο Καζακστάν, το Ουζμπεκιστάν, τις ΗΠΑ και τον Νίγηρα. Τα κοιτάσματα αυτού του τύπου είναι συνήθως χαμηλού έως μεσαίου βαθμού (0,05-0,35%U) και τα μεμονωμένα κοιτάσματα είναι μικρού έως μεσαίου μεγέθους (που κυμαίνονται έως και 50.000 tU κατ' ανώτατο όριο). Οι υποτύποι Roll-front εξορύσσονται με μεθόδους επί τόπου έκπλυσης (ISL). Το Imouraren (Νίγηρας) και ορισμένα κοιτάσματα του Καζακστάν είναι μεγαλύτερα. Τα κύρια πρωτογενή ορυκτά U είναι ο ουρανινίτης και ο κοφινίτης. Οι ΗΠΑ διαθέτουν μεγάλους πόρους σε κοιτάσματα ψαμμίτη στην περιοχή της Western Cordillera και το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ουρανίου προέρχεται από αυτά τα κοιτάσματα, πρόσφατα με την μέθοδο ISL. Η λεκάνη του ποταμού Powder στο Wyoming, το οροπέδιο του Κολοράντο και η πεδιάδα της ακτής του Κόλπου στο νότιο Τέξας είναι σημαντικές επαρχίες ουρανίου από ψαμμίτη. Άλλα μεγάλα κοιτάσματα ψαμμίτη εμφανίζονται στον Νίγηρα, την Γκαμπόν (λεκάνη Franceville) και στο ανατολικό τμήμα της Αφρικής, στον σχηματισμό Karoo (Μαλάουι, Τανζανία, Ζάμπια, Νότια Αφρική).

4.10. Παλαιο-χαλαζίο-κροκαλοειδούς συσσωματώματος

Το θραυσματικό ουράνιο απαντάται σε ορισμένα συσσωματώματα χαλαζιακών κροκάλων του Αρχαϊκού-πρώιμου Παλαιοπροτεροζωικού αιώνα, τα οποία επικαλύπτουν ασύμφωνα το γρανιτικό και μεταμορφωμένο υπόβαθρο. Τα κοιτάσματα ουρανίου από κροκάλους χαλαζία-χαλίκια εμφανίζονται σε κροκάλους που αποτέθηκαν πριν από 3070-2300 εκατομμύρια χρόνια. Η ποτάμια μεταφορά του θραυσματικού ουρανινίτη ήταν δυνατή εκείνη την εποχή λόγω της επικρατούσας ανοξικής ατμόσφαιρας. Μπορεί να υπάρχουν σπάνιες γαίες και θόριο. Όταν το ουράνιο ανακτάται ως παραπροϊόν της εξόρυξης χρυσού, όπως στο Witwatersrand στη Νότια Αφρική, η περιεκτικότητα μπορεί να είναι μόλις 0,01% U. Σε κοιτάσματα που κυριαρχεί το ουράνιο, όπως στο Elliot Lake στον Καναδά, ο μέσος βαθμός κυμαίνεται μέχρι και 0,15%U.

4.11. Επιφανειακά

Τα επιφανειακά κοιτάσματα ουρανίου ορίζονται εν γένει ως νεαρές (τριτογενείς έως πρόσφατες) συγκεντρώσεις ουρανίου κοντά στην επιφάνεια σε ιζήματα ή εδάφη. Τα κοιτάσματα αυτά έχουν συνήθως δευτερογενή ορυκτά τσιμεντοποίησης, συμπεριλαμβανομένων του ασβεστίτη, του γύψου, του δολομίτη, του οξειδίου του σιδήρου και του χαλίτη. Τα κοιτάσματα ουρανίου σε ασβεστόλιθο αποτελούν τα μεγαλύτερα από τα επιφανειακά κοιτάσματα. Η μεταλλοφορία του ουρανίου βρίσκεται σε λεπτόκοκκη επιφανειακή άμμο και άργιλο, που συνδέονται με ανθρακικά άλατα ασβεστίου και μαγνησίου. Η μεταλλοφορία του ουρανίου είναι συνήθως καρνοτίτης (ένυδρο οξύδιο του ουρανίου-βαναδίου-καλίου). Σχηματίστηκαν εκεί όπου οι πλούσιοι σε ουράνιο βασικοί σχηματισμοί (γρανίτες, ψαμμίτες) αποσαθρώθηκαν βαθιά σε ημίξηρο έως ξηρό κλίμα και αποτέθηκαν σε ιζήματα πληρώματος κοιλάδων κατά μήκος των καναλιών αποστράγγισης του Τριτογενούς, καθώς και σε ιζήματα λιμνών playa. Το κοιτάσμα Yeelirrie στη Δυτική Αυστραλία είναι ένα από τα μεγαλύτερα επιφανειακά κοιτάσματα στον κόσμο. Άλλα σημαντικά κοιτάσματα στην Ουάσινγκτον περιλαμβάνουν τα Lake Way, Centipede, Thatcher Soak και Lake Maitland. Τα κοιτάσματα ουρανίου από ασβεστολιθικό υλικό απαντώνται επίσης στην κεντρική έρημο Ναμίμπ της Ναμίμπια, με μεγαλύτερο το κοιτάσμα Langer Heinrich, επίσης Trekkorje.

4.12. Λιγνίτη-άνθρακα

Το ουράνιο εμφανίζεται σε λιγνίτη ή άνθρακα αναμεμειγμένο με ορυκτά θραύσματα (ιλύς, άργιλος) και σε αμέσως παρακείμενα στρώματα ανθρακούχου λάσπης και ιλύος/αμμόλιθου. Η περιεκτικότητα σε πυρίτη είναι υψηλή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν

εκείνα στη Βόρεια και Νότια Ντακότα (ΗΠΑ), Mulga Rock (Δυτική Αυστραλία), Springbok Flats (Νότια Αφρική), Nizhneylyiskoye (Καζακστάν) και Freital (Γερμανία). Το ουράνιο έχει απορροφηθεί σε ανθρακική ύλη και κατά συνέπεια δεν έχουν σχηματιστεί διακριτά ορυκτά ουρανίου. Εκτιμάται ότι υπάρχουν πάνω από 7 εκατομμύρια τόνοι ουρανίου σε αυτά τα κοιτάσματα, αλλά το μεγαλύτερο μέρος είναι προς το παρόν μη οικονομικό.

4.13. Ανθρακικά

Τα κοιτάσματα φιλοξενούνται σε ασβεστόλιθο ή δολομίτη, συχνά σε σχέση με καρστ, ρήγματα, διακλάσεις και πτυχώσεις. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τα μεγάλα στρωματογενή κοιτάσματα Tummalapalle (Ινδία), Mailuu-Suu (Κιργιζία) και Bentou-Sanbaqi (Κίνα).

4.14. Φωσφορικά

Οι ιζηματογενείς φωσφορίτες θαλάσσιας προέλευσης περιέχουν χαμηλές συγκεντρώσεις ουρανίου σε λεπτόκοκκο απατίτη. Οι συγκεντρώσεις ουρανίου είναι πολύ χαμηλές - 0,005-0,015%U. Πολύ μεγάλα κοιτάσματα φωσφορίτη εμφανίζονται στις ΗΠΑ (Φλόριντα και Αϊντάχο), στο Μαρόκο, στην Ιορδανία και σε άλλες χώρες της Μέσης Ανατολής και εξορύσσονται για φωσφορικά άλατα. Σε περιπτώσεις παραγωγής φωσφορικού οξέος, το ουράνιο εξάγεται μερικές φορές ως υποπροϊόν, για παράδειγμα στη Φλόριντα. Τα ηπειρωτικά κοιτάσματα φωσφορικών αλάτων σπάνια περιέχουν ουράνιο, με εξαίρεση την Μπακούμα (Κεντροαφρικανική Δημοκρατία). Οι εκτιμήσεις κυμαίνονται σε 22 εκατομμύρια τόνους ουρανίου σε αυτά τα κοιτάσματα, αλλά το μεγαλύτερο μέρος είναι υποοικονομικό επί του παρόντος, ακόμη και ως υποπροϊόν της παραγωγής φωσφορικών λιπασμάτων, εκτός εάν αναπτυχθούν νέες μέθοδοι.

4.15. Μαύρου σχιστόλιθου

Η μεταλλοφορία ουρανίου που σχετίζεται με τον μαύρο σχιστόλιθο αποτελείται από θαλάσσιο σχιστόλιθο πλούσιο σε οργανική ύλη ή πυριτικό σχιστόλιθο πλούσιο σε άνθρακα, που περιέχει διασκορπισμένο ουράνιο προσροφημένο σε οργανικό υλικό και αργίλους. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τον ουρανιούχο σχιστόλιθο Alum στη Σουηδία, τα κοιτάσματα Rudnoye και Zapadno-Kokpatasskaya στο Ουζμπεκιστάν, τον σχιστόλιθο Chatanooga στις ΗΠΑ, κοιτάσματα στην αυτόνομη περιοχή Guangxi της Κίνας και το κοιτάσμα Gera-Ronneburg στη Γερμανία. Οι εκτιμήσεις κυμαίνονται σε πάνω από 50 εκατομμύρια τόνους ουρανίου σε αυτά τα κοιτάσματα- είναι ως επί το πλείστον, υποοικονομικά προς το παρόν.

