



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



ΜΟΥΧΤΑΡΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ ΤΩΝ
ΔΙΑΜΑΝΤΙΩΝ ΣΕ ΚΙΜΠΕΡΛΙΤΕΣ



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ ΜΕΛΦΟΣ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2018





Περίληψη	5
Abstract	5
1. Εισαγωγή	6
1.1 Γενικά	6
1.2 Πρόλογος - Αντικείμενο εργασίας	6
2. Αναφορικά με το διαμάντι.....	7
2.1.1 Τι είναι το διαμάντι.....	7
2.1.2 Χαρακτηριστικά του Διαμαντιού	7
2.1.3 Μορφές Διαμαντιών	9
2.1.4 Διαφορές Γραφίτη και Διαμαντιού	10
2.1.5 Χρήσεις.....	12
2.1.6 Περισσότερες χρήσεις των βιομηχανικών διαμαντιών	15
2.1.7 Ανερχόμενες χρήσεις Διαμαντιών	15
2.1.8 Σημασία και οικονομία διαμαντιών	16
2.1.9 Δημιουργώντας Εργασία	19
2.2 Χτίζοντας υποδομές	20
3. Τύποι κοιτασμάτων διαμαντιών	21
4. Αναφορικά με τους Κιμπερλίτες	22
4.1.1 Τι είναι οι κιμπερλίτες.....	22
4.1.2 Οδηγοί αναζήτησης Κιμπερλιτών	24
4.1.3 Εμφανίσεις και ιστορία των κιμπερλιτών.....	26
4.1.4 Εμφανίσεις κιμπερλιτών στο Κάνσας	27
4.1.5 Οικονομικό δυναμικό των κιμπερλιτών	29
5. Σχέση διαμαντιών και κιμπερλιτών	29
5.1.1 Ορυκτά δείκτες	30
6. Ο τρόπος δημιουργίας των κοιτασμάτων διαμαντιών	33
6.1 Σχηματισμός διαμαντιών στον μανδύα	34



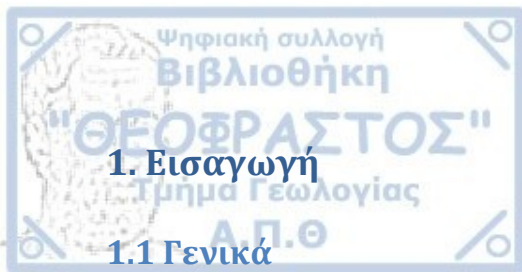
6.2 Σχηματισμός διαμαντιών σε περιοχές υποβύθισης	35
6.3 Σχηματισμός στο διάστημα.....	36
6.4 Σχηματισμός διαμαντιών σε περιοχές πρόσκρουσης/συντριβής	36
6.5 Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση	37
6.6 Ενδείξεις ισότοπων σε εγκλείσματα διαμαντιών	38
6.7 Ηλικιακοί περιορισμοί κατά την διαμόρφωση του διαμαντιού.....	39
7. Παραδείγματα κυριότερων διαμαντοφόρων κοιτασμάτων παγκοσμίως.....	40
7.1 Ινδία	40
7.2 Βραζιλία	42
7.3 Νότια Αφρική	43
7.4 Ρωσία	45
7.5 Ηνωμένες Πολιτείες	46
8. Βιβλιογραφία	48



Η διπλωματική αυτή εργασία πραγματεύεται τον τρόπο σχηματισμού των διαμαντιών μέσα σε κιμπερλίτες, καθώς και την γεωλογία που συνδέεται άμεσα με τις διαδικασίες αυτές. Περιλαμβάνει μια περιληπτική επεξήγηση της σημασίας των διαμαντιών στον πολιτισμό και την οικονομία μας, με την παράθεση των διάφορων χρήσεών τους. Παρουσιάζονται επιπλέον οι κυριότεροι τύποι αδαμαντοφόρων κοιτασμάτων και περιγράφονται διεξοδικά οι κιμπερλίτες, οι τεχνικές αναζήτησης και οι κυριότερες εμφανίσεις τους, μέσω της ιστορικής αναδρομής. Έχοντας ως γνώμονα τα παραπάνω, ορίζεται η σύνδεση των διαμαντιών με τους κιμπερλίτες και διευκρινίζεται η χρησιμότητα των ορυκτών-δεικτών. Ολοκληρώνοντας γίνεται αναλυτική περιγραφή των σημαντικότερων κοιτασμάτων διαμαντιών παγκοσμίως που εμφανίστηκαν τα τελευταία χρόνια.

Abstract

This diploma thesis approaches the way diamonds are formed in kimberlites, as well as the geology directly associated with these processes. It also includes a detailed explanation of the importance of diamonds in our culture and economy, through their various uses and applications. In addition the main types of diamond deposits are presented, while kimberlites, their exploration methods and their main occurrences are described in detail through their historical retrospection. Bearing in mind all of the above, the link between diamonds and kimberlites is defined, while at the same time the utility of mineral indicators is clarified. In conclusion a detailed description is presented of the most important diamond deposits worldwide that have emerged in recent years.



Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του προπτυχιακού προγράμματος σπουδών του Τμήματος Γεωλογίας, της Σχολής Θετικών Επιστημών, του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

1.2 Πρόλογος - Αντικείμενο εργασίας

Το διαμάντι αποτελεί μια στερεή μορφή του άνθρακα και έχει κυβική κρυσταλλική δομή. Η εσωτερική διάταξη των ατόμων του άνθρακα, καθώς και η κρυσταλλική δομή του διαμαντιού είναι τα στοιχεία που το διαφοροποιούν από τα υπόλοιπα ορυκτά και το καθιστούν μοναδικό σε ολόκληρο τον κόσμο. Το διαμάντι γενικά είναι γνωστό από τα βιβλικά χρόνια ως ένα υλικό υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας. Είτε αυτό είναι φυσικό είτε κατασκευασμένο από τον άνθρωπο, εκατοντάδες τόνοι αυτού έχουν παραχθεί και χρησιμοποιηθεί βιομηχανικά.

Οι κιμπερλίτες από την άλλη αποτελούν πυριγενή πετρώματα και μερικές φορές περιέχουν διαμάντια. Πήραν το όνομα τους από την πόλη Κίμπερλι της Νοτίου Αφρικής. Οι κιμπερλίτες εντοπίζονται στον φλοιό της Γης, σχηματίζοντας κατακόρυφα φλεβικά πετρώματα γνωστά ως κιμπερλιτικοί αγωγοί ή πυριγενείς φλέβες. Οι αγωγοί αυτοί αποτελούν την σημαντικότερη πηγή ορυκτών διαμαντιών σήμερα και για τον λόγο αυτό η αναζήτηση και ανακάλυψή τους έχουν αποκτήσει πολύ σημαντικό χαρακτήρα.

Αντικείμενο εργασίας της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η ανάλυση και επεξήγηση των διαμαντιών αλλά και των κιμπερλιτών, καθώς και του τρόπου σχηματισμού των διαμαντιών μέσα στους αγωγούς αυτούς.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επίκουρο Καθηγητή του Τομέα Ορυκτολογίας - Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας, κ. Βασίλειο Μέλφο, για τις υποδείξεις, το ενδιαφέρον, τα σχόλια και την συνολική υποστήριξη σε όλα τα στάδια της παρούσας εργασίας.

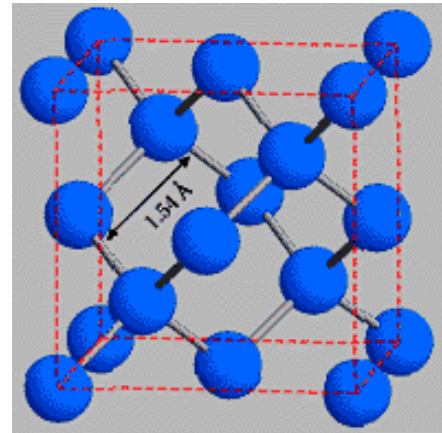
2. Αναφορικά με το διαμάντι

2.1.1 Τι είναι το διαμάντι

Σύμφωνα με τον (Harlow,1998) το διαμάντι είναι ένα ορυκτό που αποτελείται αποκλειστικά από άνθρακα και παρουσιάζει βασικές διαφορές από άλλα ορυκτά του, όπως τον γραφίτη και τον σπάνιο λονσδαλεΐτη.

Εφόσον η κρυσταλλική δομή είναι αυτή που καθορίζει τις θεμελιώδεις ιδιότητες του κάθε ορυκτού, έτσι το διαμάντι και ο γραφίτης αποτελούν δυο διαφορετικές μορφές κρυσταλλικού άνθρακα. Πιο συγκεκριμένα η διάταξη των ατόμων του άνθρακα στον χώρο και ο τρόπος με τον οποίο συνδέονται μεταξύ τους, καθώς και οι κρυσταλλικές τους δομές είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που διαφοροποιούν σημαντικά αυτά τα δύο ορυκτά.

Σε μια κρυσταλλική δομική μονάδα του διαμαντιού κάθε άτομο άνθρακα περιβάλλεται από τέσσερις γειτονικούς άνθρακες σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό μια τετραεδρική μονάδα, η οποία συνιστά μια επαναλαμβανόμενη γεωμετρία στον χώρο με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μια ιδιαίτερα συμμετρική και ομοιόμορφη δομή (Σχ. 1). Η επαναλαμβανόμενη αυτή δομική μονάδα αποτελείται από 8 άτομα, τα οποία συνδυάζονται και δημιουργούν έναν κύβο όπου όλες οι πλευρές και οι γωνίες του είναι πανομοιότυπες. Η κυβική μορφή και η άκρως συμμετρική διάταξη των ατόμων του το κατατάσσουν στο κυβικό σύστημα κρυστάλλωσης. Επιπλέον οι κρύσταλλοι του διαμαντιού πρέπει να διαθέτουν τέτοια μορφή και σχήμα προκειμένου να συμβαδίζουν με την γεωμετρία της βασικής μονάδας (Harlow, 1998)



Σχήμα 1.

Μοντέλο το οποίο δείχνει σχηματικά τον τρόπο με τον οποίο κάθε άτομο άνθρακα συνδέεται με 4 άλλα άτομα άνθρακα στην δομή του διαμαντιού (Πηγή: Diamonds Only).

2.1.2 Χαρακτηριστικά του διαμαντιού

Ένα από τα πιο συνηθισμένα χαρακτηριστικά του διαμαντιού είναι η οκταεδρία που παρουσιάζει και στην οποία οφείλεται ο σχηματισμός μιας οκταεδρικής δομής. Στην δομή αυτή όλες οι επίπεδες έδρες του αποτελούν ισόπλευρα τρίγωνα του ίδιου μεγέθους και οι γωνίες που σχηματίζονται από τις γειτονικές ακμές είναι πανομοιότυπες ($70,53^\circ$). Το

περίγραμμα του οκταέδρου έχει ονομαστεί «σχήμα διαμαντιού» και το σχήμα αυτό είναι ταυτόσημο με αυτήν την μορφή του ορυκτού.

Υπάρχουν πολλά ακόμη σχήματα με τα οποία μπορούν να εμφανιστούν οι κρύσταλλοι των διαμαντιών, όπως το κυβικό και το ρομβικό δωδεκάεδρο, το οποίο αποτελεί μια μορφή κρυστάλλου με 12 πλευρές και συναντάται συνήθως σε λυχνίτες. Μπορεί επιπλέον να υπάρξει συνδυασμός των διάφορων μορφών, ενώ οι αποστρογγυλεμένες έδρες που εμφανίζονται σε πολλά φυσικά διαμάντια δεν είναι αποτέλεσμα φυσικής ανάπτυξης, αλλά είναι έδρες που προέκυψαν από διάβρωση. Ένα αντιπροσωπευτικό παράδειγμα του φαινομένου αυτού είναι οι στρογγυλεμένες επιφάνειες πάνω σε ένα παγάκι που λιώνει. Σε άλλες περιπτώσεις οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται σε ζευγάρια ή σε ομάδες, στις οποίες τα μέλη περιστρέφονται ή αντιστρέφονται ανάλογα με τον γειτονικό προσανατολισμό τους.

Κατά κύριο λόγο τα διαμάντια θεωρούνται και περιγράφονται με εξιδανικευμένους όρους ως αμιγείς άνθρακες, χωρίς προσμίξεις και πάντα με κρυσταλλική μορφή. Στην πραγματικότητα όμως το άζωτο που περιέχεται στα περισσότερα διαμάντια αποτελεί μία πρόσμιξη. Το βόριο επίσης είναι αρκετά συνηθισμένο στοιχείο τους και όταν αντικαθιστά άτομα άνθρακα τότε μεταβάλλει το χρώμα και την ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαμαντιού.

Η μεγάλη σκληρότητα αποτελεί ένα από τα κριτήρια της αντοχής ενός ορυκτού. Ο τρόπος με τον οποίο θραύεται ένα υλικό μας δίνει την δυνατότητα να ανιχνεύσουμε τις ιδιότητές του και να το αναγνωρίσουμε, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί και σημαντικό παράγοντα στον καθορισμό της αντίστασής του στην φθορά και διάβρωση. Το διαμάντι διαθέτει τέλειο σχισμό και στις τέσσερις διευθύνσεις. Με την βοήθεια ενός κοπιδιού μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τα επίπεδα σχιστότητας καθώς διαμορφώνουμε τους πολύτιμους λίθους των διαμαντιών, διότι ο προσεκτικός σχισμός θα αποφέρει τα επιθυμητά κομμάτια γρήγορα και αποτελεσματικά. Ένα οκτάεδρο μπορεί να διαμορφωθεί από έναν ακανόνιστο κρύσταλλο διαμαντιού κατά την επεξεργασία χρησιμοποιώντας τον κατάλληλο σχισμό. Το οκταεδρικό αυτό σχήμα προκύπτει διότι οι επίπεδες διευθύνσεις μέσα στον κρύσταλλο του διαμαντιού διαθέτουν λιγότερους δεσμούς ανά μονάδα επιφάνειας από τις υπόλοιπες διευθύνσεις. Ως άμεσο πόρισμα του γεγονότος αυτού συμπεραίνεται ότι υπάρχει μια σχετική αδυναμία κατά μήκος της οκταεδρικής επιφάνειας. Γενικά ένα κοινό διαμάντι σε ένα δαχτυλίδι δεν πρόκειται να διαμελιστεί εκτός και αν χτυπηθεί σοβαρά. Με την πάροδο του χρόνου ωστόσο μπορεί να εμφανίσει κάποια ζημιά λόγω του σχισμού του (Harlow, 1998).

2.1.3 Μορφές των διαμαντιών

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και την ποιότητά τους, τα διαμάντια παρουσιάζονται με συγκεκριμένες μορφές:

1) Boart ή Bort είναι ένα διαμάντι κατώτερης ποιότητας που χρησιμοποιείται ως λειαντικό στην βιομηχανία (Σχ. 2). Αποτελείται συνήθως από μικρούς ακανόνιστους κρυστάλλους που δεν έχουν κρυσταλλωθεί πλήρως και παρουσιάζουν πρασινοκίτρινα και σκούρα χρώματα, αλλά μπορούν να εμφανίζονται και ως διάφανα. Ορισμένες φορές μάλιστα περιέχουν και μεγάλα μαύρα διαμάντια, τα οποία όμως συνθλίβονται και αποκτούν ένα πιο μικρό και ομοιόμορφο μέγεθος.

2) Carbonado είναι ένα είδος διαμαντιού με εξαιρετικά λεπτό μέγεθος κόκκων και αποτελεί ένα φυσικό μείγμα μικροσκοπικών κρυστάλλων διαμαντιού, γραφίτη και άμορφου (μη κρυσταλλικού) άνθρακα με ή χωρίς άλλα πρόσθετα ορυκτά (Σχ. 3). Τα διαμάντια αυτά εμφανίζονται κατά κύριο λόγο ως σφαιροειδείς δομές. Πρωτοεμφανίστηκαν στην Βραζιλία, αλλά πλέον συνδέονται με πιο πρόσφατες ανακαλύψεις στην κεντρική Αφρική. Τα υλικά τους είναι αβέβαιης προέλευσης, θυμίζουν όμως έντονα κάποιες εκδοχές συνθετικών κρυστάλλων που χρησιμοποιούνται ως υλικά στίλβωσης.



Σχήμα 2.

Μορφή διαμαντιού Boart ή Bort (Indus-Global Superabrasives, 1985)



Σχήμα 3. Μορφή διαμαντιού Carbonado

3) Ο Λονσδαλεΐτης δεν αποτελεί ακριβώς κάποια άλλη μορφή διαμαντιού, αλλά συνιστά ένα διαφορετικό ορυκτό του άνθρακα που είναι αρκετά όμοιο με το διαμάντι. Στο ορυκτό αυτό υπάρχει ένα δίκτυο ατόμων ανθράκων συνδεδεμένα με 4 γειτονικά άτομα, το οποίο επαναλαμβάνεται (Σχ. 4). Τα τετραεδρικά αυτά συμπλέγματα είναι όλα προσανατολισμένα προς την ίδια κατεύθυνση και δεν εναλλάσσονται μπρος και πίσω. Για τον λόγο αυτό μάλιστα ο Λονσδαλεΐτης έχει εξαγωνική συμμετρία αντί για κυβική. Το συγκεκριμένο ορυκτό είναι λιγότερο σταθερό από το διαμάντι και δεν εντοπίζεται σε διαμάντια που προέρχονται από μεγάλα βάθη της Γης. Αντιθέτως εντοπίζεται κυρίως σε σχηματισμούς και πετρώματα τα οποία έχουν υποστεί ισχυρές και ξαφνικές δυνάμεις παραμόρφωσης και σύνθλιψης, όπως οι μετεωρίτες. Επιπλέον δεν εμφανίζεται μόνιμα σταθερό σε κάποιο συγκεκριμένο συνδυασμό πίεσης και θερμοκρασίας, αλλά προκύπτει ως σχηματισμός από μία ταχεία μεταβολή συνθηκών. Για τον λόγο αυτό ο Λονσδαλεΐτης θεωρείται ότι αποτελεί μια μετασταθή φάση. (Harlow, 1998)



Σχήμα 4.
Μορφή διαμαντιού Λονσδαλεΐτη

2.1.4 Διαφορές Γραφίτη και Διαμαντιού

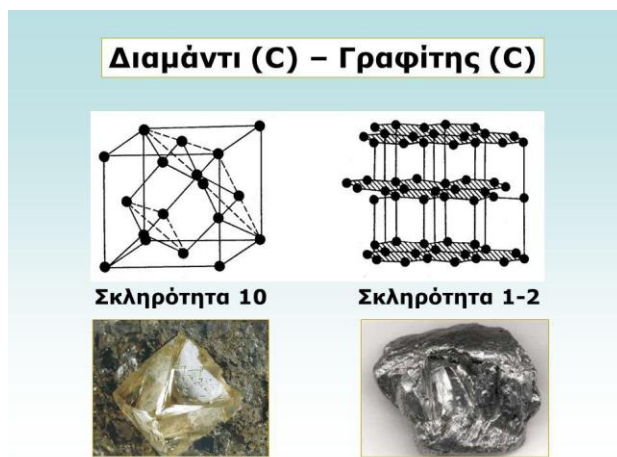
Γενικά ο γραφίτης και το διαμάντι έχουν διαφορετικές φυσικοχημικές ιδιότητες, καθώς το καθαρό διαμάντι είναι διαφανές και παρουσιάζει εξαιρετική σκληρότητα, ενώ ο γραφίτης είναι μαλακός, εύθρυπτος και αδιαφανής. Τα διαμάντια δημιουργούνται από διάφορες γεωλογικές διεργασίες στον άνω μανδύα της Γης σε βάθη που ξεπερνούν τα 150 χιλιόμετρα κάτω από εξαιρετικά υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, που οδηγούν στην τήξη του άνθρακα και στην ανακρυστάλλωσή του. Αναδύονται στην επιφάνεια καθώς συμπαρασύρονται από πυριγενή πετρώματα που ανέρχονται στην επιφάνεια μέσω μικρών ηφαιστειών. Ο γραφίτης από την άλλη δημιουργείται σε σχετικά επιφανειακά στρώματα, σε ζώνες μεταμόρφωσης ή ζώνες μεταμόρφωσης επαφής εντός γνευσίων, σχιστολίθων και μεταμορφωμένων ασβεστόλιθων (Harlow, 1998).

Ο άνθρακας έχει ατομικό αριθμό ίσο με 6, πράγμα που σημαίνει πως το κάθε άτομο άνθρακα έχει 6 πρωτόνια και 6 ηλεκτρόνια. Τα θετικά φορτισμένα πρωτόνια στον πυρήνα του ατόμου συγκρατούν τα ηλεκτρόνια σε τροχιά γύρω από αυτόν, ενώ τα ίδια τα ηλεκτρόνια επιτελούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ατόμων, οι οποίες προσδίδουν στις ουσίες τις μοναδικές τους ιδιότητες και τον χημισμό τους. Στο άτομο του άνθρακα 4 από τα ηλεκτρόνια κατέχουν μια ιδιαίτερη τροχιά που τα επιτρέπει να αλληλεπιδρούν χημικά και καλούνται ηλεκτρόνια σθένους. Έτσι τα άτομα του άνθρακα σχηματίζουν δεσμούς μεταξύ τους, ενώ καλύπτουν ταυτόχρονα τις 4 κενές θέσεις που δημιουργήθηκαν λόγω των ηλεκτρονίων σθένους. Είναι λοιπόν η γεωμετρία κατά την οποία διατάσσονται οι άνθρακες και ο μηχανισμός με τον οποίο καταλαμβάνουν τα κενά στις τροχιές σθένους που μας δίνουν την δυνατότητα να διακρίνουμε τον γραφίτη από το διαμάντι (Σχ. 5).