5. ΜΕΓΑΛΥΤΕΡΑ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΑ ΟΥΡΑΝΙΟΥ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Οι πόροι ουρανίου ταξινομούνται με βάση ένα σύστημα (με βάση τη γεωλογική βεβαιότητα και το κόστος παραγωγής) που αναπτύχθηκε για να συνδυάσει τις εκτιμήσεις πόρων από διάφορες χώρες σε εναρμονισμένα παγκόσμια στοιχεία. Οι αναγνωρισμένοι πόροι (που περιλαμβάνουν τους εύλογα εξασφαλισμένους πόρους ή RAR και τους συνεπαγόμενους πόρους ή EAR-I) αναφέρονται σε κοιτάσματα ουρανίου που έχουν οριοθετηθεί με επαρκείς άμεσες μετρήσεις για τη διεξαγωγή μελετών προ-σκοπιμότητας και ενίοτε σκοπιμότητας. Για τους RAR, η υψηλή εμπιστοσύνη στις εκτιμήσεις του βαθμού και της χωρητικότητας είναι γενικά συμβατή με τα πρότυπα λήψης αποφάσεων εξόρυξης. Οι συνεπαγόμενοι πόροι δεν προσδιορίζονται με τόσο υψηλό βαθμό εμπιστοσύνης και γενικά απαιτούν περαιτέρω άμεσες μετρήσεις πριν από τη λήψη απόφασης για εξόρυξη. Οι μη ανακαλυφθέντες πόροι (προγνωστικοί και εκτιμώμενοι) αναφέρονται σε πόρους που αναμένεται να υπάρχουν με βάση τη γεωλογική γνώση των προηγούμενων ανακαλυφθέντων κοιτασμάτων και την περιφερειακή γεωλογική χαρτογράφηση. Οι προβλεπόμενοι πόροι αναφέρονται σε εκείνους που αναμένεται να υπάρχουν σε γνωστές επαρχίες ουρανίου, οι οποίοι γενικά υποστηρίζονται από κάποια άμεσα στοιχεία. Οι υποθετικοί πόροι αναφέρονται σε εκείνους που αναμένεται να υπάρχουν σε γεωλογικές επαρχίες που ενδέχεται να φιλοξενούν κοιτάσματα ουρανίου. Τόσο οι προγνωστικοί όσο και οι κερδοσκοπικοί πόροι απαιτούν σημαντικές εξερευνητικές εργασίες προτού επιβεβαιωθεί η ύπαρξή τους και καθοριστούν οι περιεκτικότητες και οι τόνοι. Οι μη συμβατικοί πόροι ορίζονται ως πόροι πολύ χαμηλής περιεκτικότητας ή πόροι από τους οποίους το ουράνιο μπορεί να ανακτηθεί μόνο ως δευτερεύον υποπροϊόν ή συμποϊόν.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η Αυστραλία κατέχει ηγετική θέση (Σχ. 5.1) με το 28% των παγκόσμιων πόρων που έχουν εντοπιστεί στην κατηγορία <USD 130/kg U (που ισοδυναμεί με USD 50/lb U_3O_8), με πάνω από το 64% του συνολικού εθνικού δυναμικού της Αυστραλίας να σχετίζεται με μία μόνο τοποθεσία, το παγκόσμιας κλάσης κοιτάσμα Olympic Dam.



Σχ. 5.1. Παγκόσμια κατανομή των εντοπισμένων πόρων (<USD 130/kg U κατά την 1η Ιανουαρίου 2019) (Τα κράτη με * υπόκεινται σε εκτίμηση ή μερική εκτίμηση όσων αφορά τα ποσοστά τους) (Geology of Uranium Deposits - World Nuclear Association. (n.d.). World Nuclear Association. 2022)

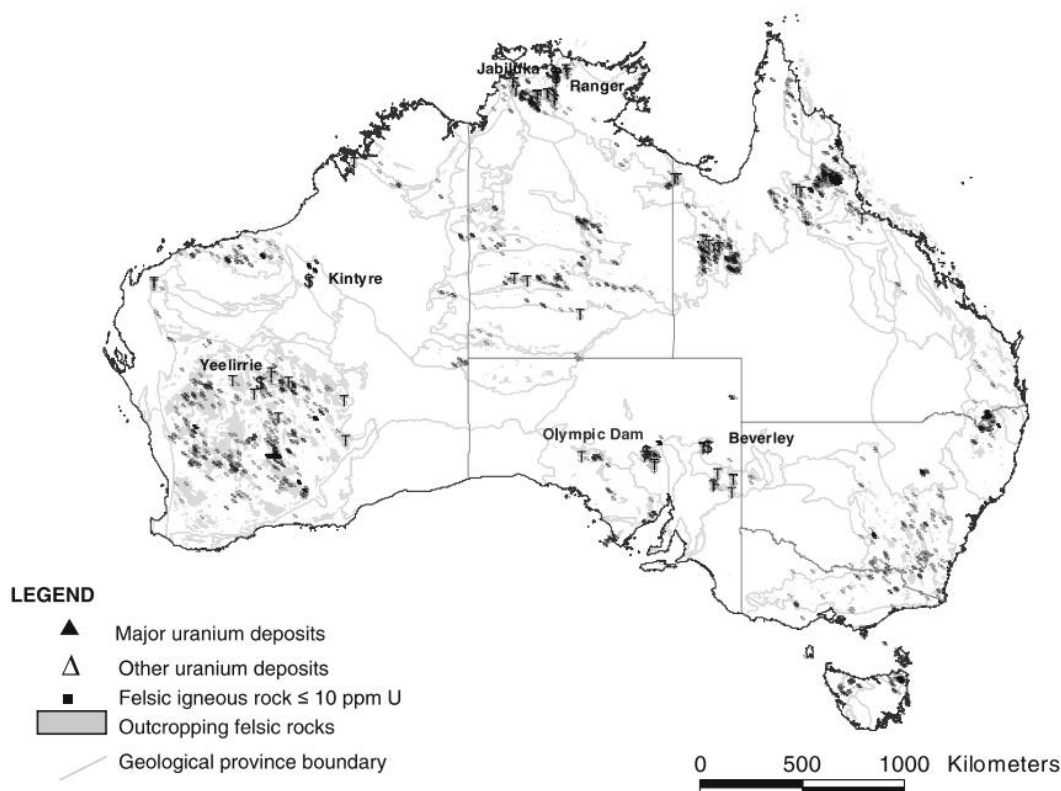
5.1. Ωκεανία

Η Αυστραλία διαθέτει ένα πλούσιο απόθεμα ουρανίου (Σχ 5.2). Αυτό θεωρείται ότι αντικατοπτρίζει την εκτεταμένη τοποθέτηση πυριγενών πετρωμάτων εμπλουτισμένων σε ουράνιο σε τρεις κύριες περιόδους πυριγενούς δραστηριότητας. Ενώ ορισμένα κοιτάσματα ουρανίου φαίνεται να σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια αυτών των πυριγενών γεγονότων, συμπεριλαμβανομένου του γιγαντιαίου κοιτάσματος Olympic Dam, τα περισσότερα σχηματίστηκαν με μεταγενέστερες διεργασίες χαμηλής θερμοκρασίας από εμπλουτισμένα με ουράνιο μητρικά πετρώματα. Από το 1980 έχει γίνει περιορισμένη εξερεύνηση και υπάρχει σημαντικό δυναμικό για την ανακάλυψη διαφόρων τύπων κοιτασμάτων ουρανίου.

Η Αυστραλία διαθέτει τους μεγαλύτερους πόρους ουρανίου χαμηλού κόστους στον κόσμο (675.000t U), με περίπου το 40% των παγκόσμιων πόρων αυτής της κατηγορίας. Περίπου 75 κοιτάσματα ουρανίου, που ποικίλλουν σε μέγεθος από μικρά έως πολύ μεγάλα, είναι διάσπαρτα στην αυστραλιανή ήπειρο. Περίπου το 86% των συνολικών πόρων ουρανίου (1.054.000t U) απαντάται σε δύο κύριους τύπους κοιτασμάτων: συμπλέγματα λατυποπαγούς πλούσια σε αιματίτη και αποθέσεις που σχετίζονται με ασυμμορφία (McKay and Miezitis 2001).

Από τα κοιτάσματα κροκαλοπαγούς πλούσια σε αιματίτη, περίπου το 70% των πόρων απαντάται σε προτεροζωικά γρανιτικά λατυποπαγή πλούσια σε αιματίτη στο Olympic Dam

στη Νότια Αυστραλία, το οποίο είναι το μεγαλύτερο κοίτασμα ουρανίου στον κόσμο. Σε γενικές γραμμές παρόμοια μεταλλοφορία πλούσια σε αιματίτη αξιολογείται σε άλλο σημείο της ίδιας γεωλογικής επαρχίας, στο Prominent Hill. Από τα κοιτάσματα που σχετίζονται με ασυμμορφίες, περίπου το 18% των πόρων σχετίζονται με ασυμμορφίες του Προτεροζωικού, κυρίως στο πεδίο Alligator Rivers, Βόρεια Επικράτεια (Ranger, Jabiluka, Koongarra). Άλλοι σημαντικοί πόροι απαντώνται στα εξής μέρη: Α: κοιτάσματα ουρανίου από ψαμμίτη: αποτελούν περίπου το 6% των νέων πηγών, κυρίως στο πεδίο Frome Embayment, Νότια Αυστραλία (Beverley, Honeymoon) και στην περιοχή Westmoreland, Queensland. Τα επιφανειακά (ασβεστολιθικά) κοιτάσματα αποτελούν περίπου το 4% των πόρων ουρανίου της Αυστραλίας, κυρίως στο κοίτασμα Yeelirrie (Δυτική Αυστραλία).



Σχ. 5.2 Σημαντικά κοιτάσματα ουρανίου της Αυστραλίας σε σχέση με εμφανίσεις ρηξιγενών πετρωμάτων που είναι γνωστό ότι περιέχουν τουλάχιστον 10 ppm ουρανίου. (Lambert, I., McKay, A., and Miezitis, Y., Canberra 1996)

5.1.1 Olympic Dam, Νότια Αυστραλία

Μια σημαντική ανακάλυψη ουρανίου, που προφανώς σχετίζεται εν μέρει με τα βασικά ηφαιστειακά πετρώματα, είναι το πολύ μεγάλο μεταλλευτικό κοίτασμα Cu-U σε πιθανά πετρώματα του Προτεροζωικού στο Olympic Dam (Roxby Downs) της Νότιας Αυστραλίας. Αυτό το τυφλό μεταλλευτικό σώμα, το οποίο καλύπτεται από 350 μέτρα μη

μεταλλοποιημένου πετρώματος, ανακαλύφθηκε χρησιμοποιώντας την ιδέα ότι τα ηπειρωτικά βασάλτικα πετρώματα απελευθερώνουν Cu κατά την αλλοίωση. Το ουράνιο απαντάται εδώ σε αιματιτικό γρανιτικό λατυποπαγές ή αρκόζη πάχους περίπου 800 m που επικαλύπτεται από περισσότερα από 100 m ηφαιστειακών πετρωμάτων που έχουν υποστεί αλλοίωση από αιματίτη-σερικήτη και 100 m σχιστόλιθου. Εμφανίζονται πηχτόλιθος, μπραννερίτης και δαβιδίτης με χαλκοπυρίτη, κοβαλτίτη και χρυσό. Οι REE είναι επίσης σε αφθονία. Τα αδρανή είναι αιματίτης, βαρύτης, φθορίτης, μαγνητίτης, χαλαζίας και σερικήτης. Η προέλευση αυτού του κοιτάσματος, καθώς και ενός παρόμοιου στο Mt. Painter 250 χλμ. ανατολικά, δεν είναι πλήρως κατανοητή, αλλά μπορεί να σχετίζεται κατά κάποιο τρόπο με υποθαλάσσια ηφαιστειότητα. Οι παχιές μονάδες λατυποπαγούς και κροκαλοπαγούς είναι επίσης ένα βασικό στοιχείο, που πιθανώς υποδεικνύει ενεργό ρήγμα κατά μήκος των ορίων της πλατφόρμας. Τα υδροθερμικά διαλύματα που κινούνται προς τα πάνω στις πλευρές μιας ρηχής θαλάσσιας λεκάνης από μια κοντινή διεισδυτική πηγή δημιούργησαν ένα θειούχο περιβάλλον όπου συνάντησαν τα γρανιτικά συντρίμμια. Το ουράνιο, συγκεντρωμένο εδώ με Cu, συνδυάστηκε με Ti που απελευθερώθηκε από τη θείωση των οξειδίων Fe-Ti στον αρκόζη για να σχηματίσει μπραννερίτη και δαβιδίτη. Το μεταλλευτικό σώμα έχει έκταση περίπου 1,5 km επί 0,5 km και πάχος έως 170 m. Περιέχει παχιές ζώνες 0,05-0,10% U_3O_8 σε 1-2% Cu και οι πρώτες εκτιμήσεις αναφέρουν ότι περιέχει περίπου 600000 τόνους U_3O_8 και 11 000000 τόνους Cu. Οι Patterson και Pitman έδωσαν μια εκτίμηση 375000 τόνων U_3O_8 .

5.2. Ασία

Το 2004, οι πόροι ουρανίου στις ασιατικές χώρες που μπορούν να ανακτηθούν σε λιγότερο από 130 δολάρια ανά κιλό U (<USD 130/kgU) ανήλθαν σε περίπου 850 000 τόνους RAR και 450 000 τόνους U σε συνεπαγόμενους πόρους AR ή 26% και 31%, αντίστοιχα, των παγκόσμιων συνολικών πόρων (3,3 εκατ. τόνους U RAR, 1,45 εκατ. τόνους U σε AR) (εξαιρείται το U στο φωσφορίτη) (OECD-NEA/IAEA 2005). Το μεγαλύτερο μέρος αυτών των πόρων απαντάται στο Καζακστάν, τη Μογγολία, την ασιατική Ρωσία και το Ουζμπεκιστάν. Αυτές οι τέσσερις χώρες φιλοξενούν μεγάλα εκμεταλλεύσιμα κοιτάσματα με πόρους άνω των 10 000 t U, ενώ η Κίνα, η Ινδία, η Ιαπωνία, το Κιργιστάν, το Πακιστάν, το Τατζικιστάν και το Τουρκμενιστάν περιείχαν (εξαντλούνται εν μέρει) κυρίως κοιτάσματα μικρού έως μεσαίου μεγέθους (<500 έως 10 000 t U). Μικρές ποσότητες αναφέρονται επίσης από την Ινδονησία, το Ιράν, τη Νότια Κορέα, την Τουρκία και το Βιετνάμ.

5.2.1. Καζακστάν

Κοιτάσματα με εκτιμήσεις πόρων και δυναμικό εξόρυξης είναι γνωστά από έξι περιοχές: Kokshetau (Kokchetav), Β Καζακστάν, Pricaspian, ΝΔ Καζακστάν, λεκάνη Chu-Sarysu, νοτιοκεντρικό Καζακστάν, Λεκάνη Syr-Darya, Ν Καζακστάν, περιοχή Pribalkhash ή KendyktasChuiy-Betpak Dala, ΝΑ Καζακστάν, και λεκάνη Ily, ΝΑ Καζακστάν. Είναι γνωστά κοιτάσματα περιορισμένου οικονομικού ενδιαφέροντος από την περιοχή Turga-Priyrtish, Β Καζακστάν, και τις περιοχές Granitnoye και Zhalanshiksky στο κεντρικό Καζακστάν. Οι κυριότεροι τύποι κοιτασμάτων ουρανίου περιλαμβάνουν ψαμμίτη, φλεβικό υλικό, ηφαιστειακό υλικό, λιγνίτη/άνθρακα και μια ειδική ποικιλία οργανικού φωσφορίτη.

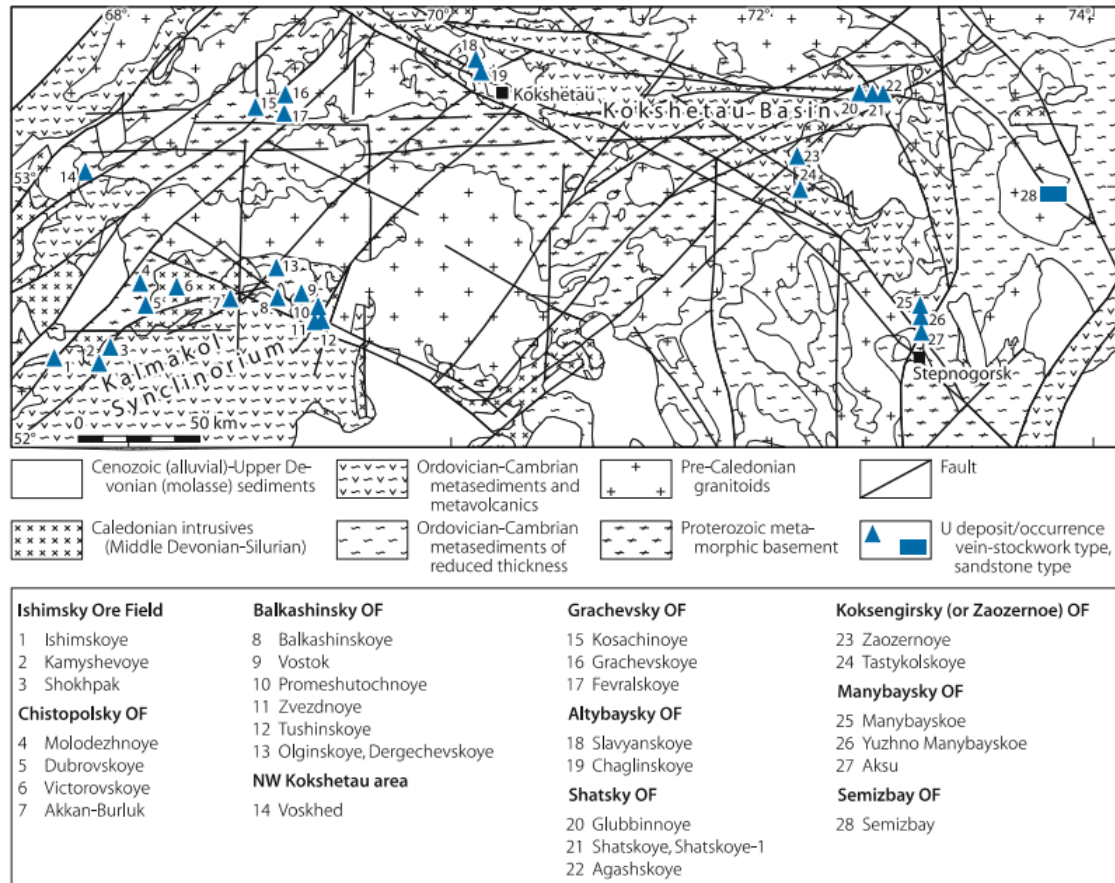
Υπολειπόμενοι πόροι (RAR + EAR-I, κατάσταση 1η Ιανουαρίου 2005) ανέρχονται σε 817000 τόνους U (OECD-NEA/IAEA 2005). Περισσότερα από 400 000 τόνοι U που μπορούν να ανακτηθούν σε τιμή μικρότερη από 130 δολάρια ανά κιλό U περιέχονται σε κοιτάσματα τύπου ψαμμίτη, περίπου 120 000 t U σε φλέβες-στρώματα, σχεδόν 100 000 τόνοι U σε λιγνίτη/άνθρακα, πάνω από 70 000 τόνοι U σε ηφαιστειακά και 64 000 τόνοι U σε αποθέματα οργανικού φωσφορίτη (OECDNEA/IAEA 1999).

Η περιοχή ουρανίου του Kokshetau, η οποία θεωρείται η μεγαλύτερη περιοχή εκμετάλλευσης ουρανίου του Καζακστάν, (Σχήμα 5.3) βρίσκεται στην περιοχή Akmola και συμπίπτει με την περιοχή Kokshetau (Kokchetav) Median Massif στο νότιο περιθώριο της Δυτικής Σιβηρικής πεδιάδας, ανάμεσα στον ποταμό Irtysh και τον δυτικό του παραπόταμο, Ishim. Περίπου σαράντα κοιτάσματα ουρανίου έχουν οριοθετηθεί και ένας αριθμός σημαντικών κοιτασμάτων έχει εντοπιστεί. Αυτά είναι ομαδοποιημένα σε οκτώ μεταλλευτικά πεδία σε κρυσταλλικά πετρώματα και σε ένα μεταλλευτικό πεδίο σε ιζηματογενή πετρώματα. Ορισμένα απομονωμένα κοιτάσματα/εμφανίσεις είναι στη βορειοδυτική και νοτιοδυτική περιοχή Kokshetau. Στην περιοχή παρατηρούνται δύο τύποι κοιτασμάτων U.

Τα περισσότερα κοιτάσματα αποτελούνται από δομικά ελεγχόμενη μεταλλοφορία που ταξινομείται ως κοιτάσματα τύπου φλέβας-σχιστόλιθου (στη ρωσική βιβλιογραφία αναφέρεται ως φλεβικά κορήματα σε πτυχωμένα συμπλέγματα). Ορισμένα κοιτάσματα

φιλοξενούνται σε παλαιοκοιλάδες χαραγμένες στην προ-ανώτερη Ιουρασική επιφάνεια.

Τα κοιτάσματα αυτά ταξινομούνται ως κοιτάσματα βασικών καναλιών, τύπου ψαμμίτη (στη ρωσική βιβλιογραφία ως στρωματοειδής - εδαφική διήθηση). Οι τελευταίοι περιορίζονται στο βορειοανατολικό περιθώριο του ορεινού όγκου.