Μεταξύ δύο οποιονδήποτε γειτονικών ατόμων άνθρακα υπάρχει ένας δεσμός ηλεκτρονίων στον οποίο το κάθε άτομο άνθρακα προσφέρει ένα από τα ηλεκτρόνια σθένους του. Εφόσον ο κάθε άνθρακας είναι συνδεδεμένος με 4 περιβάλλοντες άνθρακες, ο καθένας ξεχωριστά περιβάλλεται από 8 ηλεκτρόνια σθένους.

Η γενική ανάπτυξη του δικτύου των εξισσοροπημένων ισχυρών δεσμών προσδίδει στο διαμάντι τις περίφημες «αδάμαστες» ιδιότητές του. Στον γραφίτη αντίθετα το κάθε άτομο άνθρακα περιβάλλεται από τους τρεις κοντινότερους γειτονικούς άνθρακες και μοιράζεται ένα ηλεκτρόνιο με τον καθένα, σχηματίζοντας με τον τρόπο αυτό ένα επίπεδο φύλλο. Το ηλεκτρόνιο που απομένει δεν σχηματίζει σταθερό διπλό δεσμό με κάποιον συγκεκριμένο άνθρακα, αλλά θεωρείται ότι

εναλλάσσεται μεταξύ των τριών γειτονικών. Για τον λόγο αυτό οι εξαμελής δακτύλιοι άνθρακα εναλλάσσονται μεταξύ μονών και διπλών δεσμών ηλεκτρονίων. Το κάθε φύλλο που προκύπτει είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό και ο συνδυασμός όλων των φύλλων προσδίδουν στον γραφίτη κάποιες παρόμοιες ιδιότητες με το διαμάντι, όπως την υψηλή θερμοκρασία τήξης. Προκειμένου να σχηματιστεί στερεό το κάθε φύλλο του γραφίτη πρέπει να στιβαχτεί το ένα



Σχήμα 5.

Διαφορές στην δομή του διαμαντιού και του γραφίτη

πάνω στο άλλο, εξαιτίας όμως του γεγονότος ότι δεν περισσεύουν τροχιακά ηλεκτρόνια που θα μπορούσαν να σχηματίσουν δεσμούς και να συνδέσουν τα στρώματα αυτά, τα φύλλα δεν συνδέονται με ισχυρούς χημικούς δεσμούς. Αντιθέτως υπάρχουν μόνο κάποια υπολειπόμενα ηλεκτρικά φορτία μεταξύ των φύλλων, τα οποία παρέχουν μια ασθενή σύνδεση μεταξύ των στρωμάτων.

Μια θεωρία που μπορεί να εξηγήσει αυτήν την ασθενή σύνδεση συνιστά πως η απόσταση μεταξύ των φύλλων άνθρακα είναι μεγαλύτερη από την διπλάσια απόσταση μεταξύ δύο γειτονικών ατόμων άνθρακα μέσα σε ένα φύλλο. Μια δεύτερη θεωρία συνιστά πως ο γραφίτης είναι μαλακός και ολισθηρός, επειδή τα στρώματα ολισθαίνουν με ευκολία το ένα πάνω στο άλλο και διαχωρίζονται χωρίς ιδιαίτερη δυσκολία. Ο γραφίτης μάλιστα είναι τόσο ολισθηρός που αποτελεί άριστη λιπαντική ουσία (Harlow, 1998).

2.1.5 Χρήσεις

Καθώς τα διαμάντια είναι πολύ δημοφιλή για την μοναδική τους ομορφιά, είναι επιπλέον και πάρα πολύ χρήσιμα. Από το να προσδίδουν λάμψη σε ένα δαχτυλίδι αρραβόνων μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων μεγάλης ακρίβειας και την εξόρυξη πετρελαίου και φυσικού αερίου, αυτά τα πολύτιμα πετράδια προσφέρουν χιλιάδες χρήσεις στην ανθρωπότητα και είναι απαραίτητα σε μια τεράστια ποικιλία πρακτικών εφαρμογών.

Οι κύριες βιομηχανικές χρήσεις των φυσικών διαμαντιών αφορούν την χρήση τους ως κοπτικά εργαλεία, ως λειαντικά ή/και την χρήση και επεξεργασία τους ως πολύτιμοι λίθοι για την κατασκευή κοσμημάτων (Yoder, 1994). Τα μοναδικά χαρακτηριστικά του διαμαντιού σε σχέση με τα αντίστοιχα οποιουδήποτε άλλου ορυκτού είναι αυτά που το καθιστούν τόσο χρήσιμο σε μία πληθώρα επιστημονικών τομέων. Παρακάτω παραθέτονται κάποιες βασικές χρήσεις τους:

α) Ραδιοθόλοι και παράθυρα – Η υπερθετική σκληρότητα του διαμαντιού το καθιστά ιδανικό ώστε να αντιστέκεται αποτελεσματικά στην τριβή των μικροσωματιδίων, ενώ η οπτική του διαπερατότητα το καθιστά κατάλληλο για την χρήση του ως ένα εξαιρετικά ευρύ φάσμα λήψης σημάτων. Ο δείκτης διάθλασής του επιπλέον του επιτρέπει να χρησιμοποιείται ως αντανάκλαστική επένδυση στα υλικά των IR ανιχνευτών, όπως το γερμάνιο, ενώ χάρη στην θερμική αγωγιμότητά του η θερμότητα που παράγεται σε υπερηχητικές πτήσεις οδηγείτε άμεσα στην περίμετρο του ραδιοθόλου.

β) Πυκνωτές – Η εξαιρετικά υψηλή διηλεκτρική κατάρρευσης του διαμαντιού σε συνδυασμό με την εξίσου υψηλή διηλεκτρική σταθερά, την χαμηλή απώλεια εφάπτωσης και την χαμηλή πυκνότητα μάζας το καθιστούν ως το ιδανικό υλικό για την αποθήκευση ενέργειας. Όταν μάλιστα συνυπολογιστούν και ο χαμηλός συντελεστής θερμικής διαστολής και η ικανότητά του να αντέχει και να χρησιμοποιείται σε μεγάλες θερμοκρασίες τότε συμπεραίνεται άμεσα πως είναι πρακτικά το μοναδικό υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για πυκνωτές σε περιβάλλοντα όπου επικρατούν ακραίες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Τέλος αξίζει να αναφερθεί πως προκειμένου να λάβουμε τα μέγιστα οφέλη των ιδιοτήτων αυτών, θα πρέπει τα φιλμ διαμαντιών να τυλίγονται σε κυλινδρικούς σχηματισμούς.

γ) Ηλεκτρονικά – Η πρώτη ηλεκτρονική χρήση του διαμαντιού ήταν η παθητική χρήση του ως ένας μεταφορέας θερμότητας σε συμβατικά κυκλώματα πυριτίου. Η χαμηλή εφάπτομένη απώλειας που διαθέτει το καθιστά ένα ιδανικό υπόστρωμα για συσκευές μεγάλης ταχύτητας. Η ασυναγώνιστη θερμική του αγωγιμότητα έχει εισάγει μια νέα προσέγγιση στη διάταξη των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Πιο συγκεκριμένα η ψύξη επιτυγχάνεται στις άκρες της ηλεκτρονικής πλακέτας, επιτρέποντας στα σήματα με τον τρόπο αυτό να μεταδίδονται απευθείας σε μικρούς χώρους μεταξύ παράλληλων κυκλωμάτων με αποτέλεσμα να ελαττώνεται σημαντικά η καθυστέρηση διάδοσής τους.

Τέλος η κινητικότητα των ηλεκτρονίων του ξεπερνάει αυτή του πυριτίου, ενώ η ολική του κινητικότητα το καθιστά κυρίαρχο μεταξύ όλων των ημιαγωγών, με εξαίρεση το γερμάνιο.

δ) Κόψιμο και λείανση – Παρόλο που η σκληρότητα αποτελεί την σημαντικότερη ιδιότητα του διαμαντιού στο κόψιμο και στην λείανση, η ικανότητά του να ελαττώνει με ταχύτατο ρυθμό τις υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στα άκρα των κοπτικών εργαλείων, ο χαμηλός συντελεστής τριβής που διαθέτει και η μοναδική δύναμή του αποτελούν τους πρόσθετους παράγοντες που καθιστούν το διαμάντι τόσο αποτελεσματικό στις εφαρμογές αυτές.

ε) Συντονιστές – Η ελαστικότητα και η ταχύτητα ήχου που διαθέτει το διαμάντι του προσδίδουν την υψηλότερη ακουστική Q από κάθε άλλο υλικό. Αυτοί οι παράγοντες σε συνδυασμό με την δυνατότητα δημιουργίας στρωμάτων διαμαντιών του επιθυμητού πάχους αναμένεται να προκαλέσουν σημαντική πρόοδο στην ηλεκτρομαγνητική (Yoder, 1994).

στ) Κοσμήματα – Οι περισσότεροι άνθρωποι γνωρίζουν τα διαμάντια ως κοσμήματα. Η θεαματική λάμψη αυτών των πολύτιμων λίθων τους καθιστά ένα δημοφιλές πρωτεύον στοιχείο για πολλά σχέδια κοσμημάτων, ενώ αντιπροσωπεύουν μεγάλη οικονομική δύναμη. Η κρυσταλλική δομή του διαμαντιού του επιτρέπει να κοπεί έτσι ώστε να προκύψουν πολυάριθμα σχήματα, προκειμένου να ικανοποιηθούν όλες οι στιλιστικές προτιμήσεις των

αγοραστών. Η υψηλή οπτική διαθλαστικότητα του επιπλέον το καθιστά ιδανικό για τον συνδυασμό του με οποιοδήποτε είδος μετάλλου (π.χ. Άργυρο, Χρυσό, Πλατίνα, Βολφράμιο).

ζ) Βιομηχανία – Πέρα από την κοσμηματοποιία, τα διαμάντια έχουν επίσης μια ευρεία ποικιλία βιομηχανικών χρήσεων και αυτό διότι είναι από τα πιο σκληρά υλικά στον πλανήτη και έχουν άριστη θερμική αγωγιμότητα.. Παρόλο που και τα φυσικά και τα τεχνητά διαμάντια παίζουν σημαντικό ρόλο στην βιομηχανία, η πλειοψηφία των βιομηχανικών διαμαντιών είναι τεχνητά. Αυτό συμβαίνει διότι τα διαμάντια που δημιουργούνται στο εργαστήριο έχουν τις ίδιες φυσικές και χημικές ιδιότητες με τα φυσικά διαμάντια, μόνο που είναι λιγότερο δαπανηρά για να αποκτηθούν.

η) Αυτοκινητοβιομηχανία – Τα διαμάντια αποτελούν ένα σημαντικό υλικό για την κατασκευή οχημάτων. Στην πραγματικότητα, σύμφωνα με την USGS κάθε αυτοκίνητο που κατασκευάζεται στις ΗΠΑ αντιπροσωπεύει την κατανάλωση διαμαντιών βιομηχανικής ποιότητας, αξίας 1,5 καρατίων. Από τα διαμαντοπρίονα και τα τρυπάνια που κόβουν και ολοκληρώνουν τα εξαρτήματα του αμαξώματος μέχρι τους τροχούς λείανσης (που διαθέτουν διαμαντένια επίστρωση) , οι οποίοι λοξοτομούν και γυαλίζουν το γυαλί στα παράθυρα των αυτοκινήτων, το ορυκτό αυτό αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της αυτοκινητοβιομηχανίας.

θ) Στίλβωση και κοπή πετρελαίων – Καθώς τα διαμάντια είναι σκληρότερα από οποιοδήποτε άλλο πετράδι, αποτελούν την ιδανική επιλογή για την κοπή και στίλβωση άλλων πετρελαίων. Το διαμάντι προτιμάται για τέτοιου είδους εργασίες διότι κατέχει την υψηλότερη θέση στην κλίμακα Mohs (10), πράγμα που σημαίνει πως είναι 4 φορές πιο σκληρό από το αμέσως επόμενο σκληρότερο υλικό, το κορούνδιο (το ορυκτό που οι ευγενείς του ποικιλίες είναι τα ρουμπίνια και τα ζαφείρια). Οι λιθογλύφοι χρησιμοποιούν εργαλεία που διαθέτουν διαμαντένια επίστρωση για να κόψουν άλλα πετράδια και πετρώματα. Οι ειδικοί στους πολύτιμους λίθους χρησιμοποιούν διαμαντένια εργαλεία για να δημιουργήσουν μια πληθώρα αντικειμένων, από τους γρανιτικούς πάγκους μέχρι τις επιτύμβιες στήλες.

ι) Κατασκευή και επισκευή αυτοκινήτων – Η βιομηχανία κατασκευής αυτοκινήτων είναι ο μεγαλύτερος καταναλωτής προϊόντων βιομηχανικών διαμαντιών. Οι εργάτες χρησιμοποιούν εξοπλισμό επικαλυμμένο με διαμάντια προκειμένου να τεμαχίσουν και να σχηματίσουν αύλακες στα οδοστρώματα των δρόμων. Εταιρείες όπως η Diamond Products προσφέρουν μια ποικιλία εξοπλισμού για κατασκευές, συμπεριλαμβανομένων και των προϊόντων διαμαντιών, των διαμαντένιων λεπίδων και των λειαντικών τροχών.

κ) Αναζήτηση πετρελαίου και φυσικού αερίου – Η βιομηχανία φυσικού αερίου και πετρελαίου είναι ακόμη ένας μεγάλος καταναλωτής βιομηχανικών διαμαντιών. Τα

διαμαντένια τρυπάνια επιτρέπουν στις εταιρείες πετρελαίου και φυσικού αερίου να διατρυπήσουν και να διεισδύσουν σε σκληρά υλικά. Στην πραγματικότητα τα τμήματα διαμαντιών χρησιμοποιούνται ευρέως και αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας εξόρυξης από το 1910. Τα συνθετικά διαμάντια χρησιμεύουν στις περισσότερες εφαρμογές, όμως για τις πιο δύσκολες καταστάσεις μόνο τμήματα φυσικών διαμαντιών καταφέρνουν να αποδώσουν και να επιφέρουν το επιθυμητό αποτέλεσμα.

λ) Εξοπλισμός Υψηλής Τεχνολογίας – Τα διαμάντια διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο σε προϊόντα υψηλής τεχνολογίας. Από την παραγωγή επιστρώσεων για ημιαγωγούς μέχρι την στίλβωση οπτικού εξοπλισμού, τα διαμάντια και η σκόνη αυτών παράγουν πολλά λεπτεπίλεπτα εξαρτήματα για τεχνικά προϊόντα. Τα προϊόντα διαμαντιών μεγάλης ακρίβειας κόβουν επίσης εξαιρετικά λεπτές στρώσεις μετάλλου και κρυστάλλου για την χρήση τους σε ηλεκτρονικά προϊόντα, ενώ οι πολλοί διαμαντιών βοηθούν στην στίλβωση και το γυάλισμα των φακών που χρησιμοποιούνται στα λέιζερ. (Wilson, 2013)

2.1.6 Άλλες χρήσεις των βιομηχανικών διαμαντιών

- Ιατρικά εργαλεία τα οποία έχουν στιλβωθεί με διαμάντια ή έχουν διαμαντένιες άκρες.
- Εργαλεία χάραξης μεγάλης ακρίβειας, επικαλυμμένα με σκόνη διαμαντιών.
- Κεραμικά εξαρτήματα στιλβωμένα με διαμάντια για την αεροδιαστημική βιομηχανία.
- Εργαλεία επικαλυμμένα με διαμάντια για την κοπή και διαμόρφωση των επενδύσεων στους φούρνους.
- Καλούπια επικαλυμμένα με διαμάντια για την παραγωγή καλωδίου.

2.1.7 Μελλοντικές ευρείες χρήσεις των διαμαντιών

Στο κοντινό μέλλον αναμένεται να προκύψουν νέες χρήσεις των διαμαντιών που θα επηρεάσουν δραματικά την ιατρική και την βιομηχανία υψηλής τεχνολογίας, καθώς και άλλους οικονομικούς τομείς.

1. Οι ερευνητές πειραματίζονται με ηλιακά πάνελ που θα έχουν στην σύσταση τους διαμάντια, τα οποία προβλέπονται να είναι πολύ πιο αποτελεσματικά σε σύγκριση με τις υπάρχουσες επιλογές.

2. Διάφοροι επιστήμονες εργάζονται και εξετάζουν τα διαμάντια, προκειμένου να δημιουργήσουν λείζερ πολύ πιο ισχυρά τα οποία θα παράγουν και ένα μεγαλύτερο εύρος χρωμάτων από τα τρέχοντα.

Ιατρικοί ερευνητές δοκιμάζουν τα διαμάντια ως σύστημα χορήγησης φαρμάκων για την καταπολέμηση του καρκίνου του μαστού και του ήπατος. (Wilson, 2013)

2.1.8 Σημασία και οικονομία διαμαντιών

Ο καθένας μας έχει ακούσει για το διαμάντι και γνωρίζει μερικά πράγματα για αυτό, όμως ελάχιστοι γνωρίζουν για την σημασία του στην πραγματική ζωή και τον λόγο που οι άνθρωποι το φορούν και το αγοράζουν παρόλο που είναι τόσο ακριβό. Τα διαμάντια είναι σημαντικά για διάφορους και ποικίλους λόγους, ενώ δεν περιορίζονται αποκλειστικά στην χρήση τους ως ακριβά δώρα.

Με την βοήθεια που προσφέρουν τα ρευστά εγκλείσματα (μικρές φυσαλίδες που παγιδεύονται στα περισσότερα διαμάντια κατά τον σχηματισμό τους) μπορούμε να αντλήσουμε χρήσιμες πληροφορίες για τον μανδύα, καθώς και για άλλα πετρώματα μέσα στα οποία βρίσκονται. Από το γεγονός αυτό προκύπτει μια ειρωνεία, καθώς οι αγοραστές πολύτιμων λίθων αποφεύγουν να αγοράζουν διαμάντια με αντισταθμικά εγκλείσματα, ενώ οι γεωλόγοι πασχίζουν να βρουν διαμάντια με όσο το δυνατόν περισσότερα εγκλείσματα. Δεδομένου του ότι τα διαμάντια είναι ανάμεσα στους παλαιότερους γεωλογικά πολύτιμους λίθους (κάποιες φορές μάλιστα η ηλικία τους ξεπερνά και τα 3 δισεκατομμύρια χρόνια), μπορούν να χρησιμοποιηθούν από γεωλόγους και να μελετηθούν σε βάθος τα αρχέγονα αυτά δείγματα του μανδύα, που βρίσκονται υπό την μορφή εγκλεισμάτων. Ένα πολύ σημαντικό συμπέρασμα που έχει εξαχθεί από τέτοιες μελέτες είναι πως οι κιμπερλίτες και οι λαμπροίτες προέρχονται από αρχαίους ωκεάνιους πυθμένες, σύμφωνα με τον Alden (2004) της Diamond Zone. Το γεγονός αυτό μαρτυρά πως τα τμήματα του ωκεάνιου φλοιού που καταβυθίστηκαν κάτω από τις ηπείρους βρίσκονται στις θέσεις αυτές για δισεκατομμύρια χρόνια. Σύμφωνα με ορισμένες μελέτες επιπλέον ο ωκεάνιος φλοιός υποβυθίστηκε κάτω από τις ηπείρους από αρχαιοτάτων χρόνων. Οι κιμπερλιτικοί αγωγοί ωστόσο είναι ιδιαίτερα σπάνιοι, αφού το μεγαλύτερο μέρος το υποβυθισμένου φλοιού έχει ήδη καταστραφεί στον μανδύα. Τα πορίσματα αυτά είναι χρήσιμα για τους γεωλόγους και παραθέτουν αρκετά ερωτήματα για το πώς λειτουργούν οι κινήσεις και οι δυνάμεις των τεκτονικών πλακών (Alden A. , 2004)

Η παγκόσμια βιομηχανία διαμαντιών απασχολεί πάνω από 10 εκατομμύρια εργαζόμενους άμεσα και έμμεσα σε ολόκληρο τον κόσμο. Η πλειοψηφία των διαμαντιών προέρχεται από χώρες που χρησιμοποιούν έσοδα από διαμάντια προκειμένου να ενισχύσουν

την εθνική τους ανάπτυξη (Σχ. 6). Δεδομένου πως υπάρχει η κατάλληλη και σωστή κυβέρνηση και οι απαραίτητοι νόμοι, τα διαμάντια μπορούν να αποτελέσουν μια ζωτική πηγή εσόδων για την δημιουργία υποδομών και απαραίτητων κοινωνικών υπηρεσιών όπως νοσοκομεία και σχολεία. Χαρακτηριστικό συμβάν που ενισχύει το γεγονός αυτό είναι η δήλωση του πρωθυπουργού της Μποτσουάνα, Mogae, ο οποίος για να τονίσει την απαραίτητη σημασία των διαμαντιών είχε δηλώσει: “Για τους ανθρώπους μας κάθε αγορά διαμαντιού αντιπροσωπεύει φαγητό στο τραπέζι, καλύτερες συνθήκες διαβίωσης, πληρέστερη ιατρική περίθαλψη, ασφαλές πόσιμο νερό, περισσότερους δρόμους για να συνδέσουν τις πιο απομονωμένες μας κοινωνίες και πολλά περισσότερα”.

Χώρες όπως η Μποτσουάνα, η Ναμίμπια και η Νότιος Αφρική αποτελούν σύγχρονα παραδείγματα πώς τα έσοδα από το εμπόριο διαμαντιών μπορούν να δημιουργήσουν υπολογίσιμα οφέλη στην οικονομία των χωρών από όπου και αν προέρχονται. Στις χώρες αυτές τα διαμάντια έχουν συνεισφέρει σημαντικά στην οικονομική τους ανάπτυξη και σταθερότητα. Επιπλέον τα έσοδα αυτά χρησιμεύουν στην ενίσχυση και κατ’ επέκταση ορθοπόδοση χωρών που έχουν προηγουμένως πληγεί από πολέμους. Αξίζει να αναφερθεί το συμβάν κατά το οποίο ο πρωθυπουργός της Λιβυής, Ellen Johnson Sirleaf, κάλεσε διάφορους εκπροσώπους σε μια περιφερειακή διάσκεψη προκειμένου να καθορίσει πως η εξόρυξη διαμαντιών μπορεί να χρησιμεύσει στην μείωση της φτώχειας, στην οικονομική ανάπτυξη των καυσίμων και πως μπορεί να προάγει την ειρήνη στις Δυτικές Αφρικανικές χώρες, όπως η Γουινέα, η Λιβύη, η Σιέρα Λεόνε και η Ακτή Ελεφαντοστού.

Οι κοινωνίες παγκοσμίως γνωρίζουν και αποδέχονται ευρέως πως η δημιουργία ενός αειφόρου μέλλοντος για την Αφρική βασίζεται στην ικανότητά της να αναπτύξει και να αυξήσει στο μέγιστο τους φυσικούς της πόρους. Τα διαμάντια φυσικά διαδραματίζουν έναν μείζων ρόλο στις προσπάθειες αυτές. Το εμπόριο διαμαντιών συνεισφέρει κατά προσέγγιση 8.4 δισεκατομμύρια δολάρια ετησίως στην Αφρική. Παρακάτω παρουσιάζονται οι απόρροιες των εσόδων που προκύπτουν από την βιομηχανία διαμαντιών σε μερικές χώρες της Αφρικής, καθώς και στις οικονομίες τους:

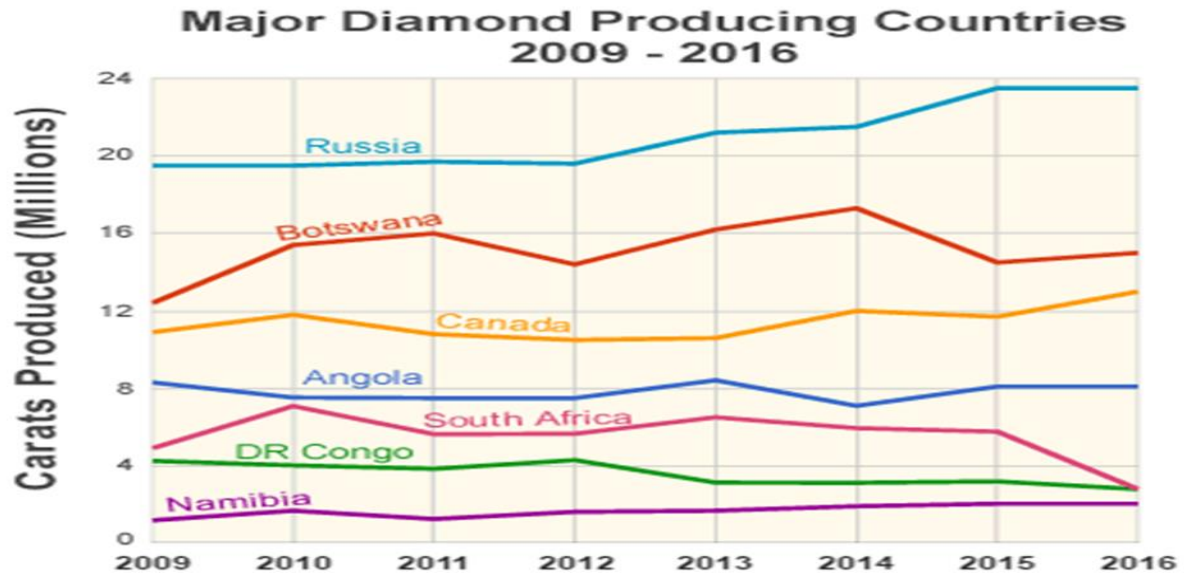
- Τα διαμάντια συνεισφέρουν στο 76% των εσόδων της Μπουτσουάνα από εξαγωγές. Από την ανακάλυψη του διαμαντιού ως σήμερα, η ετήσια ανάπτυξη του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της χώρας έχει υπολογιστεί στο 7%. Η Debswana συγκεκριμένα, μια εταιρεία διαμαντιών στην Μποτσουάνα, είναι ο μεγαλύτερος εταιρικός υπεύθυνος για την συνεισφορά στην κοινωνικό-οικονομική ανάπτυξη της χώρας. Η χώρα αυτή διαθέτει μια από τις ταχύτερες αναπτυσσόμενες οικονομίες, λόγω κυρίως στο εμπόριο διαμαντιών. Χωρίς το

νόμιμο εμπόριο διαμαντιών η χώρα θα έχανε περίπου 3 δισεκατομμύρια δολάρια τον χρόνο σε έσοδα. Αυτή η απώλεια θα επηρέαζε πολλούς τομείς, από τις δαπάνες σε κοινωνικά προγράμματα μέχρι τις κρατικές επενδύσεις για την υποδομή της χώρας.

- Στη Ναμίμπια τα διαμάντια αντιπροσωπεύουν το 10% του ακαθάριστου εγχώριου προϊόντος της (GDP), το 40% των εσόδων από εξαγωγές και το 7% των ετήσιων κρατικών εσόδων. Υπολογίστηκε μάλιστα πως το 2006 η Ναμίμπια παρήγαγε μια ποσότητα διαμαντιών αξίας περίπου 600 εκατομμυρίων δολαρίων.
- Η Νότια Αφρική την ίδια χρονιά παρήγαγε διαμάντια αξίας πάνω από 1.5 δισεκατομμύρια δολάρια. Προγράμματα εταιρικής κοινωνικής ανάπτυξης προσκομίζουν εκατομμύρια δολάρια επενδύσεων από διάφορες εταιρίες εξόρυξης διαμαντιών στην χώρα. Πιο συγκεκριμένα το Namaqualand Diamond Fund Trust, το οποίο επενδύει σε κοινοτικά σχέδια ανάπτυξης, καθώς και σε πρωτοβουλίες ανάπτυξης και βιωσιμότητας, παρέλαβε περίπου 4.8 εκατομμύρια δολάρια από τον Μάρτιο του 2005 μέχρι τον Μάρτιο του 2006 από την Trans Hex Group (μια εταιρία αναζήτησης και εξόρυξης διαμαντιών). Η συγκεκριμένη εταιρία μάλιστα έχει επενδύσει συνολικά 37.8 εκατομμύρια δολάρια στην Fund Trust από το έτος ίδρυσής της (1994) έως σήμερα.
- Άλλες χώρες όπως η Αγκόλα, η Τανζανία, Η Λαϊκή Δημοκρατία του Κονγκό και η Σιέρα Λεόνε επίσης έχουν τεράστια οικονομικά οφέλη από το εμπόριο διαμαντιών και τα έσοδα που προσκομίζουν από αυτά.

Εκτός της Αφρικανικής ηπείρου, ο Καναδάς αποτελεί την τρίτη κατά σειρά μεγαλύτερη χώρα παραγωγής διαμαντιών παγκοσμίως, με μια ετήσια παραγωγή ύψους 1.5 δισεκατομμυρίων δολαρίων και συνεισφέρει στο 15% των παραγόμενων διαμαντιών όλου του κόσμου. Η βιομηχανία εξόρυξης διαμαντιών του Καναδά απασχολεί χιλιάδες ανθρώπους είτε άμεσα είτε έμμεσα. Τα διαμάντια του Καναδά είναι εγγυημένα ότι προέρχονται από πηγές που δεν προκάλεσαν συγκρούσεις και διαμάχες (conflict minerals), ενώ εξορύσσονται με υπεύθυνο και νόμιμο τρόπο. Η ίδια βιομηχανία ακολουθεί αυστηρή ηθική πολιτική περιβαλλοντικής προστασίας και διατήρησης. Επιπλέον η παραγωγή διαμαντιών αποδίδει σημαντικά υψηλότερη αναλογία παρθένων και υψηλής ποιότητας κοιτασμάτων σε σύγκριση με την παραγωγή άλλων χωρών. Άμεσα οφέλη προκύπτουν για την ομοσπονδιακή

κυβέρνηση της χώρας, μέσω δικαιωμάτων των επιχειρήσεων και φόρων ατομικών εισοδημάτων που συνδέονται με τα ορυχεία διαμαντιών.



Σχήμα 6.

Οι σημαντικότερες χώρες παραγωγής διαμαντιών

(King, 2016)

2.1.9 Δημιουργώντας Εργασία

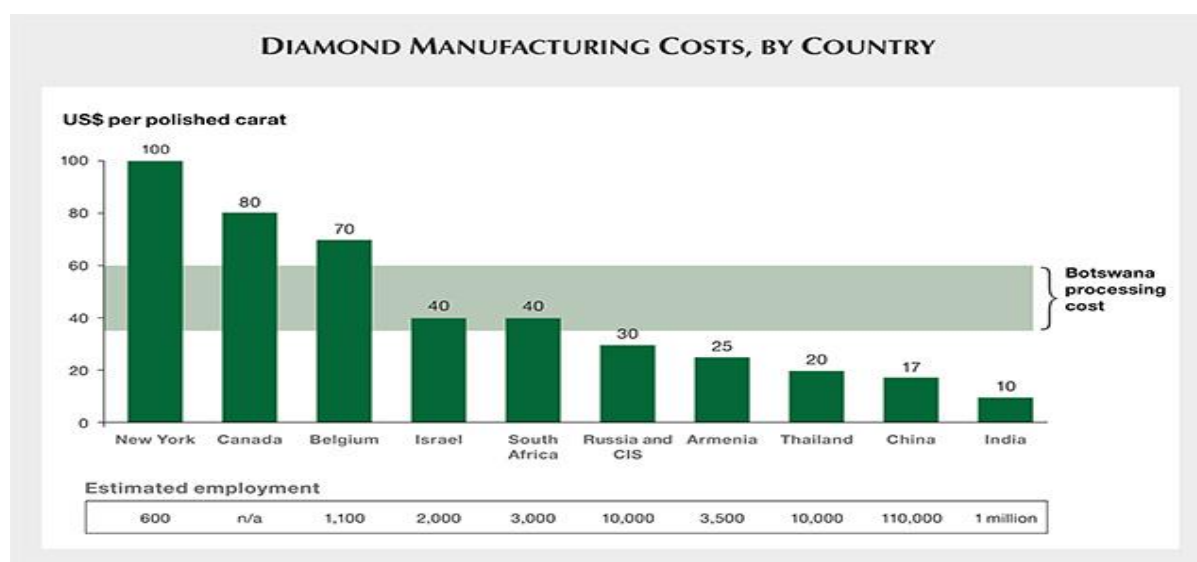
Η βιομηχανία διαμαντιών παρέχει εργασία και απασχόληση σε εκατομμύρια ανθρώπους σε όλον τον πλανήτη. Στην Νότια Αφρική για παράδειγμα πάνω από 38000 άνθρωποι απασχολούνται άμεσα, ενώ στην Μποτσουάνα η ίδια βιομηχανία αποτελεί τον δεύτερο μεγαλύτερο «εργοδότη» της χώρας. Στην Νότια Αφρική 28000 άνθρωποι εργάζονται στην εξόρυξη, στην διαλογή, στην εκτίμηση, στο κόψιμο, στο στίλβωμα, στην λιανική πώληση κοσμημάτων, καθώς και στην κατασκευή αυτών. Όλες αυτές οι ευκαιρίες μερικής απασχόλησης και εργασίας επιτρέπουν σε χιλιάδες ανθρώπους να αποκομίζουν έναν βασικό μισθό, να αποκτήσουν ιατροφαρμακευτική περίθαλψη, να δημιουργήσουν ένα καλύτερο περιβάλλον στο σπίτι τους, να παρέχουν την βασική εκπαίδευση στα παιδιά τους και πολλά περισσότερα. Οι ίδιες θέσεις εργασίας δημιουργούν, ως επακόλουθο, έμμεση απασχόληση

αφού επεκτείνονται οι κοινότητες γύρω από τις περιοχές όπου εντοπίζονται τα διαμάντια και προσφέρουν ευρύτερες ευκαιρίες στους ανθρώπους των κοινοτήτων αυτών.

Η βιομηχανία διαμαντιών στον Καναδά απασχολεί άμεσα πάνω από 5300 ανθρώπους και έμμεσα πάνω από 7500. Στην πραγματικότητα μεταξύ του 1991 και του 2002 η εξόρυξη διαμαντιών αποτέλεσε το 74% της απασχόλησης στις Νότιο-Δυτικές περιοχές (NWT). Διάφορες δραστηριότητες εξερεύνησης επίσης συνέβαλαν επιπλέον 23% στην συνολική απασχόληση. Υπάρχουν τρία ορυχεία διαμαντιών που λειτουργούν στις NWT και Nunavut και ένα στο στάδιο κατασκευής. (Info Diamond)

2.2 Χτίζοντας υποδομές

Τα έσοδα που προκύπτουν από το εμπόριο διαμαντιών βοηθούν δραματικά στην πολεοδομική ανάπτυξη των χωρών από όπου και προέρχονται (Σχ. 7). Για παράδειγμα το 1966 υπήρχαν μόνο 3 μίλια δρόμων στην Μποτσουάνα. Σήμερα υπάρχουν περίπου 4000 μίλια, ενώ έχει αναπτυχθεί και σύστημα δημόσιων συγκοινωνιών. Επιπρόσθετα υπάρχει πλέον ένα ψηφιακό τηλεφωνικό δίκτυο, που καλύπτει όλη την χώρα και αποτελείται από καλώδια οπτικών ινών πολλών χιλιάδων μιλίων. Σήμερα που έχουν βελτιωθεί οι επικοινωνίες και οι μετακινήσεις, οι κάτοικοι της Μποτσουάνα έχουν αμεσότερη πρόσβαση σε καλύτερες ευκαιρίες απασχόλησης, σε εγκαταστάσεις υγειονομικής περίθαλψης, σε σχολεία και άλλες πόλεις. Όλες αυτές οι εξελίξεις στην υποδομή της χώρας προετοιμάζουν το έδαφος για ίσες ευκαιρίες προς όλους και συνεχή οικονομική ανάπτυξη (Info Diamond).



Σχήμα 7. Το κόστος ανά καράτι για την κατασκευή διαμαντιών (συμπεριλαμβανομένων των εξόδων εργασίας και λειτουργίας) στα κέντρα διαμαντιών παγκοσμίως, έναντι του κόστους της Μποτσουάνα (Grigorian, 2012)

3. Τύποι κοιτασμάτων διαμαντιών

Γενικά τα κοιτάσματα διαμαντιών διαχωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή. Στα πρωτογενή κοιτάσματα τα διαμάντια εντοπίζονται διάσπαρτα μέσα σε επίγειες φυσικές σωληνώσεις ή φλέβες, οι οποίες είναι γεμάτες από κιμπερλίτη.

Τα δευτερογενή κοιτάσματα από την άλλη προκύπτουν από διάβρωση και αποσάθρωση των πρωτογενών, μέσω της μεταφοράς και απόθεσης των υλικών που προκύπτουν. Συγκεκριμένα τα διαμάντια αποσπώνται από το πέτρωμα και στην συνέχεια μεταφέρονται χιλιάδες χιλιόμετρα μακριά όπου και εναποτίθενται σε κοίτες ποταμών, αμμουδιές παραλιών και παλιές κοίτες ποταμών (μερικές φορές μάλιστα εντοπίζονται ακόμα και σε λόφους, ζούγκλες και ερήμους). Τα διαμάντια μπορεί επίσης να έχουν μεταφερθεί από παγετώνες και στην περίπτωση που η μεταφορά τους έγινε κάτω από δυσχερείς συνθήκες τότε δεν μπορούν να βρεθούν καθώς έχουν θρυμματιστεί και μετατραπεί σε σκόνη. Πιο συγκεκριμένα κάποιοι τύποι κοιτασμάτων είναι οι εξής:

1)Αδαμαντοφόρα κοιτάσματα Κιμπερλιτών – Ο Κιμπερλίτης, ένα υπερβασικό διεισδυτικό πέτρωμα, είναι ένα από τα κύρια πετρώματα που φέρουν διαμάντια. Διαθέτει μια πορφυριτική υφή και αντιστοιχεί σε έναν ανθρακούχο σερπεντινωμένο περιδοτίτη, ο οποίος περιέχει σφαιρίδια υπερβασικών πετρωμάτων και ορυκτά υψηλής πίεσης (π.χ. πυρωπό στον μαγνησιακό γρανάτη). Ωστόσο δεν διαθέτουν απαραίτητα όλοι οι κιμπερλίτες διαμάντια, καθώς από τα 4000 κιμπερλιτικά κοιτάσματα που εντοπίζονται στον κόσμο, μόνο 500 έως 1000 θεωρούνται πως φέρουν διαμάντια (Dawson, 1967).

2)Διαμαντοφόρα κοιτάσματα Λαμπροϊτών– Οι Λαμπροϊτες αναγνωρίστηκαν το 1984 ως υπερποτασικά μαγνησιούχα πυριγενή πετρώματα (Wolfe Skinner & Scott Smith, 1984). Χαρακτηρίζονται από υψηλές αναλογίες K_2O/Na_2O , ενώ όσον αφορά τα ιχνοστοιχεία οι συγκεντρώσεις του Cr και Ni (τυπικές των υπερβασικών) είναι εξαιρετικά υψηλές, όπως άλλωστε και οι συγκεντρώσεις σε Rb, Sr, Zr, και Ba οι οποίες είναι χαρακτηριστικές των όξινων πετρωμάτων (Jennings C. H., 1995).

3)Αδαμαντοφόρα προσχωματικά κοιτάσματα – Καθώς οι διαμαντοφόροι κιμπερλίτες μεταβάλλονται πλήρως και απογυμνώνονται λόγω της διάβρωσης, τα συστατικά που απελευθερώνονται μπορούν να μεταφερθούν σε μεγάλες αποστάσεις από ποτάμια και ρέματα και τελικά να εναποτεθούν σε λεκάνες μαζί με τα ιζήματα (Harben & Kuzvart, 1997). Οι

αλλουβιακές αποθέσεις που φέρουν διαμάντια απαντώνται κυρίως κατά μήκος των ποταμών και των παράκτιων περιοχών (Dawson 1989).

4. Αναφορικά με τους Κιμπερλίτες

4.1.1 Τι είναι οι κιμπερλίτες

Ο κιμπερλίτης, αποκαλούμενος επίσης και μπλε έδαφος , είναι ένα σκουρόχρωμο, βαρύ, συχνά εξαλλοιωμένο και κατακερματισμένο (παρουσία λατυποπαγών) διεισδυτικό πυριγενές πέτρωμα που σχηματίστηκε από την κρυστάλλωση του μάγματος. Έχει πορφυριτική υφή με μεγάλους στρογγυλεμένους φαινοκρυστάλλους, οι οποίοι περικλείονται από λεπτόκοκκο υλικό. Οι γεωλόγοι αναφέρονται σε αυτόν ως καλιούχο υπερβασικό πέτρωμα, πλούσιο σε πτητικά συστατικά, γεγονός που σημαίνει πως δεν περιέχει καθόλου χαλαζία ή αστρίους, τα δύο πιο κοινά ορυκτά σχηματισμού πετρωμάτων. Αποτελείται από τουλάχιστον 35% ολιβίνη, μαζί με άλλα ορυκτά όπως μικροκλινή, σερπεντίνη και ασβεστίτης (Jackson, 1997). Το πιο βασικό ορυκτό συστατικό του πετρώματος, ο ολιβίνης, είναι ένα γκριζοπράσινο έως καφέ ορυκτό που αποτελείται από μαγνήσιο, σίδηρο και πυρίτιο (Berendsen, Weiss, & Dobbs, 2000) .

Πιο συγκεκριμένα ο κιμπερλίτης συνιστά έναν μαρμαρυγιακό περιδοτίτη και μαζί με τον ολιβίνη άλλα ορυκτά συστατικά του σε αφθονία είναι ο φλογοπίτης, ο χρωμίτης και φαινοκρύσταλλοι γρανατών πλούσιοι σε πυρωπό, καθώς και διοψίδιο που περιέχει χρώμιο. Στον Αφρικανικό κιμπερλίτη περιέχονται ιλμενίτης, σερπεντίνη, ασβεστίτης και μαγνητίτης. Μαζί με τον Λαμπροΐτη, ο κιμπερλίτης είναι υπεύθυνος για την μεταφορά διαμαντιών στον φλοιό μέσω των μαγματικών διεισδύσεων που κρυσταλλώνονται και σχηματίζουν σωληνοειδείς δομές. Οι κιμπερλίτες δημιουργούνται στα ανυψωμένα κέντρα των ηπειρωτικών πλατφόρμων. Αξίζει να αναφερθεί πως στην περιοχή Kimberley της Νότιας Αφρικής, απ' όπου και προτάθηκε το όνομα για το πέτρωμα αυτό το 1888, σχηματίζονται σωληνώσεις (χοάνες, οβάλ στην διατομή τους, που γίνονται ολόενα και στενότερες όσο αυξάνεται το βάθος) και περιστασιακά μεταπίπτουν σε φλέβες (dikes). Άλλες εμφανίσεις περιλαμβάνουν τα dikes στην Ithaca της Νέας Υόρκης, της περιοχής Kimberley και της

λίμνης Argyle στην Αυστραλία, καθώς και τις λάβες στους λόφους Iswisi της Τανζανίας (Sampaolo, 2017).