Σχ. 5.3 Περιοχή Kokshetau. Γεωλογικός χάρτης τμήματος της οροσειράς Kokshetau με τη θέση των κοιτασμάτων ουρανίου. Τα #1-27 είναι κοιτάσματα τύπου φλέβας-σχιστόλιθου και τα #28 βασικά κοιτάσματα τύπου ψαμμίτη (Laveron et al. 1992c, Petrov et al. 2000, Poluarshinov and Pigulski 1995)

5.2.2. Ρωσία

Από την έναρξη της εξερεύνησης ουρανίου το 1944, έχουν εντοπιστεί περισσότερα από 100 κοιτάσματα ουρανίου ενώ οι σημαντικές εμφανίσεις προέρχονται από δέκα περιοχές της ασιατικής Ρωσίας. Περιλαμβάνουν όλες τις σημαντικές περιοχές και τα σημερινά κέντρα παραγωγής στη Ρωσία. Η OECD-NEA/IAEA (2005) αναφέρει συνολικά 172 400 τόνους U ως εναπομείναντες πόροι που μπορούν να ανακτηθούν με <80 \$ ανά kg U, 131 750 t U από

από τους οποίους αποδίδονται στην RAR και 40 650 t U στην EAR-I. κατηγορία. Η κατανομή των πόρων ανά τύπο κοιτάσματος ανέρχεται σε 117 120 t U σε ηφαιστειακά, 21 410 t U σε ψαμμιτικά και 33 870 t U σε κοιτάσματα τύπου φλέβας. Η περιφέρεια Στρέλτσοφσκ στην Υπερβακάλια είναι η κυριότερη περιοχή ουρανίου στη Ρωσία. Το 2005, είχε εναπομείναντα αποθέματα (RAR) 117 120 τόνους U στην κατηγορία <80 \$ ανά kg U που περιέχονται σε κοιτάσματα ηφαιστειακού τύπου. Δύο άλλα κοιτάσματα με κοιτάσματα ψαμμιτικού τύπου U στις περιοχές Transural και Vitim/Transbaykalia έχουν σωρευτικά αποθέματα περίπου 22 000 t U σε RAR + EAR-I, κόστος <40 \$ ανά kg U. Άλλες περιοχές

που περιέχουν πάνω από 450 000 t U που χαρακτηρίζονται ως διερευνημένοι, μη ισοσκελισμένοι πόροι. Τα κοιτάσματα σε αυτές τις περιοχές ανακαλύφθηκαν, διερευνήθηκαν και αξιολογήθηκαν τεχνικά και οικονομικά κατά τη δεκαετία του 1950 έως τη δεκαετία του 1980 και απαιτούν έναν σύγχρονο υπολογισμό των κατηγοριών κόστους των πόρων τους.

Τα πρώτα κοιτάσματα ανακαλύφθηκαν στην περιοχή Kokshetau το 1953. Η εξόρυξη άρχισε το 1957. Έντεκα κοιτάσματα φλεβών-στοιβάδων έχουν αξιοποιηθεί κυρίως με υπόγεια ορυχεία από τότε, πέντε από τα οποία από τα οποία έχουν εξαντληθεί και πέντε επιχειρήσεις έχουν κλείσει- ένα (αυτό του Vostok) είναι και πάλι σε λειτουργία. Μέθοδοι ISL χρησιμοποιήθηκαν σε ένα κοιτάσμα ψαμμιτικού τύπου. Ένας μύλος με ονομαστική δυναμικότητα 2 500 t U yr⁻¹ λειτούργησε στο Stepnogorsk. Η συνολική παραγωγή μέχρι το 1998 εκτιμάται ότι ανήλθε σε 30 000-35 000 τόνους U. Όλες οι δραστηριότητες εξόρυξης και επεξεργασίας σταμάτησαν το 1998, αλλά το ορυχείο Vostok άνοιξε και πάλι το 2003.

Δύο κύριες λιθολογικές μονάδες θεωρούνται ως πιθανές πηγές U, τα ουρανιούχα κρυσταλλικά πετρώματα και ο μαύρος σχιστόλιθος. Και τα δύο μπορεί να συνέβαλαν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό στο σχηματισμό μεταλλεύματος στην περιοχή Kokshetau. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει Προκάμβριες και κατώτερου Παλαιοζωικού λαθολογίες με 3,2-7,2 ppm U, μεσαίου έως Ανώτερου Παλαιοζωικού λευκογρανίτες με 10-70 ppm U, και ρυόλιθους με έως και 10 ppm U. Τα πυριγενή πετρώματα θεωρούνται ότι είναι το προϊόν κοκκοποίησης υλικού του φλοιού, το οποίο μπορεί επίσης να παρήγαγε μαγματικά διαλύματα που σχηματίζουν μεταλλεύματα. Ο παλαιοζωικός μαύρος σχιστόλιθος περιέχει 100-200 ppm U και σχηματίστηκε σε ένα γεωσύγκλινο στα περιθώρια των μεσαίων ορεινών όγκων και των γεωαντικλινικών ανυψώσεων. που αποτελούνται από τα προαναφερθέντα πετρώματα.

5.3. Ευρώπη

Η αλπική ορογένεση καταλαμβάνει μια μεγάλη περιοχή της Ευρώπης - ολόκληρη την Ιταλία και την Ελβετία, ένα μεγάλο μέρος της Αυστρίας, ολόκληρη την Ουγγαρία, τη Γιουγκοσλαβία, την Ελλάδα, ένα μεγάλο μέρος της Ρουμανίας και της Βουλγαρίας, την Τουρκία και, στην αντίθετη πλευρά, το βόρειο, το ανατολικό και το νότιο τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου (Σχ. 5.4). Ο χώρος αυτός περιλαμβάνει πολυάριθμα και συχνά μεγάλα τμήματα του Ερκινίου ορογενούς - για παράδειγμα, τις Άλπεις Bergamask στην Ιταλία, τη λεκάνη Pannon στην Ουγγαρία, τη ρουμανική λεκάνη Transylvanian και τη μάζα της Ροδόπης στη Γιουγκοσλαβία, την Ελλάδα και τη Βουλγαρία. Επιπλέον, αν και δεν αποτελεί συστατικό στοιχείο της ευρωπαϊκής ηπείρου, η Γροιλανδία. Το μεγάλο αυτό νησί, εκτός από

το βόρειο περιθώριο (Innuitian Belt) και το βορειοανατολικό περιθώριο (Caledonian Belt), αποτελείται από προκάμβρια πετρώματα. Σχεδόν τα τέσσερα πέμπτα της επιφάνειάς του καλύπτονται από έναν παγετώνα, το πάχος του οποίου είναι τοπικά 3000 μ. Το ουράνιο περιορίζεται στο νοτιοδυτικό άκρο, που σχηματίζεται από κατώτερα πετρώματα του Προτεροζωικού που συνορεύουν, προς βορρά, με ένα μπλοκ του Αρχαϊκού. Η ζώνη αυτή υπέστη σημαντική μμαγματική επανενεργοποίηση μεταξύ 1300 και 1030 εκ. χρόνια κατά μήκος μιας γενικής τάσης ABA, δημιουργώντας τη μμαγματική επαρχία Gardar, η οποία χαρακτηρίζεται από αλκαλικές διεισδύσεις. Η μεταλλοφορία του ουρανίου είναι παρούσα σε όλες αυτές τις διαφορετικές γεωλογικές επαρχίες, αλλά η οικονομική της σημασία και οι γεωλογικοί τύποι εμφάνισης διαφέρουν σημαντικά από τη μία γεωδομική ενότητα στην άλλη. Η νότια Γροιλανδία είναι γνωστό ότι περιέχει ένα τεράστιο φυσικό απόθεμα ουρανίου σε χαμηλής ποιότητας υλικό από το οποίο η εξόρυξη είναι δύσκολη και η ανάκτηση φτωχή (τα λεγόμενα πυρίμαχα μεταλλεύματα). Σχετίζεται με αλκαλική διείσδυση.

Η Προκάμβρια ευρωπαϊκή επαρχία περιέχει περιορισμένους πόρους σε κοιτάσματα τύπου φλέβας στη βόρεια Σουηδία και, πάλι, ένα τεράστιο φυσικό απόθεμα ουρανίου χαμηλής ποιότητας σε μαύρους σχιστόλιθους του Καμβρίου. Οι βαθμοί, υπό τις σημερινές συνθήκες της αγοράς, δεν είναι οικονομικοί. Η Καληδονική επαρχία δεν περιέχει κανένα γνωστό οικονομικό κοιτάσμα, αλλά στη Σκωτία και την Ιρλανδία εμφανίζονται ορισμένα κοιτάσματα ουρανίου που σχετίζονται με γρανίτη και ψαμμίτη και είναι πολλά υποσχόμενα. Η Ερκύνια επαρχία είναι μακράν η σημαντικότερη οικονομική επαρχία ουρανίου. Από την Ιβηρική Μεσέτα στα δυτικά έως τη Lysa Gora στα ανατολικά, με εξαίρεση τις Αρδέννες και τα όρη Harz, σχεδόν όλοι οι εμφανιζόμενοι ορεινοί όγκοι της Ερκυνίας αποκαλύπτουν εμφανίσεις ουρανίου. Οι δύο μεγάλες περιοχές ουρανίου (Δυτική Κεντρική Μασσαλία, περιοχή Vendee και περιοχή Δυτικής Μασσαλίας της Βοημίας), καθώς και όλες οι άλλες σημαντικές περιοχές ουρανίου, ωστόσο, εμφανίζονται εντός της ζώνης της Μολδαβίας, η οποία αντιστοιχεί στην εσωτερική ενότητα του ερκύνιου ορογενούς ή στην αμέσως παρακείμενη εξωτερική ζώνη. Τα κοιτάσματα ουρανίου σε αυτή την ενότητα είναι πολυάριθμων γεωλογικών τύπων, αλλά τρεις είναι χαρακτηριστικοί για το ορογόνο της Ερκύνιας: (1) ενδογρανιτικά κοιτάσματα που σχετίζονται με λευκογρανίτες, (2) κοιτάσματα που συνδέονται με τις μεταμορφικές άλω επαφής των διεισδύσεων γρανίτη σε σχιστόλιθους του Κατώτερου Παλαιοζωικού (ο λεγόμενος "ιβηρικός τύπος") και (3) κοιτάσματα που συνδέονται με πετρώματα του Περμίου ή όξινα ηφαιστειακά πετρώματα του Περμίου. Άλλοι τύποι είναι οι φλέβες σε λιγότερο διαφοροποιημένους γρανίτες, οι φλέβες σε μεταμορφικά περιβάλλοντα, οι αποθέσεις τύπου ψαμμίτη σε μεσοζωικά ή καινοζωικά καλυπτικά

πετρώματα σε δομές λεκανών του ερτζιανού χώρου που περιλαμβάνονται στη ζώνη Μολδανούβης (ή την αντίστοιχη της Ιβηρικής) ή γειτνιάζουν με αυτήν.