Το γεωλογικό περιβάλλον (περιβάλλον απόθεσης) των κιμπερλιτών χαρακτηρίζεται από πολλές διατάξεις, διατρήματα υψηλού βαθμού, δακτύλιους και κώνους τόφφων, καθώς και πλουτωνικές διεισδύσεις και dikes. Αξίζει να αναφερθεί πως διατρήματα καλούνται διάφορες ηφαιστειακές διανοίξεις, οι οποίες έχουν συνήθως σχήμα κατακόρυφων σωλήνων και η κύρια αιτία δημιουργίας τους είναι οι ισχυρές εκτοξεύσεις αερίων. Παρουσιάζουν στενούς χώρους στην βάση τους και διευρυμένες οροφές, σχηματίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο μια κωνική μορφή. Το τεκτονικό περιβάλλον στο οποίο εντοπίζονται περιλαμβάνει κυρίως περιφέρειες που υπόκεινται κάτω από σταθερές Αρχαιοζωικές κρατονικές περιοχές. Όσον αφορά την ηλικία σχηματισμού, τα κοιτάσματα που παρουσιάζουν οικονομικό ενδιαφέρον απαντώνται σε κιμπερλίτες Πρωτεροζωικού. Αντίθετα τα διαμάντια ποικίλουν από τον Αρχαιοζωικό μέχρι και πριν 990 εκατομμύρια χρόνια πριν.

Οι κιμπερλίτες ως πετρώματα ξενιστές αποτελούν μικρές πλουτωνικές διεισδύσεις οι οποίες κατατάσσονται προς τα πάνω σε λατυποπαγή διατρήματα κοντά στην επιφάνεια και σε πυροκλαστικά πετρώματα στον κρατήρα, που βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια του εδάφους. Αξίζει να αναφερθεί πως οι κιμπερλίτες τέμνουν εγκάρσια όλους τους τύπους πετρωμάτων. Οι κιμπερλίτες εμφανίζονται κατά κύριο λόγο σε διατρήματα κωνικού σχήματος με απότομες κλίσεις που συγκλίνουν προς την βάση τους. Ορισμένες φορές μάλιστα εντοπίζονται σε αυτά σύνθετα ριζικά συστήματα και πολλαπλά dikes. Τα ορατά επιφανειακά τμήματα των αγωγών που φέρουν διαμάντια κυμαίνονται από 2 έως 146 εκτάρια. Σε μερικά διατρήματα ο κρατήρας και ο κώνος τόφφων ενδέχεται να είναι διατηρημένα, ωστόσο οι κρατήρες των κιμπερλιτών και οι κώνοι τόφφων μπορούν να σχηματιστούν και χωρίς την ύπαρξη διατρήματος. Οι πλουτωνικοί κιμπερλίτες τέλος συνήθως σχηματίζουν διεισδύσεις και dikes. Τα διαμάντια εμφανίζονται συνήθως ως ξεχωριστοί κόκκοι ξενοκρυσταλλικής προέλευσης και η κατανομή τους είναι συνήθως τυχαία στα κιμπερλιτικά διατρήματα. Ορισμένοι κιμπερλίτες με κρατήρες είναι εμπλουτισμένοι σε διαμάντια σε σχέση με την σχετική διαταραχή τους (π.χ. στις περιοχές Mwadui και Τανζανία), εξαιτίας της εξαλλοίωσης που λαμβάνει χώρα. Τα κιμπερλιτικά dikes μπορεί να εμφανίζουν έναν κύριο σχισμό ο οποίος είναι παράλληλος με άλλες δομές ή διακλάσεις. Η ορυκτολογική μεταβολή που συμβαίνει περιλαμβάνει σερπεντινίωση σε πολλά κοιτάσματα, καθώς και πυριτικοποίηση ή λεύκανση κατά μήκος των επαφών. Δευτερευόντως μπορούν να προκύψουν ασβεστίτης, χαλαζίας και ζεόλιθοι μέσα σε ρήγματα. Τέλος τα διαμάντια μπορούν να υποστούν γραφίτιοποίηση ή απορρόφηση (Pell, 1998).

Στα τροπικά κλίματα οι κιμπερλίτες διαβρώνονται αρκετά εύκολα και σε μεγάλο βάθος μετατρέπονται σε «κίτρινο έδαφος», το οποίο αποτελείται κυρίως από αργίλους. Στα εύκρατα κλίματα, η διάβρωση είναι λιγότερο έντονη, παρόλα αυτά οι άργιλοι εξακολουθούν να αποτελούν το κυρίαρχο προϊόν διάβρωσης και αποσάθρωσης. Οι διαστάσεις των κρατήρων και των διατρημάτων τείνουν να σχηματίζουν τοπογραφικές υφέσεις, ενώ τα υποαβυσσικά πυριγενή dike συνήθως είναι πολύ πιο ανθεκτικά στους παράγοντες της διάβρωσης. Οι κιμπερλίτες επιπλέον εμφανίζονται σε περιοχές που περιλαμβάνουν έως και 100 μεμονωμένες διεισδύσεις, οι οποίες σχηματίζουν πολυδαίδαλα συγκροτήματα. Κάθε περιοχή παρουσιάζει ιδιαίτερη ποικιλομορφία όσον αφορά την πετρολογία, την ορυκτολογία, τον μανδυακό ξενόλιθο και την περιεκτικότητα σε διαμάντια του κάθε κιμπερλίτη. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός κατά το οποίο διαμαντοφόροι κιμπερλίτες με οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς και στείροι (άγονοι) κιμπερλίτες είναι δυνατόν να εμφανιστούν σε κοντινή μεταξύ τους απόσταση (Pell, 1998).

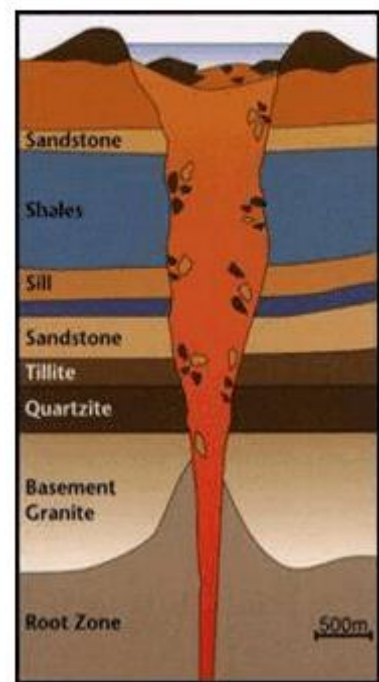
4.1.2 Οδηγοί αναζήτησης Κιμπερλιτών

A] **Γεωχημικά Χαρακτηριστικά:** Οι κιμπερλίτες συνήθως έχουν υψηλές συγκεντρώσεις σε Ti (Τιτάνιο), Cr (Χρώμιο), Ni (Νικέλιο), Mg (Μαγνήσιο), Ba (Βάριο) και Nb (Νιόβιο) στα υπερκείμενα υπολειμματικά εδάφη. Ωστόσο πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή διότι άλλα αλκαλικά πετρώματα μπορούν να δώσουν παρόμοιες γεωχημικές υπογραφές. Η χημεία των ορυκτών μπορεί να χρησιμεύσει εκτεταμένα για να καθοριστεί εάν η πηγή προέλευσης του κιμπερλίτη είναι αδαμαντοφόρα ή άγονη/στείρα. Οι κιμπερλίτες που φέρουν διαμάντια μπορεί να περιέχουν γρανάτες με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο και χαμηλή σε ασβέστιο, καθώς και εκλογιτικούς γρανάτες πλούσιους σε νάτριο.

B] **Γεωφυσικά Χαρακτηριστικά:** Συχνά χρησιμοποιούνται γεωφυσικές τεχνικές για τον εντοπισμό κιμπερλιτών, οι οποίες όμως δεν δίνουν πληροφορίες για την περιεκτικότητά τους σε διαμάντια. Συνήθως επιλέγονται μετρήσεις εδάφους και αέρος (μαγνητομετρικές). Οι κιμπερλίτες μπορούν να εμφανιστούν είτε ως μαγνητικά υψηλά είτε ως χαμηλά. Στις περιοχές του ισημερινού οι ανωμαλίες χαρακτηρίζονται από μια δίπολη μαγνητική υπογραφή σε αντίθεση με το μοτίβο «bull's-eye» που εμφανίζεται σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη. Κάποιοι κιμπερλίτες ωστόσο δεν εμφανίζουν διαφορά στο μαγνητικό τους πεδίο σε σχέση με τα γύρω πετρώματα. Ορισμένοι σωλήνες κιμπερλιτών επιπλέον μπορούν να ανιχνευθούν χρησιμοποιώντας ηλεκτρικές μεθόδους (VLF, EM) μέσω ερευνών εδάφους ή αέρος. Οι

τεχνικές αυτές είναι ιδιαίτερες χρήσιμες στα ανώτερα διαβρωμένα τμήματα των σωλήνων, τα οποία είναι πλούσια σε άργιλο αφού αποτελούν άριστους αγωγούς. Οι βαρομετρικές έρευνες που αναφέρονται στα εδάφη χρησιμοποιούνται στον εντοπισμό κιμπερλιτών που δεν διαθέτουν κάποια γεωφυσική υπογραφή (Pell, 1998).

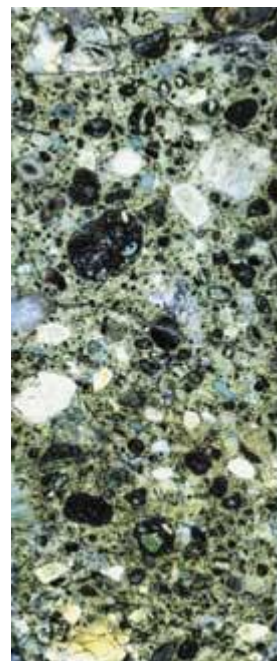
- Οι διαμαντοφόρες σωληνωειδής δομές κιμπερλιτών-Lamproites είναι οι βασικές αποθέσεις.
- Τα διαμάντια μεταφέρονται στην επιφάνεια της Γης από το μάγμα που ωθεί προς τα πάνω τον κιμπερλίτη (το πέτρωμα που φέρει διαμάντια) με μεγάλες ταχύτητες.
- Όταν πράγματι φτάσει στην επιφάνεια, λαμβάνει χώρα η ηφαιστειακή έκρηξη απελευθερώνοντας τρομερή ενέργεια και προκαλείται κατά αυτόν τον τρόπο η γέννηση του ηφαιστείου.
- Το υλικό που εκτοξεύτηκε από την έκρηξη προσγειώθηκε και αποτέθηκε σε ένα σωρό γύρω από το άνοιγμα που σχηματίστηκε.
- Το ίδιο υλικό τελικά ξεπλένεται μακριά από την βροχή ή καταλήγει εκ νέου στην κεντρική ζώνη του κρατήρα ή διασκορπίζεται από άλλες διαδικασίες διάβρωσης.
- Οι κιμπερλίτες που απομένουν στις ρωγμές του φλοιού της Γης κρυσταλλώνονται και σχηματίζουν dikes, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 8 (Michaud).



Σχήμα 8.
Βασικές αποθέσεις σε μια
σωληνωειδή δομή κιμπερλίτη
(Michaud, 2012)

Μεγάλες ποσότητες από ένα πλούσιο σε ολιβίνη πέτρωμα (περιδοτίτης) εντοπίζονται στον μανδύα της Γης. Σε αυτά τα βάθη (150-200km) ο συνδυασμός πίεσης και θερμοκρασίας είναι αρκετά υψηλός ώστε να προκληθεί μερική τήξη του περιδοτίτη. Αν είναι παρών και διάφορα πτητικά αέρια όπως το CO₂ και το νερό, μπορούν να ωθήσουν προς τα πάνω τον τηγμένο περιδοτίτη σχηματίζοντας έτσι ένα κιμπερλιτικό μάγμα. Καθώς το μάγμα αυτό ανέρχεται με αργούς ρυθμούς σε περιοχές του άνω μανδύα και του υπερκείμενου φλοιού, χαμηλότερης θερμοκρασίας και πίεσης, τα ορυκτά αρχίζουν να κρυσταλλώνονται ενώ τα πτητικά αέρια αρχίζουν να διαστέλλονται και να ασκούν ολοένα και αυξανόμενες πιέσεις στα γειτονικά πετρώματα. Προκαλείται έτσι θραύση των πετρωμάτων αυτών και ως συνεπακόλουθο ενσωματώνονται κάποια τμήματα αυτών μέσα στο μάγμα. Πλησιάζοντας πιο κοντά στην επιφάνεια, η εσωτερική πίεση του μάγματος και των πτητικών αερίων γίνεται τόσο μεγάλη

που ο κιμπερλίτης αποκτά εκρηκτικές ιδιότητες. Το κιμπερλιτικό μάγμα μπορεί να φτάσει στην επιφάνεια με ταχύτητες της τάξης των 400 m/s, διαμελίζοντας ακόμη περισσότερα τμήματα των γειτονικών πετρωμάτων, προσδίδοντας έτσι στον κιμπερλίτη την χαρακτηριστική του υφή (Σχ. 9) (Berendsen, Weiss, & Dobbs, 2000).



Σχήμα 9.
Στιλβωμένο δείγμα
πυρήνα κιμπερλίτη
(Berendsen, Weiss, &
Dobbs, 2000)

4.1.3 Εμφανίσεις και ιστορία των κιμπερλιτών

Τα διαμάντια άρχισαν να εξορύσσονται στην Ινδία ήδη από το 300 π.Χ., ενώ έχουν βρεθεί σε όλες τις ηπείρους έκτοτε. Το 1866 παιδιά στο Cape Province της Νότιας Αφρικής βρήκαν ένα λευκό βότσαλο στις όχθες του Πορτοκαλί ποταμού που αποδείχθηκε πως ήταν ένα διαμάντι 21,25 καρατίων. Μέχρι το 1869 είχε ξεκινήσει ήδη το «κυνήγι» διαμαντιών.

Μέσω του εντοπισμού διαμαντιών στα ανώτερα σημεία των ποταμών, οι ερευνητές παρατήρησαν πως τα εδάφη στα οποία εντοπίστηκαν περιείχαν επίσης γρανάτες, ιλμενίτες και κλινοπυρόξενους, ορυκτά που σπάνια βρίσκονται σε εδάφη. Το 1870 μάλιστα ένας αγρότης εντόπισε τα ίδια ορυκτά στην φάρμα του και έπειτα από μιας μόλις εβδομάδας αναζήτησης βρήκε ένα διαμάντι 50 καρατίων. Αυτή ήταν και η πρώτη περίπτωση στον κόσμο όπου ανακτήθηκαν διαμάντια από τον πλούσιο σε πηλό, μαλακό, διαβρωμένο κιμπερλίτη, ο οποίος είχε μεταφέρει τα διαμάντια στην επιφάνεια. Όσο αυξάνεται μάλιστα το βάθος, το διαβρωμένο αυτό υλικό μετατρέπεται σε ένα πιο σκληρό, γκρίζο-μπλε πέτρωμα που καλείται μπλε έδαφος. Το χαρακτηριστικό του χρώμα χρησιμοποιείται παγκοσμίως στην έρευνα και αναζήτηση κιμπερλιτών.

Οι περισσότεροι κιμπερλίτες του κόσμου εμφανίζονται στην Νότια Αφρική, όπου έχουν βρεθεί πάνω από 3000 αγωγοί κιμπερλιτών. Περίπου 200 αγωγοί έχουν αναγνωριστεί στην Βόρεια Αμερική, εκ των οποίων 40 περίπου εντοπίζονται στην περιφέρεια Colorado-Wyoming.

Άλλες περιοχές εντοπισμού κιμπερλιτών περιλαμβάνουν τις Νότιο-Δυτικές περιοχές του Καναδά και πιο συγκεκριμένα στις Koala, Panda, Sable, Fox και Misery. Στην Νότια Αφρική οι περιοχές εμφάνισης κιμπερλιτών είναι οι Kimberly, Premier και Venetia, ενώ στην Μποτσουάνα και στην Ζιμπάμπουε τα Orapa, Jwaneng και River Ranch αντίστοιχα (Pell, 1998)

Άλλες σημαντικές ανακαλύψεις έχουν πραγματοποιηθεί στον Βόρειο Καναδά την τελευταία δεκαετία. Από τους χιλιάδες γνωστούς κιμπερλίτες, λιγότεροι από χίλιοι περιέχουν διαμάντια, και από αυτούς μόνο 50-60 περιέχουν αρκετά διαμάντια προκειμένου να παρέχουν σημαντικό οικονομικό όφελος για να εκμεταλλευτούν μέσω της εξόρυξης.

Οι κιμπερλίτες έχουν εισχωρήσει στον φλοιό της Γης σε διάφορες χρονικές στιγμές. Οι διεισδύσεις αυτές ομαδοποιούνται σε περίπου δέκα χρονικές περιόδους που κυμαίνονται από 1600 εκατομμύρια έως περίπου 55 εκατομμύρια χρόνια πριν. Οι Κιμπερλίτες του Κάνσας εισήλθαν κατά το Κρητιδικό, περίπου 90 εκατομμύρια χρόνια πριν (Berendsen, Weiss, & Dobbs, 2000).

4.1.4 Εμφάνισεις κιμπερλιτών στο Κάνσας

Στο Κάνσας των ΗΠΑ έχουν βρεθεί αρκετοί κιμπερλίτες οικονομικού και ταυτόχρονα επιστημονικού ενδιαφέροντος. Οι περισσότεροι εντοπίζονται κοντά στην λίμνη Tuttle Creek, στις περιφέρειες Riley και Marshall. Είναι ιδιαίτερα δύσκολο έως και ακατόρθωτο να γνωρίζουμε πως ήταν η μορφή της υπαίθρου στην περιοχή πριν 90 εκατομμύρια χρόνια, όταν και οι κιμπερλίτες εκτινάχθηκαν στην επιφάνεια. Παρόλα αυτά οι γεωλόγοι συμπεραίνουν πως η περιοχή ήταν πιθανότατα επίπεδη, πολύ ξηρή και όχι πολύ μακριά από κάποια θαλάσσια οδό. Τα πορίσματα αυτά προέκυψαν από την μελέτη ιζηματογενών πετρωμάτων παρόμοιας περίπου ηλικίας, τα οποία είχαν αποτεθεί πιο μακριά προς τα Δυτικά. Στα 90 εκατομμύρια χρόνια, από την τοποθέτηση των κιμπερλιτών μέχρι σήμερα, το μεγαλύτερο μέρος του υλικού έχει διαβρωθεί. Οι κιμπερλίτες που μελετώνται σήμερα αντιπροσωπεύουν βαθύτερα σημεία προέλευσης από τους αρχικούς κιμπερλιτικούς αγωγούς.

Οι πρώτοι κιμπερλίτες ανακαλύφθηκαν στο Κάνσας στα τέλη του 19^{ου} αιώνα και στην αρχή δεν αναγνωρίστηκαν ως πυριγενή πετρώματα (Brookins, 1970). Αρκετοί ακόμη κιμπερλίτες αναγνωρίστηκαν τις δεκαετίες του 1930 και 1950 (Tolman & Landes, 1939). Άλλος ένας ανακαλύφθηκε το 1969 από γεωτρήσεις στον κρατήρα Winkler στο νότιο τμήμα

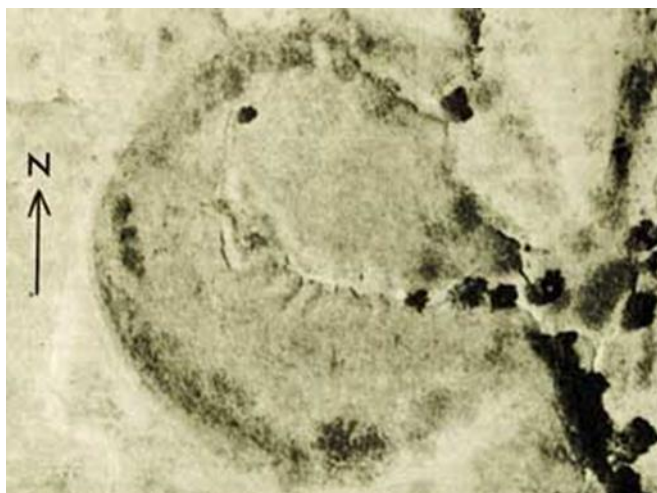
της περιφέρειας Riley. Στα παλαιότερα χρόνια οι άνθρωποι είχαν εικαστεί πως ο κρατήρας σχηματίστηκε από την πτώση και συντριβή ενός μετεωρίτη (Σχ. 10) (Barringer, 1964).

Οι κιμπερλίτες γενικά περιέχουν περισσότερα μαγνητικά ορυκτά από τα περιβάλλοντα πετρώματα και έτσι διάφορες μαγνητικές έρευνες χρησιμοποιούνται συχνά για να εντοπιστούν κιμπερλίτες σε βάθος που δεν εντοπίζονται επιφανειακά.

Αερομαγνητικές έρευνες βοηθούν επίσης

στον εντοπισμό τέτοιων πετρωμάτων, έρευνες που έγιναν σε διάφορα μέρη των περιφερειών Riley και Marshall από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 μέχρι και τα μέσα της. Άλλες μέθοδοι εύρεσης περιλαμβάνουν κοσκίνισμα σε ρυάκια και σε ποτάμια για την εύρεση ορυκτών δεικτών όπως γρανάτες, οι οποίοι βρίσκονται τυπικά σε κιμπερλίτες. Και οι δύο αυτές τελευταίες μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν στον Καναδά και ως αποτέλεσμα βρέθηκαν άλλοι τέσσερις κιμπερλίτες.