Λιγότερο σημαντική είναι η περιοχή των Άλπεων όσον αφορά τους πόρους ουρανίου, αν και ορισμένα οικονομικά κοιτάσματα έχουν εντοπιστεί στη Δυτική Ευρώπη και, προφανώς, ορισμένα σημαντικά κοιτάσματα για τα ευρωπαϊκά δεδομένα εξορύσσονται ή εξορύχθηκαν στην Ανατολική Ευρώπη (Ουγγαρία, Ρουμανία και Τσεχοσλοβακία). Ένα αξιοσημείωτο χαρακτηριστικό είναι ότι, με λίγες εξαιρέσεις, είναι συνδεδεμένα με Πέρμια ιζηματογενή πετρώματα ή ηφαιστειοϊζηματογενή πετρώματα που καλύπτουν πυρήνες του Ερκύνιου που βρίσκονται μέσα στο αλπικό ορογενές. Παρ' όλα αυτά, συναντώνται ορισμένα παραδείγματα γνήσιας αλπικής μεταλλοφορίας. Ένας χαρακτηριστικός τύπος εμφάνισης σχετίζεται με σχιστόλιθους του Περμίου που έχουν υποστεί πρασινοσχιστολιθική μεταμόρφωση κατά τη διάρκεια της αλπικής ορογένεσης, όπως στις ιταλικές Δυτικές Άλπεις, την Ελβετία και την Αυστρία. Ένας άλλος τύπος συνδέεται με τριτογενή ηφαιστειακά πετρώματα, όπως στη Μακεδονία, ή με ηφαιστειακά πετρώματα Πλειστοκαίνου-Τεταρτογενούς, όπως στο Λάτιο της Ιταλίας.

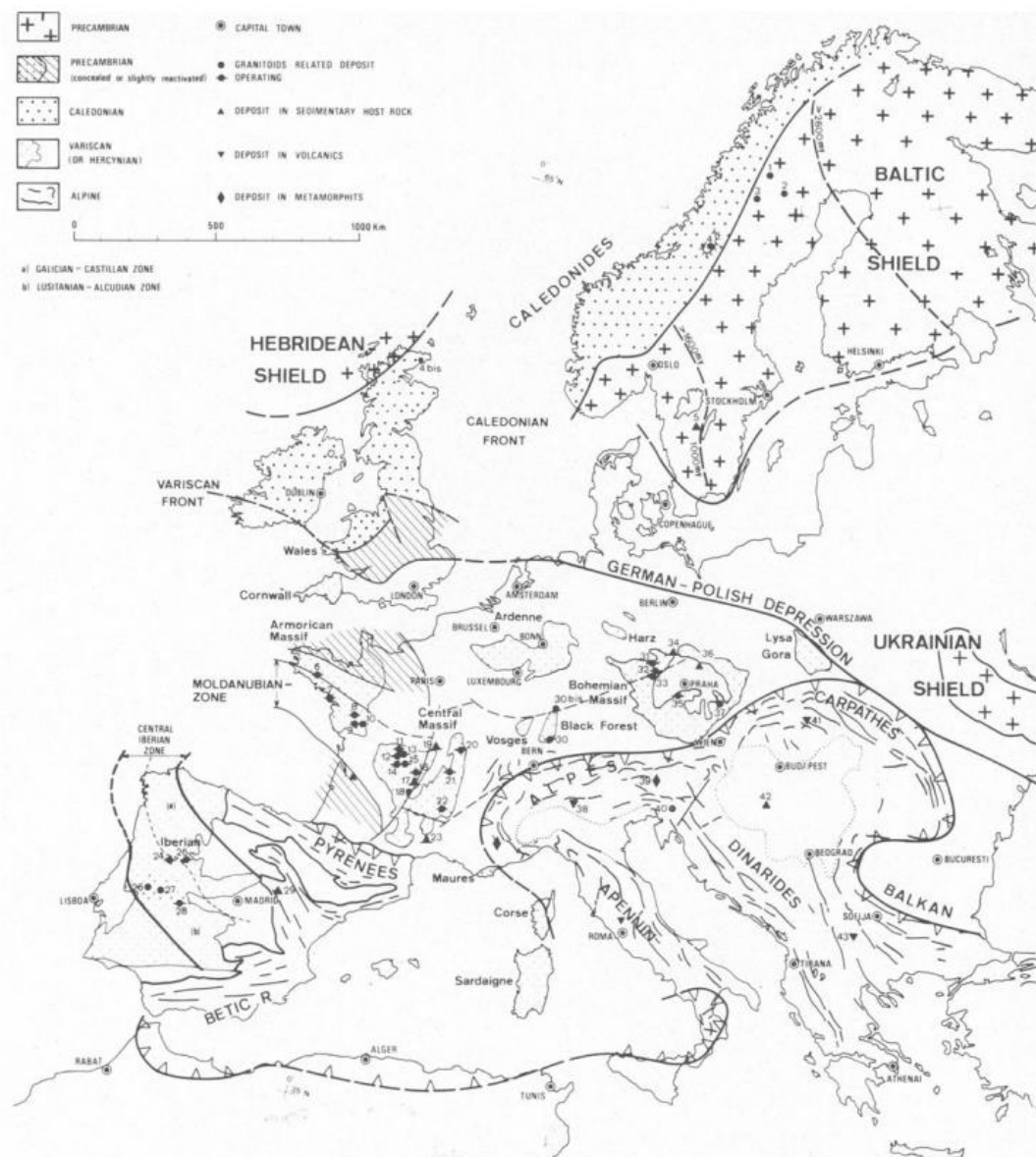


Fig. 1 Main uraniferous deposits in Europe: 1, Pleutajokk; 2, Ravaberget; 3, Duobblon; 4, Hotagen; 4 bis, Ousdale; 5, Ranstad; 6, Pontivy; 7, Pennaran; 8, Ecarpière-le-Chardon; 9, Beaupaire; 10, La Chapelle Largeau—La Commanderie—La Dorgissière; 11, Le Bernardan; 12, Le Brugaud; 13, Bellezane; 14, Margnac-Peny; 15, Fanay—Le Fraisse; 16, Hyverneresse; 17, St-Pierre du Cantal; 18, Bertholène; 19, Cerilly; 20, Grury; 21, Bois Noirs; 22, Le Cellier—Les Pierres Plantées; 23, Mas Lavayre; 24, Urgeirica; 25, Fe; 26, Nisa; 27, Tarabau; 28, El Pedrigal; 29, Mazarete; 30, Menzenschwand; 30 bis, Mullenbach; 31, Aue; 32, Jachymov district; 33, Horni Slavkov; 34, Königstein; 35, Příbram district; 36, Hamr; 37, Rozna-Olsi; 38, Novazza; 39, Forstau; 40, Zirovski Vrh; 41, Huta—Mura; 42, Mecsek; 43, Zletovska Reka

Σχ. 5.4 Κύρια ουρανιούχα κοιτάσματα στην Ευρώπη (Ziegler, V., Dardel, J. 1984).

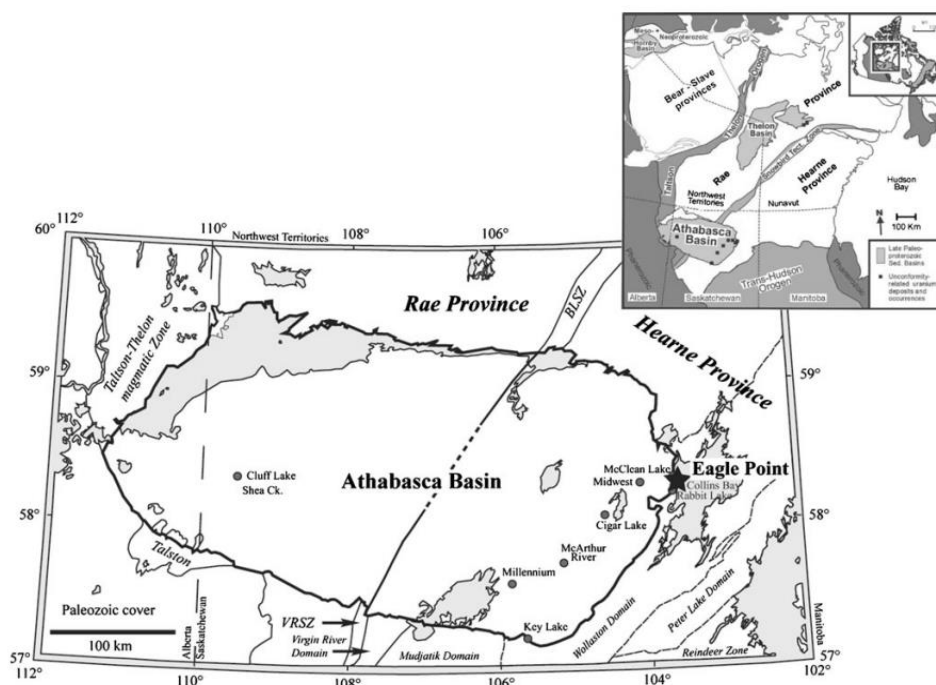
5.4. Καναδάς, Η.Π.Α. Κεντρική και Νότια Αμερική

5.4.1. Καναδάς, λεκάνη Athabasca, Saskatchewan

Η λεκάνη Athabasca (Σχ. 5.5) φιλοξενεί πολλά κοιτάσματα ουρανίου παγκόσμιας κλάσης που σχετίζονται με την ασυμφωνία. Πρόσφατα, τα αποθέματα ουρανίου για το κοιτάσμα Eagle Point που φιλοξενείται στο υπόβαθρο αυξήθηκαν με την ανακάλυψη νέων μεταλλοφόρων ζωνών μέσα σε δευτερεύουσες δομές. Μια παραγενετική μελέτη του Eagle Point αποκαλύπτει την παρουσία τριών χρονικά διακριτών σταδίων αλλοίωσης: μια προ-

Athabasca αλλοίωση, μια κύρια αλλοίωση και μεταλλοφορία που αποτελείται από τρία υποστάδια, και ένα στάδιο μετά την κύρια αλλοίωση και μεταλλοφορία που κορυφώθηκε με την επανακινητοποίηση του ουρανινίτη από τις πρωτογενείς στις δευτερογενείς δομές. Η παλαιοπροτεροζωική λεκάνη Athabasca στο Saskatchewan του Καναδά αποτέλεσε το επίκεντρο εκτεταμένων ερευνών ουρανίου από τη δεκαετία του 1960, ξεκινώντας με τις πρώτες ανακαλύψεις σημαντικών κοιτασμάτων ουρανίου που σχετίζονται με την ασυμφωνία στη λίμνη Rabbit Lake (1968), Collins Bay (1971), Key Lake (1975) και Eagle Point (1980).