Πρόσφατα η KGS (Kansas Geological Survey) χρησιμοποίησε δεδομένα αερομαγνητικών καταμετρήσεων προκειμένου να διαπιστωθεί η ύπαρξη άλλων πιθανών κιμπερλιτών. Έπειτα λεπτομερείς μαγνητικές έρευνες πραγματοποιήθηκαν στο έδαφος σε περιοχές όπου υποδείκνυαν οι εναέριες μελέτες και οι γεωτρήσεις, με αποτέλεσμα το φθινόπωρο του 1999 να επιβεβαιωθεί η παρουσία επιπλέον 3 κιμπερλιτών. Αυτοί είναι οι Tuttle, Baldwin Creek και Antioch κιμπερλίτες. Ο πρώτος καλύπτεται από μερικά μόνο μέτρα εδάφους, ο δεύτερος από 7,5 μέτρα και ο τρίτος από 6,4 μέτρα. Ο κάθε κιμπερλίτης μελετήθηκε ξεχωριστά με γεωτρήσεις για βάθη περίπου 90 μέτρων, προκειμένου να μελετηθούν εις βάθος και να προκύψουν περαιτέρω συμπεράσματα και πορίσματα.



Σχήμα 10.
Αεροφωτογραφία του κρατήρα Winkler (Brookins, 1970).

4.1.5 Οικονομικό δυναμικό των κιμπερλιτών

Η εξόρυξη κιμπερλιτών προκαλεί λίγα έως ελάχιστα περιβαλλοντικά προβλήματα. Σε αντίθεση με άλλα μεταλλεύματα δεν περιέχει ενδεχόμενα επιβλαβή σουλφίδια, που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στο νερό και στο έδαφος με την δημιουργία όξινου pH. Επιπλέον η διαδικασία με την οποία μπορούν να ανακτηθούν τα διαμάντια από το πέτρωμα είναι σχετικά απλή. Ο κιμπερλίτης συνθλίβεται ενώ τα διαμάντια, όντας πυκνότερα, συγκεντρώνονται μαζί με άλλα βαριά ορυκτά. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση φυγοκεντρικών διαμαντένιων κόσκινων και δονούμενων τραπεζιών με λιπαντικό, πάνω στα οποία κολλούν τα διαμάντια.

Αξίζει να αναφερθεί τέλος πως δεν είναι ακόμη καλά κατανοητό το γιατί κάποιοι κιμπερλίτες περιέχουν διαμάντια και κάποιοι όχι. Ωστόσο ακόμη και χωρίς διαμάντια προκαλούν ιδιαίτερο επιστημονικό ενδιαφέρον, καθώς είναι προσφέρουν στοιχεία και πληροφορίες για τεράστια βάθη υπό της επιφάνειας, στιγμιότυπα μιας κατά τα άλλα απρόσιτης περιοχής που βρίσκεται βαθιά μέσα στην Γη (Berendsen, Weiss, & Dobbs, 2000).

5. Σχέση διαμαντιών και κιμπερλιτών

Οι κιμπερλίτες συνιστούν ένα είδος υπερβασικών υπό-ηφαιστειακών έως ηφαιστειακών πετρωμάτων και αποτελούν την κύρια πηγή προέλευσης των διαμαντιών παγκοσμίως. Αποτελεί αναμφισβήτητη την πιο σημαντική πηγή προέλευσης διαμαντιών, καθώς ευθύνεται για πάνω από το 70% της παγκόσμιας παραγωγής αυτών. Η μοναδική επιπλέον υπολογίσιμη πηγή διαμαντιών είναι οι ολιβινούχοι Λαμπροΐτες, οι οποίοι είναι και αυτοί υπερβασικά υπέρ-καλιούχα πετρώματα παρόμοια κατά κάποιον τρόπο με τους κιμπερλίτες (Nowicki, Moore, Gurney, & Baumgartner, 2007). Αυτός ο τύπος πετρώματος παρέχει σήμερα το 5% της παγκόσμιας παραγωγής διαμαντιών (~20% του βάρους του), ενώ το υπόλοιπο της παραγωγής προέρχεται από δευτερεύουσες αποθέσεις που εντοπίζονται σε προσχωσιγενή και θαλάσσια ιζήματα. Η ανάπτυξη διαφόρων εργαστηριακών διεργασιών (Bundy & Strong, 1973) για την παραγωγή διαμαντιών και οι επακόλουθες βελτιώσεις που επιτρέπουν την μαζική παραγωγή ενός ανώτερου προϊόντος για βιομηχανικούς σκοπούς και χρήσεις, είχαν σημαντικές επιπτώσεις στην παγκόσμια αγορά διαμαντιών. Δεν πρέπει να παραληφθεί το

γεγονός πως η παγκόσμια αυτή αγορά βασίζεται προσωρινά κατά κύριο λόγο στα έσοδα της παγκόσμιας αγοράς κοσμημάτων. Είναι καθολικά αποδεκτό πως τα περισσότερα διαμάντια δεν σχηματίζονται μέσα στον κιμπερλίτη, καθώς υπάρχουν αποδείξεις για την αρχαία τους προέλευση από βαθιά τμήματα της λιθόσφαιρας σε Αρχαιοζωικές κρατονικές περιοχές. Έτσι οι κιμπερλίτες λειτουργούν κυρίως ως μέσα μεταφοράς υλικών του μανδύα, έως την επιφάνεια, τα οποία ορισμένες φορές περιέχουν διαμάντια. Τα κυρίαρχα πετρώματα προέλευσης των διαμαντιών είναι έντονα διαβρωμένοι περιδοτίτες (χαρτσβουργίτες ή δουνίτες) και υψηλής πίεσης εκλογίτες. Όλα τα παραπάνω αποτελούν ασήμαντες σχετικά περιεκτικότητες υλικών στην μανδυακή λιθόσφαιρα, καθώς σε αυτήν κυριαρχούν λιγότερο διαβρωμένοι περιδοτίτες (αρχικά λερζόλιθοι) και μικρότερες ποσότητες εκλογιτικών που δεν περιέχουν διαμάντια. Παρά το περιορισμένο φάσμα των λιθολογικών πηγών, τα χαρακτηριστικά του συνόλου των διαμαντιών σε οποιονδήποτε κιμπερλίτη είναι συνήθως πολύ περίπλοκα και υποδεικνύουν διάφορους ξεχωριστούς πληθυσμούς που έχουν σχηματιστεί πιθανότατα κατά διακεκριμένα γεγονότα που έλαβαν χώρα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές και κυμαίνονται από τον Αρχαιοζωικό έως και την εποχή όπου τοποθετήθηκαν οι κιμπερλίτες.

5.1.1 Ορυκτά δείκτες

Εκτός από το δυσεύρετο και σπάνιο διαμάντι, μεγάλες ποσότητες άλλων χαρακτηριστικών ορυκτών περιέχονται στα μανδυακά πετρώματα που ανέρχονται μαζί με το κιμπερλιτικό μάγμα. Τα ορυκτά αυτά συνήθως καλούνται ορυκτά δείκτες κιμπερλιτών, διότι χρησιμεύουν στον εντοπισμό τους. Από άποψη αναζήτησης και έρευνας τους σημαντικότερους δείκτες αποτελούν ο γρανάτης, ο χρωμίτης, ο ιλμενίτης, ο ολιβίνης και ο χρωμιούχος διοψίδιος. Πολλά από αυτά τα ορυκτά παρουσιάζουν ορισμένα χαρακτηριστικά στη σύστασή τους και διαγνωστικά οπτικά στοιχεία, καθιστώντας τα ιδανικά για τον εντοπισμό και την αναγνώριση κιμπερλιτών. Τα ορυκτά που είναι περισσότερο ανθεκτικά στην χημική διάβρωση (γρανάτης, ιλμενίτης και χρωμίτης) είναι ιδιαίτερα χρήσιμα λόγω της ικανότητάς τους να «επιβιώνουν» και να διατηρούνται στους παράγοντες της διάβρωσης που επικρατούν στην επιφάνεια. Κατά αυτόν τον τρόπο λοιπόν η δειγματοληψία αυτών των επιφανειακών υλικών, για την ανάκτηση ορυκτών δεικτών και για τον εντοπισμό της πηγής προέλευσής τους, αποτελεί βασική συνιστώσα στην πλειοψηφία των προγραμμάτων έρευνας διαμαντιών. Δεν πρέπει να παραληφθεί πως τα ορυκτά δείκτες αποτελούν ένα ανεκτίμητο εργαλείο αναζήτησης, πρωτίστως ως ορυκτά που σηματοδοτούν την ύπαρξη κιμπερλιτών και διευκολύνουν τον εντοπισμό τους και δευτερευόντως ως δείκτες του δυναμικού της

διείσδυσης, που βρίσκεται στον ξενιστή, σε διαμάντια (Seifert & Schreyer, 1968). Επιπρόσθετα διάφορες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στα εγκλείσματα διαμαντιών και στους ξενόλιθους που φέρουν διαμάντια επιτρέπουν τον γεωχημικό χαρακτηρισμό των αρχικών υλικών τους και έχουν συνδράμει κατά πολύ στην κατανόηση της σχέσης που υπάρχει μεταξύ διαμαντιού και του πετρώματος που το φιλοξενεί στον μανδύα (Nowicki, Moore, Gurney, & Baumgartner, 2007).

Εδώ και μερικά χρόνια είναι γνωστό πως οι κιμπερλίτες και οι λαμπροίτες αποτελούν απλώς τα μέσα μεταφοράς, τα οποία μετακινούν τα διαμάντια από την πηγή τους, στον μανδύα και εν τέλει στον φλοιό. Το αν τα διαμάντια παραμείνουν κατά το πέρας αυτού του ταξιδιού ή όχι εξαρτάται από δυο παράγοντες. Ο πρώτος αναφέρεται στο αν ήταν παρόντα στα μανδουακά πετρώματα τα οποία θραύτηκαν και μετατοπίστηκαν από τον κιμπερλίτη, ενώ ο δεύτερος από το αν τα διαμάντια διατηρήθηκαν ή όχι (Gurney, 1985). Ένας πολύ υψηλού βαθμού κιμπερλίτης ή λαμπροίτης μπορεί να περιέχει 5 καράτια (1 καράτι=0,2 γραμμάρια) διαμαντιών ανά τόνο πετρώματος ξενιστή, που μεταφράζεται σε μια συγκέντρωση της τάξεως του 1ppm. Τα αναγνωρισμένα μανδουακά πετρώματα από τα οποία πηγάζουν τα διαμάντια είναι διάφοροι τύποι περιδοτίτη (Dawson & Smith, 1975), ορισμένα υψηλής πίεσης εκλογιτικά συγκροτήματα (Rickwood, Gurney, & White-Cooper, 1969) και στενά συνδεδεμένοι οι βεμπστερίτες (Gurney, 1989), καθώς και το εξαιρετικά υψηλής πίεσης ορυκτό, μαγιορίτης (majorite) που αποτελεί ένα είδος γρανάτη (Moore & Gurney, 1985). Με μοναδική εξαίρεση τον μαγιορίτη (μια εξαιρετικά σπάνια μορφή η οποία πιστεύεται πως πηγάζει από την ασθενόσφαιρα), οι παραπάνω αδαμαντοφόρες πηγές προκύπτουν μόνο στα βαθύτερα τμήματα της πυκνής ασθενόσφαιρας που δημιουργείται κάτω από Αρχαιοζωικές κρατονικές περιοχές. Έτσι όλοι οι γνωστοί αδαμαντοφόροι κιμπερλίτες εμφανίζονται εντός περιοχών οι οποίες υπόκεινται κάτω από Αρχαιοζωικό φλοιό ή/και μανδύα (McCallum & Eggler, 1976).

Τα ορυκτά που προέρχονται από τα πετρώματα-πηγές που περιγράφηκαν παραπάνω είναι παρόντα σε όλους τους κιμπερλίτες που έχουν σημαντική συγκέντρωση σε διαμάντια. Παρόλα αυτά ακόμη και σε ιδιαίτερα αδαμαντοφόρους κιμπερλίτες, αποτελούν δευτερεύοντα ορυκτά όταν συγκρίνονται με τα μανδουακά ορυκτά που βρίσκονται διασκορπισμένα παντού και προέρχονται από πετρώματα τα οποία δεν έχουν κάποια ξεκάθαρη σύνδεση με τα διαμάντια. Επιπρόσθετα οι περισσότερες κιμπερλιτικές διεισδύσεις δεν περιέχουν υπολογίσιμες συγκεντρώσεις διαμαντιών, υποδηλώνοντας κατά αυτόν τον τρόπο πως τα διαμάντια είναι σπάνια και σποραδικά διανεμημένα ακόμη και στην αρχική περιοχή της πηγής τους, στον μανδύα (Nowicki, Moore, Gurney, & Baumgartner, 2007).

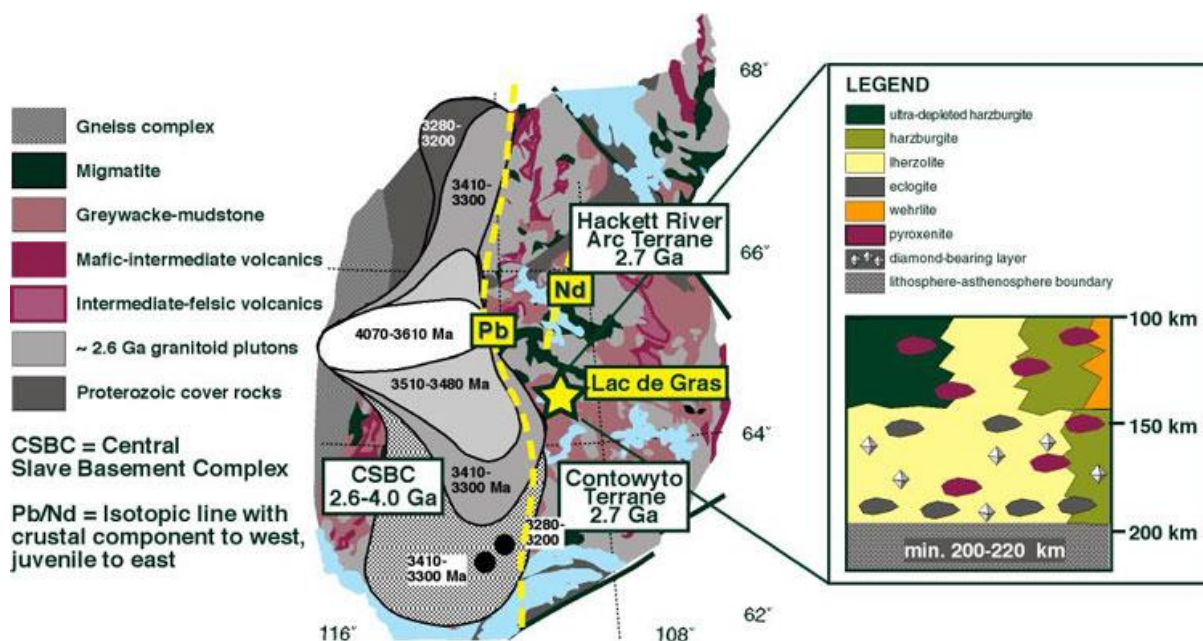
Τα διαμάντια στους κιμπερλίτες απαντώνται ως αραιοί ξενοκρύσταλλοι μέσα σε αδαμαντοφόρους ξενόλιθους, που φιλοξενούνται από πλουτωνικά πετρώματα τα οποία είναι τοποθετημένα ως κατακόρυφοι αγωγοί ή από ηφαιστειοκλαστικά και πυροκλαστικά πετρώματα που αποτίθενται σε κρατήρες (Pell, 1998).

Τα διαμάντια είναι τα μοναδικά ορυκτά οικονομικής αξίας που εντοπίζονται στους κιμπερλίτες. Όπως έχει ήδη προαναφερθεί τα διαμάντια είναι τόσο διάσημα λόγω της σκληρότητάς τους, που είναι μεγαλύτερη από κάθε άλλο ορυκτό και της λαμπρότητάς τους. Αποτελούνται από ένα από τα πιο κοινά στοιχεία που ευθύνονται για τον σχηματισμό ορυκτών, τον άνθρακα, ο οποίος είναι ευρέως διαδεδομένος με την μορφή κάρβουνου, γαιάνθρακα ή ξυλοκάρβουνου. Αν στα βάθη όπου σχηματίζεται το κιμπερλιτικό μάγμα οι συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας και χημείας είναι ιδανικές τότε μπορούν να κρυσταλλωθούν τα διαμάντια. Επιπλέον τα διαμάντια μπορούν να διατηρηθούν στο κιμπερλιτικό μάγμα, το οποίο λειτουργεί ως ένα είδος ταχύτατου «ανελκυστήρα» ως την επιφάνεια. Οι δύο τύποι διαμαντιών που ανακτώνται συνήθως από τους κιμπερλίτες είναι οι πολύτιμοι λίθοι και τα βιομηχανικά διαμάντια. Τα βιομηχανικά διαμάντια, που συνήθως αποκαλούνται «bort», χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικά εργαλεία και εξοπλισμό, όπως άκρα τρυπανιών. Η τιμή των bort είναι τόσο χαμηλή που καθίσταται ασύμφορη η λειτουργία ενός ορυχείου που παράγει μόνο τέτοια διαμάντια.

Οι λόγοι που οι κιμπερλίτες παρουσιάζουν διαφορές στην περιεκτικότητα τους σε διαμάντια δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί, παρ' όλες τις γνώσεις που έχουν ήδη αντληθεί για αυτούς. Διάφορες εικασίες υποστηρίζουν πως μπορεί να οφείλονται σε : α) βάθη προέλευσης του μάγματος των κιμπερλιτών (πάνω ή κάτω από το πεδίο σταθερότητας των διαμαντιών), β) διαφορές στην περιεκτικότητα του δείγματος μανδύα σε διαμάντια που λαμβάνεται από το κιμπερλιτικό μάγμα, γ) Ο βαθμός απορρόφησης των διαμαντιών κατά την μεταφορά τους και η διαφοροποίηση της ροής και δ) η ανάμειξη των σωρών ή κάποιος συνδυασμός των παραγόντων αυτών (Pell, 1998).

Τόσο στα διαμάντια όσο και στους κιμπερλίτες, το μέγεθος των διαμαντιών κυμαίνεται από μικροκρυστάλλους μικρότερους των 50μm έως φαινοκρυστάλλους συνήθως πάνω από 1cm σε μέγεθος. Είναι σαφέστατο πως το σύνολο των διαμαντιών σε οποιοδήποτε κοίτασμα ενσωματώνει αρκετούς αλληλεπικαλυπτόμενους πληθυσμούς. Σε διάφορες περιοχές έχουν εντοπιστεί στοιχεία που μαρτυρούν την ύπαρξη πολυάριθμων πληθυσμών εκλογιτικών και περιδοτιτικών διαμαντιών, τα οποία βέβαια έχουν διαφορετική προέλευση (Deines, Harris, & Gurney, 1987).

Από την μελέτη διαμαντιών που βρέθηκαν στο Βόρειο Λεσότο της Αφρικής, οι McDade και Harris(1999) εντόπισαν 10 διαφορετικές παραγενέσεις διαμαντιών. Ακολουθώντας ανάλογη πορεία, οι Gurney et al. (2004) περιέγραψαν με λεπτομέρεια διαμάντια από ευρέως διασκορπισμένες θέσεις. Τα διαμάντια αυτά είχαν ανακτηθεί από διάφορους κιμπερλίτες στο Slave Craton (στον Νότιο Καναδά), όπως φαίνεται και στο σχήμα 11. Μια υπόθεση υποστηρίζει πως τα διαμάντια αυτά έχουν σχηματιστεί στον μανδύα από μια πληθώρα διαφορετικών διαδικασιών σχηματισμού. Είναι λοιπόν εμφανές πως τα διαμάντια που ανακτώνται από κιμπερλίτες σηματοδοτούν γενικά μια ποικιλία διαδικασιών και κατά πάσα πιθανότητα αντιπροσωπεύουν αρκετές διαφορετικές πηγές διαμαντιών.



Σχήμα 11.

Χάρτης που απεικονίζει την περιοχή Slave Craton (Padgham & Fyson, 1992). Περιγράφει το Δυτικό τμήμα σύμφωνα με τον Beeker (1999) και το Ανατολικό τμήμα σύμφωνα με τον Kusky (1989).

6. Ο τρόπος δημιουργίας των κοιτασμάτων διαμαντιών

Πολλοί πιστεύουν λανθασμένα πως τα διαμάντια σχηματίζονται από τον μετασχηματισμό γαιάνθρακα. Στην πραγματικότητα τα περισσότερα διαμάντια που έχουν χρονολογηθεί είναι πολύ παλαιότερα από τα πρώτα χερσαία φυτά της Γης (η πηγή προέλευσης του γαιάνθρακα). Ακόμη ένα γεγονός που καταρρίπτει την παραπάνω θεωρία είναι πως οι γαιάνθρακες, ξυλάνθρακες και λιγνίτες εντοπίζονται μέσα σε ιζηματογενή

πετρώματα παράλληλα ή σχεδόν παράλληλα τοποθετημένα, ενώ τα μητρικά πετρώματα των διαμαντιών σχηματίζουν επιμήκεις σωλήνες και χοάνες γεμάτες με πυριγενή πετρώματα.

Τα φυσικά διαμάντια παρουσιάζουν μια διαδεδομένη εμφάνιση και έχουν πολλές διαφορετικές προελεύσεις. Για αρκετές χιλιάδες χρόνια τα διαμάντια που προορίζονταν για εμπορική χρήση αποκτιόντουσαν από δευτερεύουσες αλλουβιακές πηγές. Στα τέλη του 19ου αιώνα ωστόσο, όταν και αναγνωρίστηκαν οι πρώτοι κιμπερλιτικοί αγωγοί, ανακαλύφθηκε πως υπάρχουν πρωτεύοντα μητρικά πετρώματα μέσα στα οποία βρίσκονται διαμάντια. Το γεγονός αυτό μαρτυρούσε πως οι κρύσταλλοι των διαμαντιών δεν είχαν αναπτυχθεί σε αλλουβιακό περιβάλλον. Τέσσερις είναι οι διαδικασίες που θεωρούνται ότι από αυτές σχηματίζονται αποκλειστικά όλα τα διαμάντια που έχουν ανακαλυφθεί κοντά ή και στην επιφάνεια της Γης. Μια από αυτές τις διαδικασίες είναι υπεύθυνη για σχεδόν το 100% των διαμαντιών που έχουν εξορυχθεί.