Επί του παρόντος, η λεκάνη αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πηγές ουρανίου στον κόσμο, αντιπροσωπεύοντας περίπου το ένα τρίτο του των παγκόσμιων πόρων ουρανίου. Δύο κοιτάσματα ουρανίου που σχετίζονται με την ασυμφωνία ήταν στους ψαμμίτες της ομάδας Athabasca που βρίσκονται επί ή πάνω από την ασυμφωνία (με υποδοχείς ψαμμίτες) και εκείνα που φιλοξενούνται κυρίως στα υποκείμενα πετρώματα του Αρχαϊκού και Παλαιοπροτεροζωικού μεταμορφικού υποβάθρου (με υποδοχείς υποβάθρου). Τα τυπικά ορυκτά αλλοίωσης που σχετίζονται με τα κοιτάσματα που φιλοξενούνται σε ψαμμίτες αποτελούνται κυρίως από ιλλίτη και ντικίτη στον περιβάλλοντα ψαμμίτη με μια υπερκάλυψη από διάφορες ποσότητες μεταγενέστερου δραβίτη, σουδοίτη, πυρίτη και καολινίτη πιο κοντά στην μεταλλοφορία.



Σχ. 5.5 Απλοποιημένος γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Athabasca και των γύρω λιθοτεκτονικών περιοχών (με πλάγια γράμματα) στο βόρειο Saskatchewan, Καναδάς. Απεικονίζεται επίσης η θέση του κοιτάσματος Eagle Point (αστέρι) και των σημαντικότερων κοιτασμάτων ουρανίου που σχετίζονται με την ασυμφωνία (κύκλοι). BLSZ Black Lake Shear zone, VRSZ Virgin River Shear zone. (Sibbald and Quirt 1987)

5.4.2. Η.Π.Α.

Πόροι είναι γνωστοί από διάφορες επαρχίες ουρανίου, ενώ οι επαρχίες των δυτικών πολιτειών περιείχαν την πλειονότητα των κοιτασμάτων ουρανίου. Το συντριπτικό μέρος των πόρων, πάνω από το 90%, περιέχεται και εξακολουθεί να περιέχεται σε κοιτάσματα τύπου ψαμμίτη, ενώ το υπόλοιπο σε φλέβες, λατυποπαγή, ασβεστολιθικούς ή καρστικούς ασβεστόλιθους, λιγνίτη και κοιτάσματα ηφαιστειακού τύπου. Εκτός από αυτούς τους συνήθεις τύπους κοιτασμάτων ουρανίου, υπάρχουν διάφοροι άλλοι τύποι πόρων ουρανίου, συμπεριλαμβανομένων των κοιτασμάτων μαύρου σχιστόλιθου, φωσφορίτη, χαλκού και βηρυλλίου, από τα οποία το ουράνιο μπορεί να ανακτηθεί ως υποπροϊόν σε άλλα προϊόντα. Αυτοί οι πόροι υποπροϊόντων μπορεί να είναι πολύ μεγάλοι, αλλά οι περιεκτικότητες είναι χαμηλές έως πολύ χαμηλές, της τάξης μερικών δεκάτων έως μερικών εκατοστών του τοις εκατό. Όλα τα διαπιστωμένα κοιτάσματα και οι μεγάλες εμφανίσεις U τύπου ψαμμίτη βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της βορειοαμερικανικής υποηπείρου, όπου εμφανίζονται από το νότιο τμήμα της επαρχίας της British Columbia στον ΝΔ Καναδά προς τα νότια μέχρι την πολιτεία του Νέου Μεξικού και το Τέξας στις ΗΠΑ. Τα περισσότερα από αυτά τα κοιτάσματα ψαμμίτη U περιέχονται σε ηπειρωτικά ιζήματα μεσοζωικής και τριτογενούς ηλικίας εντός των μεσογειακών λεκανών στο οροπέδιο του Κολοράντο και στην Κορδιλιέρα (Βραχώδη Όρη) που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια της Λαραμιδικής ορογένεσης. Χαρακτηριστικό είναι ότι οι περισσότερες λεκάνες που φιλοξενούν μεταλλεύματα U βρίσκονται εντός ή δίπλα σε Προκάμβρια πετρώματα. Εξαίρεση αποτελούν τα κοιτάσματα U στο νότιο Τέξας και στο παρακείμενο βορειοανατολικό Μεξικό και πιθανώς στις Μεγάλες Πεδιάδες- εμφανίζονται σε τριτογενή και κρητιδικά, αντίστοιχα, οριακά θαλάσσια περιβάλλοντα. Στις ΗΠΑ υπάρχουν τρεις εξέχουσες επαρχίες ουρανίου με κοιτάσματα U τύπου ψαμμίτη: το οροπέδιο του Κολοράντο, οι λεκάνες του Wyoming και η παράκτια πεδιάδα του Κόλπου του Τέξας. Λίγα κοιτάσματα ψαμμίτη είναι γνωστά στις Μεγάλες Πεδιάδες (Νεμπράσκα), στους Μάυρους Λόφους, στην περιοχή Basin and Range, στα βόρεια Βραχώδη Όρη (περιοχή Spokane, πολιτεία Ουάσιγκτον) και στα Βραχώδη Όρη του Κολοράντο (Tallahassee Creek). Ορισμένα από τα μεταλλευτικά σώματα τύπου ψαμμίτη είναι μεγάλα, αλλά πολλά είναι μικρού έως μέτριου μεγέθους και χαμηλής έως μέτριας περιεκτικότητας.

5.4.3. Κεντρική και Νότια Αμερική

Μόνο λίγα κοιτάσματα ουρανίου σημαντικού μεγέθους έχουν ανακαλυφθεί στη Λατινική Αμερική μέχρι σήμερα. Αυτό δεν σημαίνει, ωστόσο, ότι η υποήπειρος είναι φτωχή

σε ουράνιο. Το Μεξικό είναι η μόνη χώρα με αναφερόμενα κοιτάσματα ουρανίου στην Κεντρική Αμερική. Τα κοιτάσματα είναι μικρά και σε μεγάλο βαθμό ηφαιστειακού ή ψαμμιτικού τύπου. Καλά τεκμηριωμένα κοιτάσματα ουρανίου που συνδέονται με τριτογενή ηφαιστειακά πετρώματα βρίσκονται στη Sierra de Peña Blanca, στην πολιτεία Chihuahua. Τα κοιτάσματα τύπου ψαμμίτη είναι γνωστά από την τριτογενή λεκάνη La Sierrita-Burgos, στην πολιτεία Nuevo Leon. Η τελευταία τείνει να βρίσκεται σε προέκταση της περιοχής ουρανίου του Κόλπου του Νοτίου Τέξας. Στις χώρες της Νότιας Αμερικής με κοιτάσματα ουρανίου περιλαμβάνονται η Αργεντινή, η Βολιβία, η Βραζιλία και το Περού. Τα κοιτάσματα σε αυτές τις χώρες συνδέονται κυρίως με τις ακόλουθες γεωλογικές-τεκτονικές ενότητες:

- Ορογενετική ζώνη των Άνδεων: Τα κοιτάσματα είναι μικρά και συνδέονται κυρίως με τα όξινα ηφαιστειακά πετρώματα της καινοζωικής ηφαιστειακής ζώνης που εκτείνεται κατά μήκος του δυτικού περιθωρίου της Cordillera Oriental από το νοτιοανατολικό Περού μέσω της Βολιβίας στη βορειοδυτική Αργεντινή και τη Χιλή. Παραδείγματα περιοχών/αποθέσεων περιλαμβάνουν το Macusani στο Περού, το Sevaruyo στη Βολιβία, το Aquiliri στην Αργεντινή και το El Laco στη Χιλή. Η Χιλή αναφέρει επίσης μερικές εμφανίσεις U επιφανειακού τύπου χαμηλού βαθμού (περίπου 200 ppm U), όπως το Salar Grande και το Quillagua, εμφανίσεις U μετασωματίτη, όπως το Estacion Romero και το Cerro Carmen (REE) με περιεκτικότητες μεταξύ 0,02 και 0,17% U

- Ζώνη Austral-Extra Andino: Τα κοιτάσματα είναι γενικά μικρά ή χαμηλής περιεκτικότητας και φιλοξενούνται κυρίως σε ηπειρωτικές κλαστικές και πυροκλαστικές ακολουθίες ηλικίας από το Ανθρακικό έως το Τριτογενές. Τα περισσότερα κοιτάσματα βρίσκονται στη ζώνη Pre-Cordillera της δυτικής Αργεντινής, συμπεριλαμβανομένου ενός μεγαλύτερου κοιτάσματος στη Sierra Pintada, σε ψαμμίτη του Πεرمίου.

- Πλατφόρμα της Νότιας Αμερικής - Προκάμβρια ασπίδα Βραζιλίας-Γουιάνας: Μέχρι στιγμής όλα τα σημαντικά κοιτάσματα έχουν βρεθεί στην ανατολική Βραζιλία. Περιλαμβάνουν μια ποικιλία διαφορετικών τύπων, αλλά τα κοιτάσματα οικονομικού ενδιαφέροντος φαίνεται να περιορίζονται σε τύπους φλεβών, ή εμποτισμού, ή μετασωματιτών, οι οποίοι προέκυψαν κυρίως κατά τη διάρκεια των ορογενετικών περιοχών Espinhaço και/ή της Βραζιλίας, ηλικίας του Προτεροζωικού. Μεταξύ αυτών συγκαταλέγονται η Lagoa Real, στην πολιτεία Bahia, όπου τα μεταλλευτικά σώματα ουρανίου απαντούν σε αλβίτες που συνδέονται με Παλαιοπροτεροζωικό ορθογενέσιο- η Itataia, στην πολιτεία Ceara, η οποία είναι ένα μεγάλο κοιτάσμα φωσφορικού ουρανίου σε μάρμαρο και γενέσιο ανώτερης παλαιοπροτεροζωικής ηλικίας- και η Espinharas, στην

πολιτεία Paraíba, όπου το ουράνιο απαντά σε αλβιδωμένους γνεύσιους και γρανίτες προτεροζωικής ηλικίας.