6.1 Σχηματισμός διαμαντιών στον μανδύα

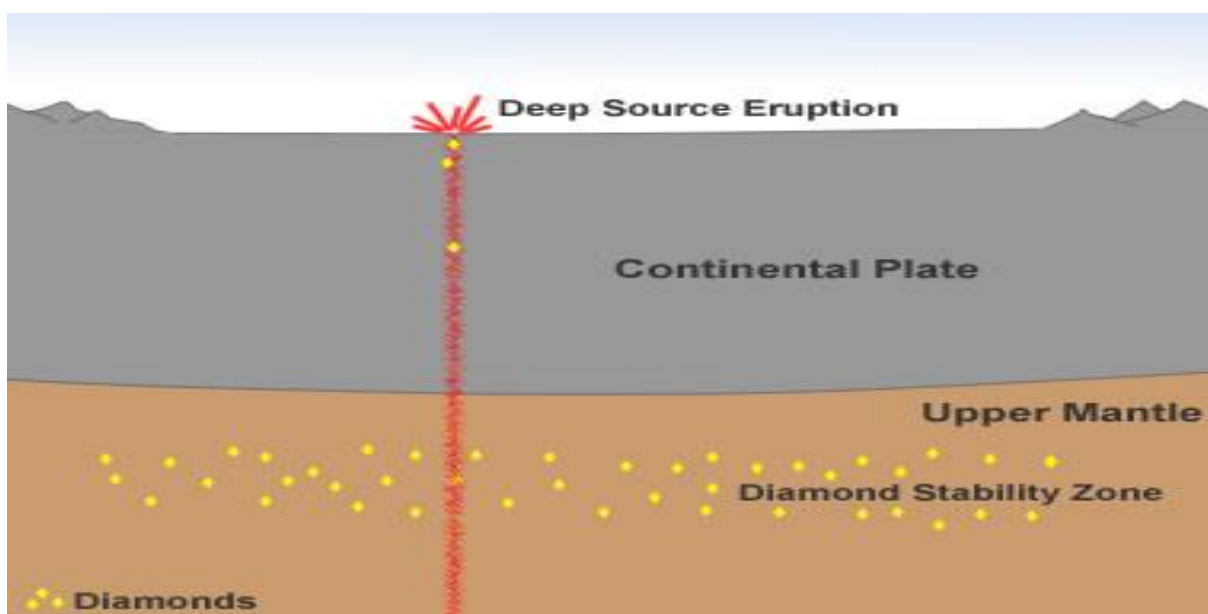
Οι γεωλόγοι θεωρούν πως όλα τα εμπορικά διαμάντια σχηματίστηκαν στον μανδύα της Γης και μεταφέρθηκαν στην επιφάνεια αυτής με την βοήθεια ηφαιστειακών εκρήξεων πολύ μεγάλου βάθους (Σχ. 12). Οι εκρήξεις αυτές σχηματίζουν τους σωλήνες κιμπερλιτών και λαμπροϊτών, τους οποίους αναζητούν οι αδαμαντορύχοι. Στις εκρήξεις αυτές, το μάγμα ταξιδεύει ταχύτατα από μεγάλα βάθη του μανδύα, περνώντας συχνά από μια ζώνη σταθερότητας διαμαντιών. Έτσι αποσπά τμήματα της ζώνης αυτής που περιέχουν διαμάντια και τα αποθέτει στην επιφάνεια. Τα διαμάντια που έχουν διαβρωθεί από αυτά τα εκρηκτικά κοιτάσματα περιέχονται τώρα σε ιζηματογενείς αποθέσεις κατά μήκος ακτογραμμών και ρεμάτων.

Τα φυσικά διαμάντια απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις για να σχηματιστούν. Τέτοιες συνθήκες συναντώνται σε περιορισμένες ζώνες του μανδύα – περίπου 150 χιλιόμετρα κάτω από την επιφάνεια της Γης, όπου οι θερμοκρασίες είναι τουλάχιστον 1050°C. Αυτό το ακραίο περιβάλλον πίεσης-θερμοκρασίας που ευθύνεται για την δημιουργία και την σταθερότητα των διαμαντιών δεν συναντάται παγκοσμίως. Αντίθετα θεωρείται πως υπάρχει κυρίως στον μανδύα κάτω από τις σταθερές ενδοκρατονικές περιοχές των ηπειρωτικών πλακών (Erlich & Dan Hausel, 2002).

Ο σχηματισμός των διαμαντιών στον μανδύα θεωρείται γενικά ως μια μετασωματική διαδικασία. Οι διάφοροι παράγοντες της μετασωμάτωσης (κυρίως τήγματα και ρευστά) αντιδρούν με τα μανδουκά πετρώματα στα οποία και διεισδύουν, προκαλώντας κατά αυτόν τον τρόπο την κρυστάλλωση των διαμαντιών ως άμεση συνέπεια της μείωσης του άνθρακα

που παρατηρείται από την ύπαρξη οξειδοαναγωγικών αντιδράσεων. Οι κυριότερες από αυτές τις αντιδράσεις είναι: $\text{CO}_2 = \text{C} + \text{O}_2$ και $\text{CH}_4 + \text{O}_2 = \text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$

Με βάση όλα τα παραπάνω συμπεραίνεται πως η ειδογένεση του άνθρακα και ο σχηματισμός των διαμαντιών είναι στενά συνδεδεμένα με την οξειδωτική κατάσταση των μανδυακών πετρωμάτων, η οποία όμως ελέγχεται από Fe^0 - Fe^{2+} - Fe^{3+} συστατικά που εμπεριέχονται μέσα σε πυριτικά ορυκτά, μέταλλα και τήγματα. Η ανάπτυξη διαμαντιών μπορεί να προκύψει απευθείας από την ελάττωση των ανθρακικών συστατικών στα ορυκτά και στα τήγματα. Αναρίθμητα πειράματα και μελέτες έχουν αποδείξει πως ανθρακούχα ρευστά και τήγματα λειτουργούν ως παραγωγικά μέσα σχηματισμού διαμαντιών (Hazen, Jones, & Baross, 2013).



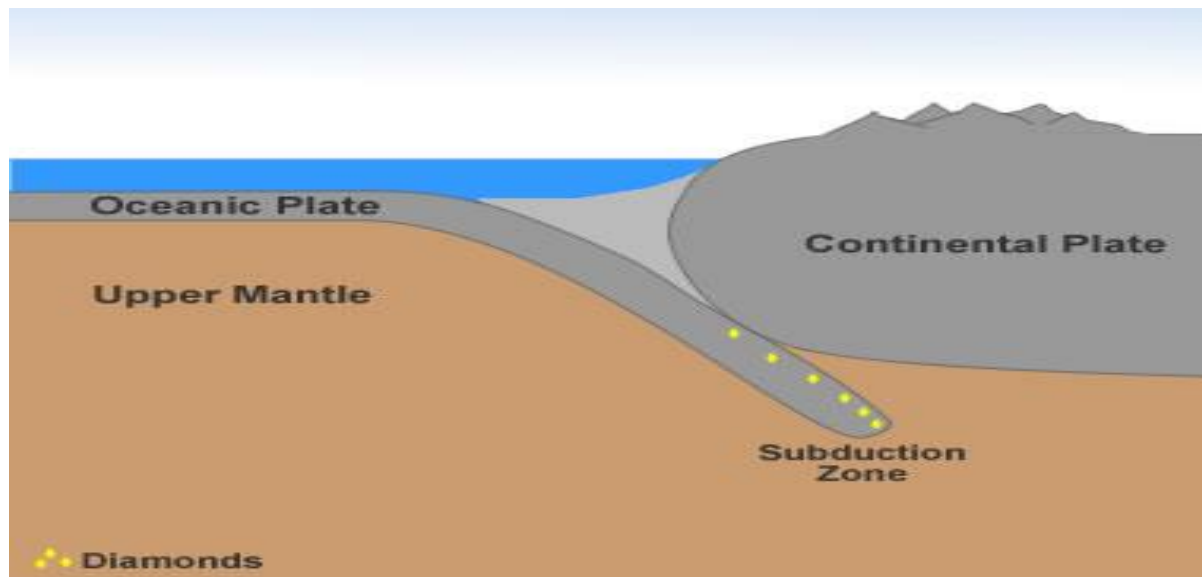
Σχήμα 12.

Ηφαιστειακές εκρήξεις μεγάλου βάθους που μεταφέρουν στην επιφάνεια διαμάντια (King H. M., 2016).

6.2 Σχηματισμός διαμαντιών σε περιοχές υποβύθισης

Μικρά διαμάντια έχουν βρεθεί μέσα σε πετρώματα τα οποία έχουν υποβυθιστεί βαθειά μέσα στον μανδύα από διαδικασίες τεκτονικών πλακών και έπειτα έχουν επιστρέψει στην επιφάνεια. Ο σχηματισμός διαμαντιών σε μία υποβυθιζόμενη πλάκα μπορεί να συμβεί σε σχετικά μικρά βάθη (περίπου 80 χλμ) κάτω από την επιφάνεια της Γης και σε θερμοκρασίες της τάξης των 198.8°C. Από άλλες έρευνες βρέθηκαν μέσα σε διαμάντια τις Βραζιλίας μικρά εγκλείσματα ορυκτών τα οποία σηματοδοτούσαν προέλευση ωκεάνιου φλοιού, ο οποίος είναι και ο κυριότερος τύπος λιθόσφαιρας που υφίσταται την διαδικασία της υποβύθισης (Walter,

et al., 2011). Ζώνες υποβύθισης γενικά συναντώνται σε συγκλίνοντα περιθώρια δυο λιθοσφαιρικών πλακών, όπου η μία ωθείται προς τα κάτω και βυθίζεται στον μανδύα. Καθώς η πλάκα αυτή κατέρχεται εκτίθεται σε συνεχώς αυξανόμενες πιέσεις και θερμοκρασίες (Σχ. 13).



Σχήμα 13.

Σχηματισμός διαμαντιών σε ζώνη υποβύθισης. Η ωκεάνια λιθοσφαιρική πλάκα υποβυθίζεται στον μανδύα κάτω από την ηπειρωτική λιθοσφαιρική πλάκα, καθώς υφίσταται μεγαλύτερες πιέσεις και θερμοκρασίες που προκαλούν την μεταμόρφωση αυτής (King H. M., 2016).

6.3 Σχηματισμός στο διάστημα

Ερευνητές της NASA έχουν εντοπίσει τεράστιες ποσότητες νανοδιαμαντιών σε μερικούς μετεωρίτες. Τα νανοδιαμάντια είναι διαμάντια πολύ μικρού μεγέθους (μερικών νανόμετρων 10^{-9}). Υπολογίζεται ότι περίπου το 3% του άνθρακα που περιέχεται μέσα στους μετεωρίτες εμφανίζεται με την μορφή νανοδιαμαντιών. Τα διαμάντια αυτά είναι πολύ μικρά για να χρησιμοποιηθούν ως πολύτιμοι λίθοι ή ως βιομηχανικά λειαντικά, αποτελούν ωστόσο πηγή υλικών για τον σχηματισμό υπολογίσιμων κοιτασμάτων διαμαντιών. Τα διαμάντια αυτά θεωρούνται πως σχηματίστηκαν στο διάστημα έπειτα από συγκρούσεις υψηλών ταχυτήτων, παρόμοια με το πώς σχηματίζονται τα διαμάντια στην Γή σε περιοχές συντριβής. (Vu & Linda, 2008)

6.4 Σχηματισμός διαμαντιών σε περιοχές πρόσκρουσης/συντριβής

Κατά την διάρκεια της ιστορίας της, η Γη έχει χτυπηθεί επανειλημμένα από μεγάλους αστεροειδείς. Όταν οι αστεροειδείς αυτοί προσκρούουν στην επιφάνεια της Γής, παράγονται μεγάλες θερμοκρασίες και πιέσεις. Για παράδειγμα όταν ένας αστεροειδής πλάτους 10km

σύγκρουσται με την Γη, μπορεί να ταξιδεύει με 15-20km το δευτερόλεπτο. Όταν λοιπόν προσκρούσται αυτό το υπερ-ταχύτατο αντικείμενο παράγει μια έκρηξη ενέργειας ίση με εκατοντάδες ατομικά όπλα και θερμοκρασίες θερμότερες από αυτές που επικρατούν στην επιφάνεια του ήλιου. Οι ακραίες τιμές αυτές είναι περισσότερο από επαρκείς για τον σχηματισμό διαμαντιών. Η θεωρία αυτή έχει εξακριβωθεί από την εύρεση μικροσκοπικών διαμαντιών γύρω από διάφορες περιοχές συντριβής αστεροειδών. Τα διαμάντια αυτά ωστόσο είναι αρκετά σπάνια και δεν έχουν καμία εμπορική αξία ώστε να εξορυχθούν (Lewis, Ming, Wacker, Anders , & Steel, 1987). Κάποιες άλλες θέσεις που σχετίζονται με πτώση μετεωριτών, όπως ο σχηματισμός Popigai στην Βόρεια Σιβηρία, συνδέονται άμεσα με τον εκτενή σχηματισμό διαμαντιών στα γειτονικά πετρώματα. Ο σχηματισμός των διαμαντιών αυτών οφείλεται κατά κύριο λόγο στην ξαφνική μεταμόρφωση που υπέστη η περιοχή λόγω της σύγκρουσης του μετεωρίτη με την επιφάνεια του εδάφους (Masaytis, Gnevushev, & Shafranovsky, 1979).

Επιπλέον ευρήματα από μελέτες έφεραν στο φως πως κάποια διαμάντια προέρχονται από μετεωρίτες που έχουν πέσει στην Γη. Μέσα στους μετεωρίτες αυτούς περιέχονται πετρώματα τα οποία σχηματίστηκαν έξω από την Γη υπό διαφορετικές συνθήκες. (Yerofeyev & Lachinov, 1888). Διαμάντια έχουν εντοπιστεί επίσης και σε ενδοκρατονικές ζώνες σύγκρουσης μεταμορφωμένων πετρωμάτων (για παράδειγμα μέσα σε πυροξενίτες). Οι παραπάνω τύποι διαμαντιών είναι γενικά αρκετά μικροί, πολυκρυσταλλικοί και πολύ φτωχής ποιότητας και έτσι δεν θεωρούνται κατάλληλοι για εμπορική χρήση.

6.5 Μια ολοκληρωμένη προσέγγιση

Σύμφωνα με μια υπόθεση ο σχηματισμός των διαμαντιών έλαβε μέρος σε περιδοιτικά και εκλογιτικά πετρώματα. Τα πετρώματα αυτά αποτελούν άλλωστε το κύριο υλικό του λιθοσφαιρικού άνω μανδύα κάτω από τις ηπείρους.

Με την εφαρμογή μιας σειράς γεωθερμοβαρομετριών σε πυριτικά ορυκτά αποδείχθηκε ότι ο σχηματισμός των περισσότερων διαμαντιών πραγματοποιήθηκε σε θερμοκρασίες 1000-1300°C και σε πιέσεις 40-60 kbar, δηλαδή τιμές που αντιστοιχούν συνήθως σε βάθη 150-200km (Boyd, Richardson, & Gurney, 1985). Κάποια διαμάντια που περιέχουν εγκλείσματα λυχνίτη με πυρόξενο υπό την μορφή στερεού διαλύματος, συνδέονται με μεγάλα βάθη σχηματισμού (~450 km) και υπερβολικά μεγάλες πιέσεις (Gurney & Moore, 1985).

Από την άλλη πολλοί επιστήμονες υποστηρίζουν πως διαμάντια μπορούν να σχηματιστούν μέσα σε κιμπερλίτες και πρωτο-κιμπερλιτικά τήγματα (Bobrievich, Bondarenko, & Gnevushev, 1959). Πρόσφατα μάλιστα προτάθηκε πως η κρυστάλλωση των διαμαντιών συνδέεται με την στερεή φάση της ατελούς τήξης που πραγματοποιείται κατά την διάρκεια του σχηματισμού κιμπερλιτικού μάγματος (Beskrovanon & Shkodzinsky, 1992).

Στην περίπτωση των συγγενετικών εγκλεισμάτων που εγκλείονται σε διαφορετικές ζώνες του ίδιου διαμαντιού, ολόκληρος ο κρύσταλλος αντιπροσωπεύει μια «χρονο-κάψουλα» η οποία καθιστά δυνατή την μελέτη της χημείας των ορυκτών που έχουν αναπτυχθεί ταυτόχρονα σε κάθε ξεχωριστή ζώνη. Η συνεχώς μεταβαλλόμενη σύσταση των ορυκτών αυτών κατά την διαδικασία κρυστάλλωσης του διαμαντιού σε συνδυασμό με τις εσωτερικές ιδιαιτερότητες της μορφολογίας του ίδιου του διαμαντιού και την συνεισφορά των συγγενετικών εγκλεισμάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αποκαλύψουν τον μηχανισμό και τον χαρακτήρα της διαδικασίας σχηματισμού του διαμαντιού. Δηλαδή συμπεραίνουμε αν η διαδικασία σχηματισμού είναι μεταμορφική ή μαγματική. Η εσωτερική μορφολογία και δομή του επιπλέον αντανακλούν την κατάσταση και τις συνθήκες που επικρατούσαν στον περιβάλλον σχηματισμού (Bulanova, 1995).

6.6 Ενδείξεις ισότοπων σε εγκλείσματα διαμαντιών

Η προέλευση ενός διαμαντιού μπορεί να εντοπιστεί από την μελέτη των ισότοπων Ο και S που βρίσκονται μέσα σε πυριτικά και θειούχα εγκλείσματα ($n < 20$ και $n < 50$ αντίστοιχα). Η ισοτοπική μεταβλητότητα $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ των εγκλεισμάτων που εντοπίζονται μέσα σε εκλογιτικά διαμάντια έρχεται σε αντίθεση με την ομοιογένεια του μανδύα, ο οποίος περιέχει περιδοτιτικούς ξενόλιθους και εγκλείσματα διαμαντιών.

Παρά το γεγονός ότι συχνά ισορροπούν σε χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, οι εκλογιτικοί ξενόλιθοι έχουν σύσταση Ο-ισότοπων και συνάδουν με τα ισότοπα των εγκλεισμάτων που εντοπίζονται σε εκλογιτικά διαμάντια (Jacob, 2004). Εγκλείσματα εκλογιτικών σουλφιδίων παρουσιάζουν και αυτά διάφορες $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ αναλογίες, οι οποίες μπορούν να συγκριθούν με ιζήματα και τροποποιημένο ωκεάνιο φλοιό (Thomassot et al. 2009). Η συστηματική σχέση μεταξύ της ηλικίας και του τύπου των διαμαντιών και των γεωλογικών διαδικασιών που έχουν επηρεάσει τα βαθύτερα τμήματα της ηπειρωτικής λιθόσφαιρας, εκτός του ότι αποτελεί ένα άριστο μοντέλο εξερεύνησης, καθιστά τον

σχηματισμό διαμαντιών έναν πρωτεύον τρόπο εντοπισμού των διόδων που ακολούθησαν αρχαία ρευστά πλούσια σε άνθρακα.

Τα λιθοσφαιρικά διαμάντια είναι μεγάλης ηλικίας συνήθως 1.0 με 3.5 Ga και έχουν κρυσταλλωθεί κατά την διάρκεια και μετά την ολοκλήρωση την ολοκλήρωση του σχηματισμού της λιθόσφαιρας. Τόσο ο πρωτεύον μανδουακός άνθρακας όσο και ο άνθρακας που προέρχεται από υποβυθιζόμενη λιθόσφαιρα έχουν συμμετάσχει σε διαδικασίες σχηματισμού διαμαντιών μέσα στην λιθόσφαιρα. Το γεγονός αυτό αποτελεί άμεση συνέπεια της μετασώματωσης ρευστών και τηγμάτων (Shirey & Richardson, 2011).

6.7 Ηλικιακοί περιορισμοί κατά την διαμόρφωση του διαμαντιού

Υπάρχουν άφθονα στοιχεία που μαρτυρούν την μεγάλη ηλικία τόσο των εκλογιτικών όσο και των περιδοιτικών διαμαντιών. Οι πιο αξιοσημείωτες παρατηρήσεις είναι οι μετρήσεις ισότοπων (ραδιογόνων) σε εγκλείσματα διαμαντιών (Kramers, 1979). Οι ίδιες μελέτες φέρνουν στο φως πληροφορίες που υποστηρίζουν πως τα χαρτσβουργιτικά διαμάντια έχουν ηλικία 4,6 Ga (Προκάμβριο), ενώ τα εκλογιτικά υπολογίζεται πως δημιουργήθηκαν κατά τον Πρωτεροζωικό αιώνα (Richardson, Gurney, Erlank, & Harris, 1984).

Τα διαμάντια εντοπίζονται γενικά μέσα σε ξενόλιθους περιδοιτική και εκλογίτη όπου και είναι άρτια διατηρημένα. Το γεγονός αυτό μαρτυρά πως τα διαμάντια σχηματίστηκαν στο αρχικό πέτρωμα ξενιστή πριν από την ενσωμάτωσή τους από τον κιμπερλίτη. Πολλά από αυτά παρουσιάζουν στοιχεία που σηματοδοτούν την πλαστική τους μεταμόρφωση κάτω από μανδουακές συνθήκες. Τα ίδια στοιχεία αντανακλούν την ισχυρή τάση που ασκήθηκε στα διαμάντια (Robinson, 1979), πράγμα που δείχνει πως τα διαμάντια αυτά παρέμειναν στον μανδύα για μεγάλο χρονικό διάστημα πριν να ενσωματωθούν στον κιμπερλίτη. Τα περισσότερα διαμάντια τέλος παρουσιάζουν σύνθετα μοτίβα συσσώρευσης αζώτου, τα οποία χρειάζονται πάνω από 10^9 χρόνια για να σχηματιστούν στις θερμοκρασίες και πιέσεις του μανδύα (Evans & Harris, 1989).