5.5. Αφρική

Το 2010, ο Νίγηρας ήταν ο πέμπτος παραγωγός ουρανίου παγκοσμίως, με ποσοστό περίπου 7,8 % της παγκόσμιας παραγωγής, το οποίο προέρχεται από διάφορα κοιτάσματα παγκόσμιας κλάσης. Το 2011, ο Νίγηρας παρήγαγε 4351 τόνους U. Η σωρευτική παραγωγή από τη χώρα ήταν 114.346 τόνοι U μέχρι το τέλος του 2010, εκ των οποίων 62.000 τόνοι αξιοποιήθηκαν από υπόγεια ορυχεία και 52.000 τόνοι από ανοικτούς λάκκους. Στο τέλος του 2010, οι καθορισμένοι και οι συναγόμενοι πόροι του Νίγηρα εκτιμήθηκαν από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας (ΔΟΑΕ) σε 339.000 και 82.000 t U, αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο μέρος της παραγωγής ουρανίου προέρχεται από το υπόγειο ορυχείο Akouta, το ανοιχτό ορυχείο Arlit που άρχισε να παράγει το 1971, το ορυχείο Azelik και το ορυχείο Imouraren όπου η ανάπτυξη άρχισε το 2008. Η μεταλλοφορία του ουρανίου εμφανίζεται σε διάφορες μονάδες πλούσιες σε οργανικό και πυρίτη κατά μήκος ή κοντά στα όρια ψαμμίτη-σχιστόλιθου. Στην περιοχή Arlit, τα μητρικά πετρώματα είναι μια διαδοχή ερυθρών κλαστικών στρωμάτων που αποτελούνται από παρεμβαλλόμενα κροκαλοπαγή, ψαμμίτη και ιλυόλιθο με παρεμβαλλόμενες σχιστολιθικές και ηφαιστειακά ιζηματογενείς ενότητες, τα οποία επικαλύπτονται ασυμμόρφωτα από Περμοτριάδικό αρκοζικό ψαμμίτη και κροκαλοπαγή. Στρωματογραφικοί και ιζηματολογικοί περιορισμοί υποδεικνύουν ότι τα πετρώματα αυτά αποτέθηκαν σε πλούσια σε οργανικά συστατικά φλουβιατικά και φλουβιοδελταϊκά περιβάλλοντα, στα οποία τα δυτικά παλαιορεύματα μετέφεραν θραύσματα, ορυκτά και φυτικά υπολείμματα. Η τεκτονική ανύψωση, ο ανωγενής μαγματισμός και η επακόλουθη αποσάθρωση και διάβρωση του ηφαιστειακού καλύμματος, σε συνδυασμό με την ιζηματογένεση σε κοντινές ηπειρωτικές λεκάνες, συνέβαλαν στην ανάπτυξη της μεταλλοφορίας ουρανίου.

Σημαντικά κοιτάσματα μεταλλευμάτων ουρανίου, όπως τα Arlit, Imouraren και Azelik, εμφανίζονται κατά μήκος του ανατολικού τμήματος της περιφερειακής γραμμής Arlit-in Azawa κοντά στην επαφή με οξειδωμένα πετρώματα. Αυτό το μεγάλο ρήγμα, το οποίο ερμηνεύεται ως πολυφασική παναφρικανική δομή που επανενεργοποιήθηκε κατά τη διάρκεια του Βιζέιου, του τέλους του Ανθρωπογενούς και του Πρώιμου έως Ύστερου Κρητιδικού, φαίνεται ότι αποτέλεσε κρίσιμο παράγοντα στη γένεση των μεταλλευμάτων, παρέχοντας ένα κανάλι ρευστών για τα U-φορέα ρευστά. Εκτός από τα ρήγματα ή τα διαρρηγμένα πετρώματα, οι κύριοι έλεγχοι του μεταλλεύματος περιλαμβάνουν τις

στρωματογραφικές επαφές και τη λιθολογία, την παλαιογεωγραφία, τη διαθεσιμότητα οργανικής ύλης, την κίνηση των υπόγειων υδάτων και την οξειδοαναγωγική κατάσταση (δηλ. Eh έναντι pH).

6. ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΘΕΣΗ ΤΟΥΣ

Τα πυρηνικά απόβλητα είναι ραδιενεργά υλικά ως υποπροϊόντα ή απόβλητα από τη λειτουργία πυρηνικής εγκατάστασης ή οποιασδήποτε εγκατάστασης που χρησιμοποιεί ραδιενεργά υλικά. Συνεπώς, πρόκειται για ραδιενεργά υλικά που παράγονται από τη χρήση ακτινοβολίας ή ραδιενεργών υλικών ή από πυρηνικές διεργασίες για τις οποίες δεν προβλέπεται περαιτέρω χρήση. Ο όρος, ραδιενεργά απόβλητα, χρησιμοποιείται επίσης ευρέως για τα πυρηνικά απόβλητα. Τα πυρηνικά απόβλητα αναφέρονται στα ραδιενεργά απόβλητα ως γενικότερος όρος, καθώς περιλαμβάνουν ευρύτερη κατηγορία υλικών, όπως τα μικτά απόβλητα που είναι τόσο ραδιενεργά όσο και χημικά τοξικά. (Yim, MS. 2022).

Η πυρηνική ενέργεια παρέχει το πλεονέκτημα του άφθονου ενεργειακού εφοδιασμού ως πηγή ενέργειας με χαμηλές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ταυτόχρονα, η πυρηνική ενέργεια συνοδεύεται από το πρόβλημα των πυρηνικών αποβλήτων. Η παγκόσμια χρήση της πυρηνικής ενέργειας και η λειτουργία των συναφών δραστηριοτήτων του κύκλου καυσίμου έχουν παράγει και θα συνεχίσουν να παράγουν μεγάλη ποσότητα πυρηνικών αποβλήτων. Επιπλέον, οι σύγχρονες χρήσεις ραδιενεργών υλικών σε διάφορες βιομηχανίες και ιδρύματα έρευνας και ανάπτυξης έχουν οδηγήσει στη δημιουργία πυρηνικών αποβλήτων. Τα προγράμματα παραγωγής πυρηνικών όπλων παράγουν επίσης πυρηνικά απόβλητα. Ενώ η παραγωγή πυρηνικών αποβλήτων συνεχίστηκε με την πάροδο των ετών, η πρόοδος στη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων ήταν αργή. Μεταξύ των χωρών όπου το πρόγραμμα πυρηνικής ενέργειας ξεκίνησε πολύ νωρίς στην ανάπτυξη της πυρηνικής τεχνολογίας, όπως οι ΗΠΑ, το Ηνωμένο Βασίλειο, η Γαλλία, η Γερμανία και η Ρωσία, η αργή πρόοδος στη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων είναι ιδιαίτερα αισθητή. Καμία από αυτές τις χώρες δεν διαθέτει μέχρι σήμερα λειτουργούσα εγκατάσταση για τη μόνιμη διάθεση πυρηνικών αποβλήτων υψηλής ραδιενέργειας.

Ιδιαίτερα, η περίπτωση των ΗΠΑ αναδεικνύει τις προκλήσεις που σχετίζονται με τη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων, όπου η σχετική προσπάθεια ξεκίνησε τη δεκαετία του 1950 και συνεχίστηκε όλα αυτά τα χρόνια με την ολοκλήρωση της διαδικασίας επιλογής της τοποθεσίας το 2002 με την ανακοίνωση του Yucca Mountain ως χώρου διάθεσης

ραδιενεργών αποβλήτων υψηλής ραδιενέργειας της χώρας. Το σχέδιο αυτό ακυρώθηκε στη συνέχεια το 2010. Η προσδοκία είναι ότι η ζήτηση για τη διάθεση πυρηνικών αποβλήτων θα αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες, καθώς η πυρηνική ενέργεια παραμένει σημαντική πηγή ενέργειας χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις επιτυχίας, όπως η Φινλανδία και η Σουηδία. Σε αυτές τις χώρες, έχουν σημειωθεί σημαντικές πρόοδοι μετά την αντιμετώπιση μεγάλων αρχικών δυσκολιών. Η Φινλανδία αναμένεται να λειτουργήσει εντός λίγων ετών τον πρώτο παγκοσμίως γεωλογικό αποταμιευτήρα για τη μόνιμη διάθεση εξαιρετικά ραδιενεργών πυρηνικών αποβλήτων. Η Σουηδία είναι πολύ πιθανό να ακολουθήσει την ίδια πορεία με καθυστέρηση μερικών ετών. Τα παραδείγματα αυτά καταδεικνύουν τις προκλήσεις και ταυτόχρονα τις δυνατότητες στη διαχείριση των πυρηνικών αποβλήτων.

Τα πυρηνικά απόβλητα μπορεί να είναι σχεδόν αδιάφορα ή εξαιρετικά επιβλαβή, ανάλογα με τους τύπους των νουκλιδίων που περιλαμβάνονται. Τα λεγόμενα NORM (φυσικά ραδιενεργά υλικά) είναι ένα παράδειγμα πυρηνικών αποβλήτων που δεν προκαλούν σχεδόν καμία ανησυχία και τα λεγόμενα αναλωμένα πυρηνικά καύσιμα αντιπροσωπεύουν το αντίθετο, τον εξαιρετικά επιβλαβή τύπο πυρηνικών αποβλήτων. Επίσης, το πρόβλημα θα μπορούσε να είναι βραχυπρόθεσμο ή πολύ μακροπρόθεσμο ανάλογα με τους χρόνους ημιζωής των νουκλιδίων που περιλαμβάνονται. Για παράδειγμα, τα περισσότερα από τα πυρηνικά απόβλητα που παράγονται από νοσοκομεία είναι βραχύβια σε ραδιενέργεια, ενώ τα πυρηνικά απόβλητα από πυρηνικούς σταθμούς παραγωγής ενέργειας περιέχουν πολύ μακρόβια ραδιονουκλίδια. Επομένως, η κατάλληλη διαχείριση των παλαιών πυρηνικών αποβλήτων αρχίζει με την κατανόηση του κινδύνου και των σχετικών χρονικών κλιμάκων. Με βάση την κατανόηση αυτή, καλούνται τεχνολογίες για τον έλεγχο της επικινδυνότητας των πυρηνικών αποβλήτων. Κατά τη διαδικασία αυτή, αναζητούνται απαντήσεις στα ακόλουθα ερωτήματα. Ο σημαντικότερος στόχος της διαχείρισης των πυρηνικών αποβλήτων είναι η ασφάλεια. Οι τεχνολογίες εφαρμόζονται για την προστασία των ανθρώπων και τη διατήρηση του επιθυμητού επιπέδου ασφάλειας στη διαχείριση πυρηνικών αποβλήτων. Αφού γίνει πρόληψη ή μείωση του κινδύνου με τη χρήση τεχνολογιών, χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι των φυσικών και βιολογικών επιστημών για την εκτίμηση του εναπομένοντος κινδύνου ως πιθανότητες και συνέπειες των γεγονότων που μπορεί να προκαλέσουν βλάβη από τα πυρηνικά απόβλητα. Ο εναπομείναντας κίνδυνος πρέπει να είναι αποδεκτός από την άποψη των ανθρώπων που ενδεχομένως επηρεάζονται από την παρουσία πυρηνικών αποβλήτων. Δυστυχώς, ο εκτιμώμενος κίνδυνος δεν καθορίζει αν το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό από το κοινό. Το αποτέλεσμα δεν υπαγορεύει το πώς πρέπει να αισθάνονται οι