Όλες οι παραπάνω ενδείξεις λοιπόν οδηγούν στο συμπέρασμα πως η πλειοψηφία των διαμαντιών έχουν αρχαία προέλευση σχηματισμού. Ο κύριος λόγος που τα διαμάντια είναι άμεσα συνδεδεμένα με παλιές ηπειρωτικές κρατονικές περιοχές οφείλεται στο γεγονός ότι σχηματίζονται και διατηρούνται μέσα σε πετρώματα πολύ μεγάλης ηλικίας. Η διαδικασία σχηματισμού των διαμαντιών είναι αρκετά σύνθετη και απαιτεί διεξοδική έρευνα (Taylor &

Anand, 2004). Παρόλα αυτά διάφορες πληροφορίες και ευρήματα που προέκυψαν από μελέτες συνιστούν πως τα περισσότερα περιδοιτικά διαμάντια σχηματίστηκαν από ένα παγκόσμιας κλίμακας γεγονός ($\sim 3.3 \pm 0.3$ Ga), το οποίο παρήγαγε διαμάντια μέσα σε ένα μετασωματικό χαρτσβουργίτη που περιείχε επίσης γρανάτη και χρωμίτη (Gurney, Helmstaedt, le Roex, Nowicki, Richardson, & Westerlund, 2005). Τα μετασωματικά ρευστά πιθανότατα σχηματίστηκαν από διαδικασίες υποβύθισης (Westerlund, 2005). Ο σχηματισμός εκλογιτικών διαμαντιών θεωρείται επίσης πως σχετίζεται άμεσα με μετασωματική δραστηριότητα που συνδέεται με κάποια υποβύθιση (Westerlund, Gurney, Carlson, Shirey, Hauri, & Richardson, 2004). Το γεγονός αυτό διαπιστώθηκε πως έλαβε χώρα σε διάφορες χρονικές περιόδους κατά τον Πρωτεροζωικό και Αρχαιοζωικό ($\sim 1-2.9$ Ga) σε μια πιο τοπική κλίμακα απ' ό,τι το εκτενέστατο χαρτσβουργιτικό των 3.3 Ga. Το περιστατικό αυτό τέλος διαδραματίστηκε μέσα σε ωκεάνιο φεμικό φλοιό, ο οποίος ανακυκλώθηκε στον ανώτερο μανδύα κατά την διάρκεια κάποιας αρχαίας υποβύθισης (Richardson, Shirey, Harris, & Carlson, 2001).

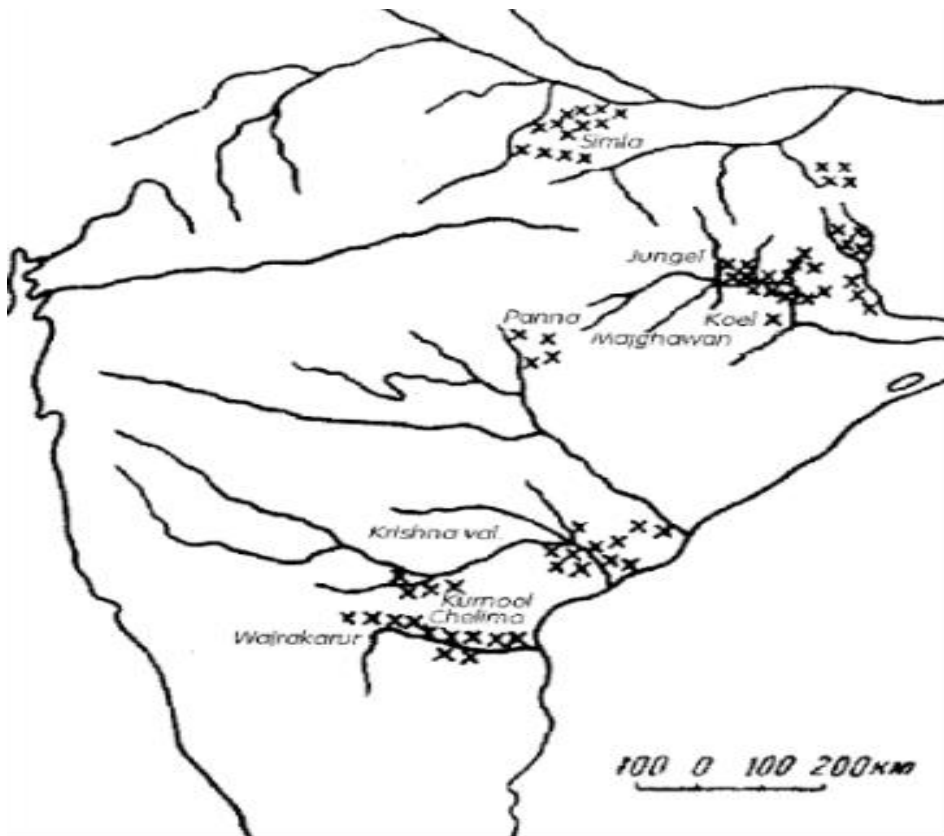
7. Παραδείγματα κυριότερων αδαμαντοφόρων κοιτασμάτων παγκοσμίως

7.1 Ινδία

Τα παλαιότερα σημαντικά κέντρα εξόρυξης διαμαντιών στον κόσμο εντοπίζονται στην Ινδία. Το πλουσιότερο από αυτά ήταν το Golconda, ενώ το όνομά του έγινε ταυτόσημο με τον πλούτο και την δύναμη στις απαρχές του πολιτισμού. Η ονομασία αυτή προέκυψε από ένα οχυρό κοντά στο Khaiderabad, στην Νότια Ινδία. Παρόλα αυτά δεν υπήρχαν ορυχεία διαμαντιών στην περιοχή αυτή. Αντίθετα το Golconda ήταν μια αγορά στην οποία πήγαιναν έμποροι για να πουλήσουν και να αγοράσουν διαμάντια. Η πραγματική πηγή των αρχαίων Ινδικών διαμαντιών ήταν κοιτάσματα της κοιλάδας Krishna, των ποταμών Penner, Karnool, Godvari και Makhnadi και πιθανότατα διάφορα κοιτάσματα του πεδίου διαμαντιών Panna στον Βορρά (Σχ. 14).

Η εξερεύνηση και εξόρυξη διαμαντιών στην Ινδία διένυσε αρκετά χαρακτηριστικά στάδια. Η πλειοψηφία των διαμαντιών βρέθηκε σε αλλουβιακά κοιτάσματα ποταμών και ρεμάτων (Sakuntala & Brahman, 1984). Μετά την περιγραφή του κιμπερλίτη στην Νότιο Αφρική το 1877 και την αποδοχή του ως το αρχικό μητρικό πέτρωμα του διαμαντιού, πραγματοποιήθηκαν εκτενέστατες έρευνες στις αρχαίες περιοχές παραγωγής διαμαντιών της

Ινδίας. Έτσι ανακαλύφθηκαν διάφοροι κιμπερλίτες στις γειτονικές περιοχές των παραπάνω αλλουβιακών αποθέσεων (πχ τα κοιτάσματα Majhagawan και Hinota κοντά στην περιφέρεια του πεδίου Panna, καθώς και άλλοι κιμπερλίτες στην περιοχή Anantpur). Αρκετά χρόνια αργότερα, μετά την ανακάλυψη πως και οι λαμπροίτες μπορούν να εμπεριέχουν διαμάντια, πραγματοποιήθηκαν πετρογραφικές έρευνες σε Ινδικούς κιμπερλίτες που απέδειξαν πως μερικοί ήταν στην πραγματικότητα ολιβινούχοι λαμπροίτες (Scott Smith, 1989), με ποιότητα μεταλλεύματος 0,1 καράτι/τόνο. Τα διαμάντια που ανακτήθηκαν από τους σωλήνες αυτούς ήταν κυρίως διάφανα και αψεγάδιαστα, συνήθως σε μορφή οκτάεδρων και δωδεκάεδρων. Σύμφωνα με τους Mitchell και Bergman (1991) υπάρχουν αρκετοί ακόμη λαμπροίτες, κιμπερλίτες και περιδοίτες στην ίδια περιοχή. Οι περισσότεροι γνωστοί κιμπερλίτες της Ινδίας είναι κυρίως Πρωτεροζωικοί (διαμαντοφόροι κιμπερλίτες στην περιοχή Wajrakarur).



Σχήμα 14. Τοποθεσίες αλλουβιακών αποθέσεων διαμαντιών στην Ινδία (Erlich & Dan Hausel, 2002)

7.2 Βραζιλία

Η επόμενη μεγάλη «έκρηξη» διαμαντιών έλαβε χώρα στην Βραζιλία κατά την διάρκεια του πρώτου μισού του 18^{ου} αιώνα και εξαπλώθηκε στις γειτονικές περιοχές. Μέχρι το τέλος του 1829 βρέθηκαν αρκετά αλλουβιακά κοιτάσματα διαμαντιών στην Ανατολική Βραζιλία στην περιοχή της Teune City, η οποία στην συνέχεια πήρε το όνομα Diamantina (διαμαντένια πόλη). Άλλα τέτοια κοιτάσματα βρέθηκαν κατά μήκος του Rio Abaete (ποταμός Sao Francisco), του Bagagem (ποταμός Παρανάς), του Goyas (ποταμός Rio Claro), καθώς και σε άλλα ρέματα στην Νότιο-Ανατολική Βραζιλία (Σχ. 15).

Επιπλέον το 1844 βρέθηκαν πλούσια κοιτάσματα διαμαντιών σε μία άλλη περιοχή της Βραζιλίας, στην πολιτεία της Bahia στον Borρά. Κατά την διάρκεια των πρώτων 120 χρόνων της συνολική εξόρυξης στην Βραζιλία ανακτήθηκαν συνολικά 10.17 εκατομμύρια καράτια, μέσα στα οποία βρίσκονταν και μερικά διαμάντια που ξεπερνούσαν τα 100 καράτια σε βάρος. Η πιο κερδοφόρα παραγωγή ωστόσο ήταν το 1850, όταν και εξορύχθηκαν 300.000 καράτια (Erlich & Dan Hausel, 2002).

Η κύρια πηγή προέλευσης των διαμαντιών δεν έχει εντοπιστεί ακόμη. Ωστόσο πολλοί από τους πρώτους μεταλλοδίφες υπέθεσαν πως η πραγματική πηγή των διαμαντιών, που ανακαλύφθηκαν στα γύρω αλλουβιακά κοιτάσματα, ήταν ο itacolumite της περιοχής (ένας μαρμαρυγιακός ψαμμίτης). Αυτή η υπόθεση βασίστηκε στην ύπαρξη Πρωτεροζωικών αδαμαντοφόρων συσσωματωμάτων, τα οποία υποστήριζαν εκτενής εξορυκτικές λειτουργίες και εργασίες κατά την διάρκεια της «διαμαντένιας» εποχής.

Ο υπερβολικά μεγάλος αριθμός των διαμαντιών που έχουν ανακαλυφθεί στις αλλουβιακά αυτά κοιτάσματα συνιστά πως στο κοντινό μέλλον θα βρεθούν μεγάλα πρωτογενή κοιτάσματα στην Βραζιλία, έτοιμα για περαιτέρω εκμετάλλευση. Από το 1967 έως και σήμερα, ένα συστηματικό πρόγραμμα εξερεύνησης έχει ανακαλύψει πάνω από 300 κιμπερλίτες που έχουν διεισδύσει στην περιοχή. Παρόλα αυτά με την βοήθεια μιας λεπτομερής πετρογραφικής έρευνας αποδείχθηκε πως μόνο μερικοί από αυτούς είναι πραγματικοί κιμπερλίτες, ενώ κανένας από αυτούς δεν περιέχει ικανοποιητική ποσότητα διαμαντιών για οικονομική εκμετάλλευση (Bizzi, Smith, DeWit, Armstrong, & Meyer, 1994).



Σχήμα 15. Οι τοποθεσίες των κυριότερων κιμπερλιτών και λαμπροϊτών της Βραζιλίας (Mitchel and Bergman 1991)

7.3 Νότια Αφρική

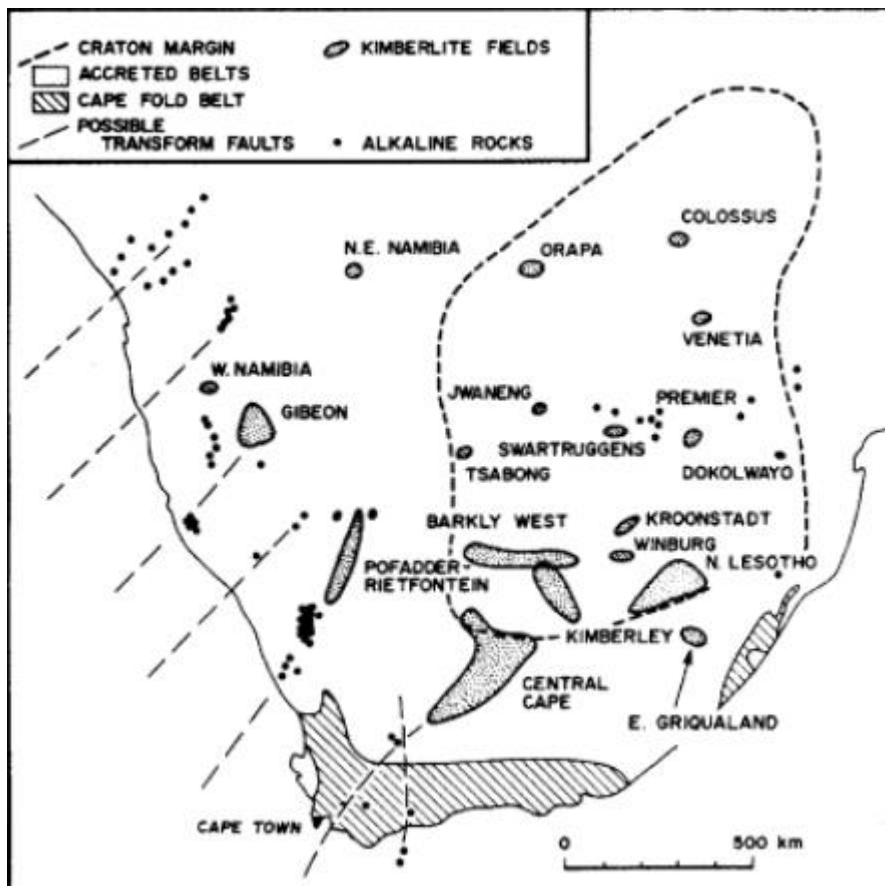
Οι επόμενες σημαντικές ανακαλύψεις έγιναν στην Νότιο Αφρική, η οποία διεκδικεί μερικές από τις σπουδαιότερες και πλουσιότερες ανευρέσεις διαμαντιών στην ιστορία. Οι πρώτες εμφανίσεις των διαμαντιών καταγράφηκαν το 1860, κυρίως στον «Πορτοκαλί Ποταμό». Μέσα στα επόμενα χρόνια ο ποταμός αυτός μετατράπηκε στην μεγαλύτερη περιοχή παραγωγής διαμαντιών παγκοσμίως, καθώς βρέθηκαν αρκετά βαρυσήμαντα και παγκόσμιας κλάσης κοιτάσματα.

Μεταξύ του 1870 και του 1871 ξέσπασε ένα μεγάλο «κυνήγι διαμαντιών» κατά μήκος του Πορτοκαλί Ποταμού. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανακάλυψη των αδαμαντοφόρων πεδίων της Νότιας Αφρικής και τελικά στον σχηματισμό του συσσωματώματος διαμαντιών DeBeers (Wagner, 1914).

Οι πρώτοι μεταλλοδίφες θεώρησαν πως τα διαμάντια αυτού του ποταμού προέρχονταν από στεγνές αλλουβιακές αποθέσεις. Στην πραγματικότητα όμως οι αποθέσεις αυτές αντιπροσώπευαν τα προϊόντα της αποσάθρωσης υποκείμενου κιμπερλίτη. Αξίζει να

αναφερθεί πως μέχρι εκείνη την χρονική περίοδο επικρατούσε η αντίληψη πως τα διαμάντια ήταν άμεσα συνδεδεμένα με τις στεγνές αλλουβιακές αποθέσεις, καθώς ο εν λόγω αποσαθρωμένος κιμπερλίτης περιείχε κοινούς στρογγυλεμένους μεγακρυστάλλους και ξενόλιθους που έδιναν την λανθασμένη εντύπωση ενός συσσωματώματος. Το 1876 λοιπόν, όταν και έφτασαν αρκετά βαθιά τα ορυχεία, ήρθε στο φως για πρώτη φορά το αρχικό πέτρωμα που φιλοξενούσε τα διαμάντια. Στην πραγματικότητα τα Αφρικανικά ορυχεία είχαν συναντήσει την αποσαθρωμένη και αργιλούχο μορφή του αδαμαντοφόρου πετρώματος ξενιστή που αργότερα βαφτίστηκε «κιμπερλίτης» (Σχ. 16).

Καθώς συνεχιζόταν η εξόρυξη, άρχισε να γίνεται φανερό πως ο κιμπερλίτης σχετιζόταν με σωληνοειδείς δομές ηφαιστειακής προέλευσης. Η κατανόηση λοιπόν αυτού το θεμελιώδους δεδομένου παρείχε στους γεωλόγους και στους μεταλλοδίφες τα στοιχεία που χρειαζόντουσαν, προκειμένου να αναπτύξουν μεθόδους και μοντέλα εξερεύνησης για την αναζήτηση παρόμοιων κοιτασμάτων σε άλλες περιοχές. Τα στοιχεία αυτά και η διευκρίνισή τους είχαν ως αποτέλεσμα την μεταγενέστερη ανακάλυψη κοιτασμάτων διαμαντιών σε πολλές ακόμη περιοχές του κόσμου (Erlich & Dan Hausel, 2002).



Σχήμα 16. Οι κυριότερες κιμπερλιτικές περιοχές της Νοτίου Αφρικής (Erlich & Dan Hausel, 2002)

7.4 Ρωσία

Έχοντας ως γνώμονα τις βασικές έννοιες και ιδέες που αποκτήθηκαν από τις έρευνες διαμαντιών στην Νότια Αφρική, ανακαλύφθηκαν αρκετά κοιτάσματα διαμαντιών και στην πρώην Σοβιετική Ένωση· μετατρέποντας έτσι την Ρωσία σε έναν γίγαντα εξόρυξης διαμαντιών.

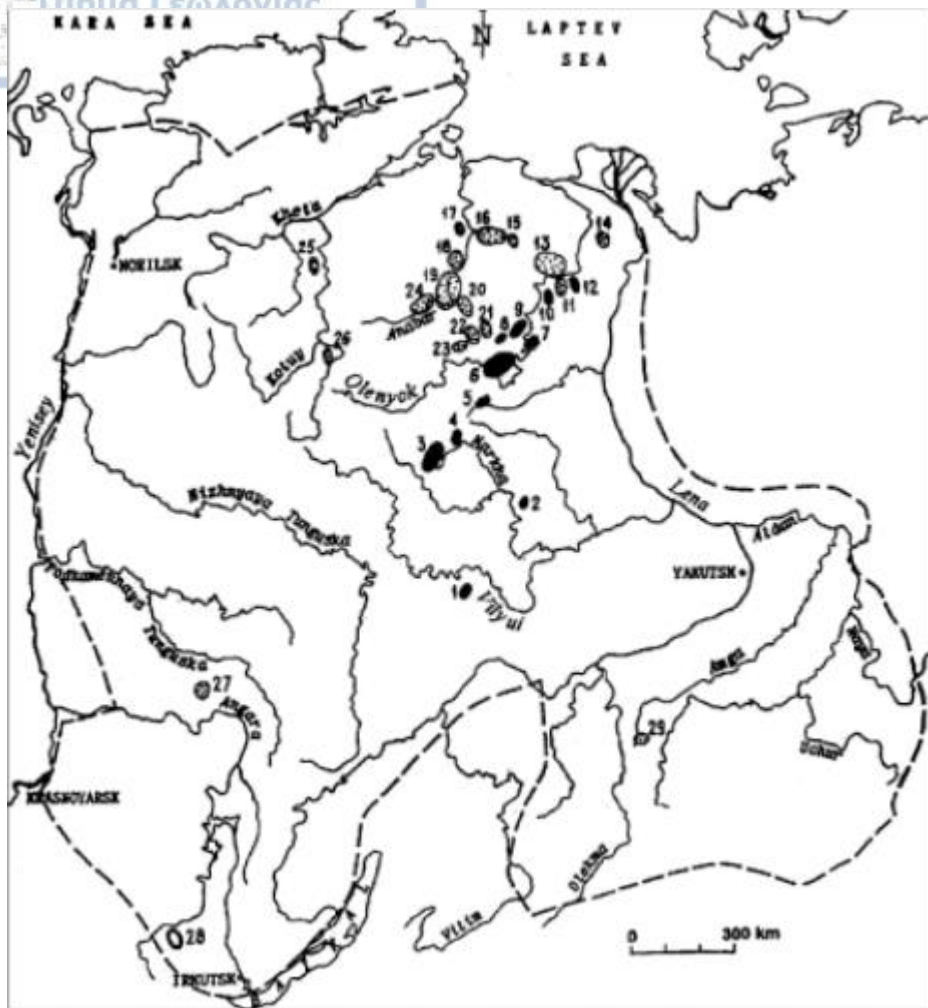
Το πρώτο διαμάντι στην Ρωσία βρέθηκε το 1829 γύρω από το χρυσορυχείο Bisertsy στην περιοχή Permsky των Ουράλιων Όρων. Στην συνέχεια έγινε ακόμη μια σημαντική ανακάλυψη διαμαντιού κοντά στο χωριό Promisel που βρισκόταν στα Δυτικά των ίδιων όρων. Επιπλέον διαμάντια βρέθηκαν σε αλλουβιακές αποθέσεις χρυσού, ενώ στα πρώτα 50 χρόνια από την πρώτη ανακάλυψη ανακαλύφθηκαν περίπου 100 κρύσταλλοι (ο μεγαλύτερος ζύγιζε κάτω από 2 καράτια).

Κατά την διάρκεια της βιομηχανοποίησης της Ρωσίας η ζήτηση διαμαντιών είχε εκτοξευθεί στα ύψη. Το 1937 λοιπόν ένα πολύ λεπτομερές σχέδιο αναπτύχθηκε για την εξερεύνηση των αλλουβιακών διαμαντιών κατά μήκος της Δυτικής πλαγιάς των Κεντρικών Ουράλιων Όρων κοντά στο χρυσορυχείο Bisertsy. Από τις έρευνες αυτές ανακαλύφθηκαν αρκετές μικρές (τόσο σε απόθεμα όσο και σε ποιότητα) αλλουβιακές αποθέσεις και η εμπορική εξόρυξη αυτών ξεκίνησε την περίοδο του 2^{ου} παγκόσμιου πολέμου.

Στο διάστημα των γεωλογικών χαρτογραφήσεων που πραγματοποιήθηκαν από το 1930 και μετά, ο γεωλόγος Georgy Moor περιέγραψε πετρώματα παρόμοια με τους κιμπερλίτες της Νοτίου Αφρικής στο βόρειο τμήμα της Σιβηριακής πλατφόρμας (Moor, 1940). Η περιγραφή αυτή ήταν η πρώτη άμεση ένδειξη πιθανών αδαμαντοφόρων πετρωμάτων στην Σιβηριακή πλατφόρμα. Ακολουθώντας λοιπόν την ανακάλυψη αυτή, ξεκίνησε η αδιάκοπη αναζήτηση διαμαντιών βασισόμενη στην απλή τεχνική ανίχνευσης πυρωπού σε μαύρη άμμο.

Ως άμεσο αποτέλεσμα, η Ρωσία έγινε η δεύτερη μεγαλύτερη σε παραγωγή διαμαντιών χώρα κατά το διάστημα των επόμενων 30 χρόνων. Η πλειοψηφία των διαμαντιών της προερχόταν από ορυχεία της βόρειας Σιβηριακής πλατφόρμας (Σχ. 17). Με την συνεχόμενη εξέλιξη της τεχνολογίας, καθώς και με τις καινούριες μεθόδους αναζήτησης και εξόρυξης ανακαλύφθηκαν πολλοί ακόμη κιμπερλίτικοί αγωγοί (ο Mir το 1954, ο Udachnaya και ο Sytykan το 1955, ο Aikhal το 1960 και ο Jubilee το 1975). Τέλος βρέθηκαν τεράστια κοιτάσματα ενός νέου γενετικού τύπου βιομηχανικών διαμαντιών σε συνδυασμό με τον αστερισμό Porigay, μέσα σε μεταμορφωμένα πετρώματα του Καζακστάν. Τα κοιτάσματα

αυτά μέχρι και σήμερα δεν έχουν αξιολογηθεί πλήρως (Erlich & Dan Hausel, 2002).



Σχήμα 17. Τα κυριότερα ορυχεία διαμαντιών και σώματα κιμπεριλιτών στην Σιβηριακή πλατφόρμα (Shimizu & Sobolev, 1995)

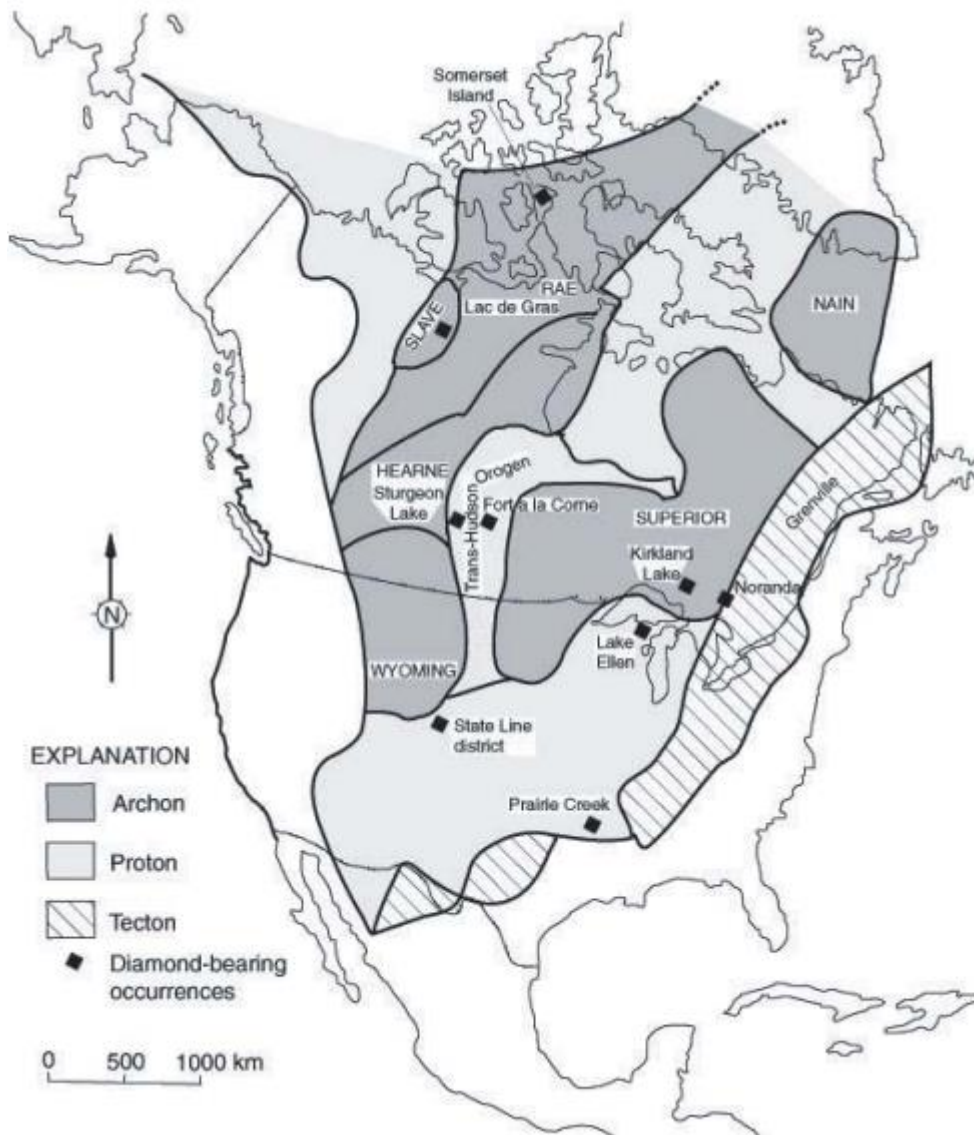
7.5 Ηνωμένες Πολιτείες

Μέχρι και σήμερα οι ανευρέσεις διαμαντιών στις Ηνωμένες Πολιτείες είχαν κυρίως επιστημονικό ενδιαφέρον. Η ύπαρξη ωστόσο τεράστιων Αρχαϊκών κρατόνων και Πρωτεροζωικών κινητών ζωνών μέσα και γύρω από τις επαρχίες Wyoming και Superior σηματοδοτούν την ύπαρξη σημαντικών ανακαλύψεων που αναμένονται να πραγματοποιηθούν στο μέλλον (Σχ. 18). Επιπρόσθετα η ύπαρξη μιας βαθειάς ζώνης υποβύθισης κατά μήκος της Δυτικής ακτογραμμής μπορεί επίσης να φέρει στο φως σπουδαία αδαμαντοφόρα μητρικά πετρώματα.

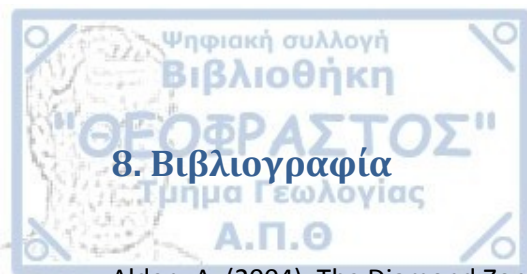
Οι πρώτες σημαντικές ανακαλύψεις διαμαντιών έγιναν σε συνδυασμό με εξόρυξη χρυσού από αλλουβιακές αποθέσεις στα πεδία χρυσού της Γεωργίας, της Βόρειας και Νότιας Καρολίνας και της Αλαμπάμας. Λίγο αργότερα βρέθηκαν διαμάντια και στην περιοχή της

Καλιφόρνιας και πολύ αργότερα στην περιοχή των Μεγάλων Λιμνών (Σουπήριωρ, Χιούρον, Μίσιγκαν, Ήρι και Οντάριο). Γενικά έχουν εμφανιστεί διαμάντια στις 27 από τις 50 πολιτείες, στις περισσότερες περιπτώσεις όμως διάφοροι ερευνητές και συγγραφείς αναφέρουν πως τα διαμάντια αυτά έχουν προέλθει από άλλες μακρινές περιοχές.

Στο υπόβαθρο του μεγαλύτερου τμήματος της χώρας υπάρχουν πετρώματα κρατονικής προέλευσης, ενώ κάτω από την Δυτική Ακτογραμμή υπόκειται η μεγάλη βάθους ζώνη υποβύθισης. Αυτά τα γεωλογικά περιβάλλοντα θεωρούνται ιδανικά και ευνοϊκά για την ανακάλυψη κοιτασμάτων που βρίσκονται στην πρωταρχική τους θέση δημιουργίας. Τα περισσότερα ευρήματα διαμαντιών στο παρελθόν σχετίζονταν άμεσα με την αναζήτηση και εξόρυξη χρυσού, ενώ η πλειοψηφία των σημερινών ανακαλύψεων είναι αποτέλεσμα σύγχρονων επιστημονικών ερευνών σε περιοχές που είχαν ελάχιστη έως καθόλου σχέση με την αναζήτηση χρυσού (Erlich & Dan Hausel, 2002).



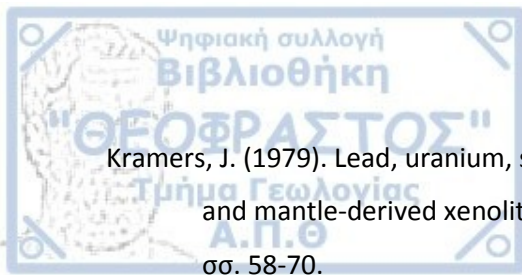
Σχήμα 18. Η τοποθεσία του Αρχαϊκού κρατόνα του Wyoming της Βορείου Αμερικής (Dan Hausel, 1998)



8. Βιβλιογραφία

- Alden, A. (2004). The Diamond Zone. Into the Mantle, Part 1.
- Barringer. (1964). *Kansas Geological Survey, Public Information Circular*.
- Beaumier, M. (n.d.).
- Berendsen, P., Weiss, T., & Dobbs, K. (2000). *Kansas Geological Survey, Public Information Circular*.
- Beskrovanov, V., & Shkodzinsky, V. (1992). *Kimberlite magma evolution and diamond genesis*.
- Bizzi, L., Smith, C., DeWit, M., Armstrong, R., & Meyer, H. (1994). Mesozoic kimberlites and related alkalic rocks in south-western Sao Francisco craton, Brazil: A case for local mantle reservoirs and their interaction: Brasília. 156-171. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).
- Bobrievich, A., Bondarenko, M., & Gnevushev, M. (1959). *Diamond Fields of Yakutiya. Gos. Nauck,- Tekhn. Izdatel'stvo*. Moscow.
- Boyd, F., Richardson, S., & Gurney, J. (1985). Evidence for a 150-200 km thick Archean lithosphere from diamond inclusion thermobarometry. *Nature*(315), σσ. 387-389.
- Brookins. (1970). *Kansas Geological Survey, Public Information Circular*. Ανάκτηση Νοέμβριος 20, 2017
- Bulanova, G. (1995). The formation of diamond. *Journal of Geochemical Exploration*(53), σσ. 1-23.
- Bundy, F., & Strong, H. (1973). *Chemistry and Physics of Carbon*. New York.
- Dan Hausel, W. (1998). Diamonds and Mantle Source Rocks in the Wyoming. *Report of Investigations* 53, 93. Wyoming State Geological Survey.
- Dawson, J. (1967). A review of the geology of kimberlites. Στο *Ultramafic and Related Rocks* (σσ. 241–251). New York: J. Willey & Sons.
- Dawson, J. (1989). Geographic and time distribution of kimberlites and lamproites: relationships to tectonic processes. Στο *Kimberlites and Related Rocks* (Special Publication no. 14 εκδ., σσ. 323-342). Geological Society of Australia.
- Dawson, J., & Smith, J. (1975). Occurrence of diamond in a mica-garnet lherzolite xenolith. *Nature*(254), σσ. 580–581.
- Deines, P., Harris, J., & Gurney, J. (1987). Carbon isotopic composition, nitrogen content and inclusion composition of diamonds from Roberts Victor kimberlite, South Africa: evidence for ¹³C depletion in the mantle. *Geochimica et Cosmochimica Acta*(51), σσ. 1227–1243.
- Diamonds Only*. (n.d.). Ανάκτηση Οκτώβριος Τρίτη, 2017
- Erlich, E. I., & Dan Hausel, W. (2002). *Diamond deposits : origin, exploration, and history of discovery*. Littleton, CO : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

- Erlich, E., & Dan Hausel, W. (2002). Origin, Exploration, and History of Discovery. Στο *Diamond Deposits* (σσ. 74-94). Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.
- Evans, T., & Harris, J. (1989). Nitrogen aggregation, inclusion equilibration temperatures and the age of diamonds. Στο *Kimberlites and Related Rocks* (Τόμ. 2, σσ. 1001-1006). Perth, Australia: Blackwell Scientific Publications.
- Grigorian, K. (2012). Diamond production and processing: What Armenia can learn from an intra-regional exchange on the diamond trade.
- Gurney, J. (1985). A correlation between garnets and diamonds in kimberlites. Στο U. o. University of Western Australia. Dept. of Geology, J. Glover, & P. Harris (Επιμ.), *Kimberlite Occurrence and Origin: A Basis for Conceptual* (Τόμ. 8, σσ. 143-166). University Extension, University of Western Australia.
- Gurney, J. (1989). Diamonds. Στο G. S. Australia (Επιμ.), *Kimberlites and Related Rocks* (σσ. 935–965). Perth: Blackwell Scientific Publications.
- Gurney, J., & Moore, R. (1985). Pyroxene solid solution in garnets included in diamonds. *Nature*(318), σσ. 553-555.
- Gurney, J., Helmstaedt, H., le Roex, A., Nowicki, T., Richardson, S., & Westerlund, K. (2005). Στο *Diamonds: crustal distribution and formation processes in time and space and an integrated deposit model* (Τόμ. 100, σσ. 143–177). Society of Economic Geologists.
- Harben, P., & Kuzvart, M. (1997). *Industrial Minerals: A Global Geology* (3 εκδ.). Industrial Minerals Information Limited.
- Harlow, G. (1998). *The Nature Of Diamonds*. United States of America: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.
- Hazen, R. M., Jones, A. P., & Baross, J. A. (2013). Carbon in Earth. Στο *Reviews in Mineralogy & Geochemistry* (Τόμ. 75, σσ. 355-421).
- Indus-Global Superabrasives*. (1985).
- Info Diamond. (n.d.). New York (United States).
- Jackson. (1997). *Kansas Geological Survey, Public Information Circular*.
- Jacob, D. (2004). Nature and origin of eclogite xenoliths from kimberlites. Στο *Lithos* (Τόμ. 77, σσ. 295-316).
- Jennings. (1995). The exploration context for diamonds. *Journal of Geochemical Exploration*(53), σσ. 113-124.
- Jennings, C. H. (1995). The exploration context for diamonds. *Journal of Geochemical Exploration*(53), σσ. 113-124.
- King, H. M. (2016). *Geoscience News and Information*.



Kramers, J. (1979). Lead, uranium, strontium, potassium and rubidium in inclusion bearing diamonds and mantle-derived xenoliths from southern Africa. *Earth and Planetary Science Letters*(42), σσ. 58-70.

Lewis, R., Ming, T., Wacker, J., Anders, E., & Steel, E. (1987). Interstellar Diamonds in Meteorites. *Nature*(326), σσ. 160-162.

Masaytis, V., Gnevushev, M., & Shafranovsky, G. (1979). Mineral assemblages and mineralogical criteria of genesis of astroblemes. σσ. 257-273.

McCallum, M., & Eggler, D. (1976). Diamonds in an upper mantle peridotite nodule. *Science*(192), σσ. 253-256.

Michaud, D. (2012). *911 Metallurgist*.

Mitchell, R. H., & Bergman, S. C. (1991). *Petrology of Lamproites*. Springer; 1991 edition.

Moor, G. (1940). Στο E. Edward, & W. Dan Hausel, *Diamond deposits : origin, exploration, and history of discovery* (σσ. 10-12). Littleton, CO : Society for Mining, Metallurgy, and Exploration.

Moore, R., & Gurney, J. (1985). Pyroxene solid solution in garnets included in diamond. Στο *Nature* (σσ. 553–555).

Nowicki, T., Moore, R., Gurney, J., & Baumgartner, M. (2007). *Developments in Sedimentology*. Maria A. Mange, David T. Wright.

Padgham, W., & Fyson, W. (1992). The Slave Province: a distinct Archean craton. *Canadian Journal of Earth Sciences*.

Pell, J. (1998). *Kimberlite-Hosted Diamonds, in Geological Fieldwork 1997*. Great Britain.

Richardson, S., Gurney, J., Erlank, A., & Harris, J. (1984). Origin of diamonds in old enriched mantle. *Nature*(310), σσ. 198-202.

Richardson, S., Shirey, S., Harris, J., & Carlson, R. (2001). Archean subduction recorded by Re-Os isotopes in eclogitic sulfide inclusions in Kimberley diamonds. Στο *Earth and Planetary Science Letters* (Τόμ. 191, σσ. 257–266).

Rickwood, C., Gurney, J., & White-Cooper, D. (1969). *The nature and occurrence of eclogite xenoliths in the kimberlites of South Africa*. Geological Society of South Africa.

Robinson, D. (1979). *Surface textures and other features of diamonds*. University of Cape Town.

Sakuntala, S., & Brahman, N. (1984). Diamond mines near Raichur. Στο *Journal of the Geological Society of India* (σσ. 780-786).

Sampaolo, M. (2017). *Encyclopedia Britannica*.

Scott Smith, B. (1989). Lamproites and Kimberlites in India. Στο *Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen* (Τόμ. 161, σσ. 193-225).

Seifert, F., & Schreyer, W. (1968). *Geologische Rundschau*. Στο W.-C. Dullo (Επιμ.). Springer Berlin Heidelberg.

Shimizu, N., & Sobolev, N. (1995). Young peridotitic diamonds from the Mir kimberlite pipe. *Nature*(375), σ. 394.

Shirey, S., & Richardson, S. (2011). Start of the Wilson cycle at 3 Ga shown by diamonds from subcontinental mantle. Στο *Science* (Τόμ. 333, σσ. 434-436).

Taylor, L., & Anand, A. (2004). Diamonds: time capsules from the Siberian mantles. *Chemie der Erde*, 64, σσ. 1-74.

Thomassot, E., Cartigny, P., Harris, J., Lorand, J., Rollion-Bard, C., & Chaussidon, M. (2009). Metasomatic diamond growth: A multi-isotope study ^{13}C , ^{15}N , ^{33}S , ^{34}S of sulphide inclusions and their host diamonds from Jwaneng (Botswana). Στο *Earth Planet Sci Lett* (Τόμ. 282, σσ. 79-90).

Tolman, & Landes. (1939). *Kansas Geological Survey, Public Information Circular*.

Vu, & Linda. (2008). *Spitzer's Eyes Perfect for Spotting Diamonds in the Sky*. NASA/JPL Caltech.

Wagner. (1914). Kimberlites and Their Xenoliths. Στο J. Dawson, *Minerals, Rocks and Mountains* (Τόμ. 15). Springer Science & Business Media.

Walter, M., Kohn, S., Araujo, D., Bulanova, G., Smith, C., Gaillou, E., και συν. (2011). Deep Mantle Cycling of Oceanic Crust: Evidence from Diamonds and Their Mineral Inclusions. *Science*(334), σσ. 54-57.

Westerlund, K. (2005). *A Geochemical Study of Diamonds, Mineral Inclusions in Diamonds and Mantle Xenoliths from the Panda Kimberlite, Slave Craton*. University of Cape Town.

Westerlund, K., Gurney, J., Carlson, R., Shirey, S., Hauri, E., & Richardson, S. (2004). A metasomatic origin for late Archean eclogitic diamonds: implications from internal morphology of Klipspringer diamonds and Re-Os and S isotope characteristics of their sulfide inclusions. Στο *South African Journal of Geology* (Τόμ. 107, σσ. 119–130). South Africa.

Wilson, K. (2013). *Diamond Basics*.

Wolfe Skinner, E., & Scott Smith, B. (1984). Diamondiferous Lamproites. Στο *The Journal of Geology* (σσ. 433-438).

Yerofeyev, M., & Lachinov, P. (1888). *The meteorite from Novo-Urei village*.

Yoder, M. N. (1994). *Synthetic Diamond*. New York: Karl E. Spear, John P. Dismukes.