άνθρωποι ότι είναι ασφαλείς. Η ασφάλεια είναι μια βασική ανθρώπινη ανάγκη. Είναι η κατάσταση της προστασίας από βλάβες. Η κατάσταση της ασφάλειας επαληθεύεται όταν ένα άτομο αισθάνεται ασφαλές ή προστατευμένο. Το αίσθημα ασφάλειας εξαρτάται από τις προσωπικές συνθήκες και τις αξιακές κρίσεις. Στην πραγματικότητα, είναι δυνατόν οι άνθρωποι να αισθάνονται ασφαλείς ενώ δεν παρέχεται ασφάλεια ή το αντίστροφο. Αυτό συμβαίνει όταν οι άνθρωποι δεν αντιλαμβάνονται πλήρως το επίπεδο της βλάβης στην οποία εκτίθενται. Λόγω των υποκειμενικών αξιακών κρίσεων που εμπλέκονται, η επίτευξη της ασφάλειας ή η συμφωνία για το τι είναι ασφαλές γίνεται πολύ δύσκολο έργο. Αυτό ισχύει ακόμη περισσότερο όταν η επίτευξη της ασφάλειας απαιτείται για μια ομάδα ανθρώπων ή σε κοινωνικό επίπεδο.

Ενώ τα πυρηνικά απόβλητα παράγονται από διάφορες δραστηριότητες ή οργανισμούς, μία από τις σημαντικότερες πηγές πυρηνικών αποβλήτων είναι οι πυρηνικοί σταθμοί παραγωγής ενέργειας (nuclear power plant, NPP): Τα πυρηνικά καύσιμα που απαιτούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τους NPP γίνονται τελικά πυρηνικά απόβλητα. Ο κύκλος ζωής των πυρηνικών καυσίμων, που ονομάζεται κύκλος πυρηνικού καυσίμου, αποτελεί επίσης σημαντική πηγή πυρηνικών αποβλήτων. Ο κύκλος του πυρηνικού καυσίμου αναφέρεται σε όλες τις δραστηριότητες που σχετίζονται με την προετοιμασία, τη χρήση και τη διάθεση των πυρηνικών καυσίμων. Οι δραστηριότητες αυτές περιλαμβάνουν την εξόρυξη, τη συγκέντρωση και τον καθαρισμό ουρανίου, τον εμπλουτισμό ουρανίου, την κατασκευή καυσίμων για τη λειτουργία πυρηνικών αντιδραστήρων και τη διαχείριση των χρησιμοποιημένων πυρηνικών καυσίμων (και άλλων πυρηνικών αποβλήτων και υποπροϊόντων). Εκτός από τα πυρηνικά καύσιμα που απορρίπτονται από πυρηνικούς αντιδραστήρες, άλλα πυρηνικά απόβλητα από πυρηνικούς σταθμούς προέρχονται από την επεξεργασία μολυσμένων υγρών, αερίων ή στερεών από τις λειτουργίες των πυρηνικών σταθμών. Μεταξύ αυτών περιλαμβάνονται ραδιενεργή ρητίνη, χημική ιλύς και καθημερινά απορρίμματα όπως μολυσμένο χαρτί, γάντια και πλαστικά. Τα μολυσμένα εξαρτήματα, το υλικό και ο εξοπλισμός από το σύστημα του πυρηνικού αντιδραστήρα αποτελούν επίσης πυρηνικά απόβλητα. Οι εγκαταστάσεις του κύκλου πυρηνικού καυσίμου (εκτός των NPP) παράγουν πυρηνικά απόβλητα ως υπολείμματα από την επεξεργασία υλικών τροφοδοσίας ή από την επεξεργασία ραδιενεργά μολυσμένων υλικών. Εάν τα χρησιμοποιημένα πυρηνικά καύσιμα ανακυκλώνονται, παράγονται πυρηνικά απόβλητα υψηλού επιπέδου που περιέχουν προϊόντα σχάσης και ακτινίδια από την επανεπεξεργασία, τα οποία απαιτούν πολύ ειδικό χειρισμό και επεξεργασία.

7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

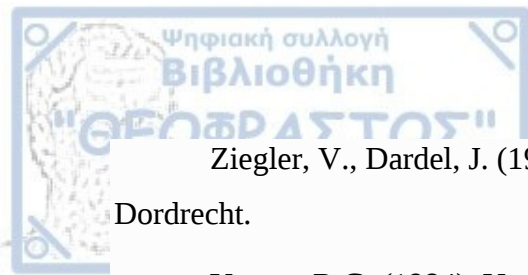
Η παρούσα διπλωματική πτυχιακή εργασία αφορά την μελέτη του ουρανίου U τόσο σαν στοιχείο αλλά και τις χρήσεις του τόσο ιστορικά όσο και τις πρόσφατες. Τα κοιτάσματα αυτού, μπορούν να βρεθούν παγκοσμίως σε διαφορετική κλίμακα αλλά και σε διάφορες οικονομικά συμφέρουσες ή μη ποσότητες.

Το ουράνιο, σαν ραδιενεργό στοιχείο μπορεί με την κατάλληλη επεξεργασία αλλά και την ανάλογη προσοχή να δώσει λύσεις σε αρκετά προβλήματα του σύγχρονου κόσμου. Ενεργειακά είναι ένα πολύ πιο συμφέρον προϊόν σε σύγκριση με παλαιότερες μεθόδους, όπως είναι αυτή της καύσης γαιάνθρακα. Οι τύποι κοιτασμάτων που αυτό συναντάται ποικίλουν γι' αυτό και δεν μπορεί να δοθεί εύκολη απάντηση στο ποιος είναι ο καλύτερος τύπος πετρώματος στον οποίον συναντάμε το ουράνιο.

Τα μεγαλύτερα κοιτάσματα σε παγκόσμια κλίμακα επεκτείνονται στις περιοχές της Αυστραλίας με αυτό του Dam αλλά και σε διάφορες περιοχές της σημερινής Ρωσίας, του Καζακστάν, της Αφρικής αλλά και σε τμήματα των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Dahlkamp, F. J. (2013). Uranium ore deposits. Springer Science & Business Media.
- Meija, J., Coplen, T., Berglund, M., Brand, W., De Bièvre, P., Gröning, M., Holden, N., Irrgeher, J., Loss, R., Walczyk, T. & Prohaska, T. (2016). Atomic weights of the elements 2013 (IUPAC Technical Report). Pure and Applied Chemistry, 88(3), 265-291.
- Morss, Lester. "uranium". Encyclopedia Britannica, 21 Feb. 2021,
- Albert V. Crewe, Enrico Fermi Institute, University of Chicago Albert V. Crewe, Enrico Fermi Institute, University of Chicago
- Dahlkamp, F. J. (1993). Principal Aspects of the Genesis of Uranium Deposits. Uranium Ore Deposits, 41–56.
- Geology of Uranium Deposits - World Nuclear Association. (n.d.). World Nuclear Association. Retrieved April 2, 2022, from <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/geology-of-uranium-deposits.aspx>
- Lambert, I., McKay, A., and Miezeitis, Y., Australia's uranium resources: trends, global comparisons and new developments, Bureau of Resource Sciences, Canberra (1996), with their later paper: Australia's Uranium Resources and Production in a World Context, ANA Conference October 2001
- McKay, A., and Miezeitis, Y., Australia's Uranium Resources, Geology And Development Of Deposits, Geoscience Australia (2001), ISBN 0642467161
- Laverov et al. 1992c, Petrov et al. 2000, Poluarshinov and Pigulski 1995
- Giannardi, C., & Dominici, D. (2003). Military use of depleted uranium: assessment of prolonged population exposure. Journal of environmental radioactivity, 64(2-3), 227–236.
- UNEP BTF, 1999. The potential effects on human health and environment arising from possible use of depleted uranium during the 1999 Kosovo conflict. A preliminary assessment. United Nation Environmental Program Balkan Task Force, Geneva
- World Health Organization. (2001). Depleted uranium : sources, exposure and health effects. World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/66930>
- NEA/IAEA (2019), Uranium 2018: Resources, Production and Demand, OECD Publishing, Paris
- Dahlkamp F.J. (2009) Part II: Uranium in Asia – Overview. In: Dahlkamp F.J. (eds) Uranium Deposits of the World. Springer, Berlin, Heidelberg.



Ziegler, V., Dardel, J. (1984). Uranium deposits in Europe. In: De Vivo, Springer, Dordrecht.

Young, R.G. (1984). Uranium deposits of the world, excluding Europe. In: De Vivo, B., Ippolito, F., Capaldi, G., Simpson, P.R. (eds) Uranium geochemistry, mineralogy, geology, exploration and resources. Springer, Dordrecht.

Central and South America. In: Dahlkamp F.J. (eds) Uranium Deposits of the World. Springer, Berlin, Heidelberg (2010).

Yim, MS. (2022). Introduction. In: Nuclear Waste Management. Lecture Notes in Energy, vol 83. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-024-2106-4_1

Commission on Isotopic Abundances and Atomic Weights (1999)

Office of Nuclear Material Safety and Safeguards U.S. Nuclear Regulatory Commission, Interagency Steering Committee on Radiation Standards (ISCORS):1999 Annual Report

Effects of cationic substitutions and alteration in urinite, and implications for the dating of uranium deposits, Sibbald and Quirt (1987)