



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ

ΤΟΜΕΑΣ ΟΡΥΚΤΟΛΟΓΙΑΣ - ΠΕΤΡΟΛΟΓΙΑΣ -

ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΤΣΙΓΚΑΣ

ΑΕΜ 5705

ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ

ΛΙΘΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2021





ΘΕΟΔΩΡΟΣ ΤΣΙΓΚΑΣ

ΕΡΕΥΝΕΣ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΠΟΛΥΤΙΜΩΝ
ΛΙΘΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής

Βασίλης Μέλφος, Αναπληρωτής Καθηγητής

© Θεόδωρος Τσίγκας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All right reserved.



© Θεόδωρος Τσίγκας, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2021

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Έρευνες και προοπτικές για εντοπισμό πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα - *Διπλωματική Εργασία*

© Theodoros Tsigkas, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2021

All rights reserved.

Research and perspectives for gemstones exploration in Greece - Bachelor Thesis

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

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

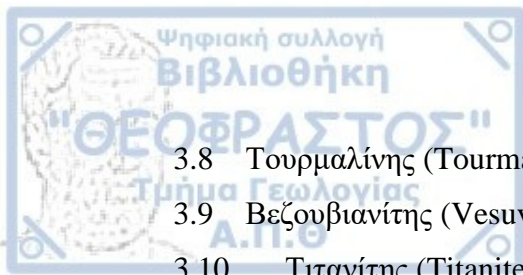
Εικόνα Εξωφύλλου: Κρύσταλλοι πράσιου από το Μεγάλο Χωριό της Σερίφου (© Elmar Lackner 2007)





Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ..... | 3 |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 4 |
| 2. ΓΕΩΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΑ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ..... | 6 |
| 2.1 Μεταμορφικά - Μετασωματικά..... | 7 |
| 2.2 Μαγματικά - Υδροθερμικά..... | 7 |
| 3. ΠΟΛΥΤΙΜΟΙ ΛΙΘΟΙ..... | 10 |
| 3.1 Χαλαζίας (Quartz)..... | 10 |
| 3.1.1 Πράσιος (Prase)..... | 12 |
| 3.1.2 Αμέθυστος (Amethyst)..... | 12 |
| 3.1.2.1 Εμφανίσεις αμέθυστου στην Ελλάδα..... | 13 |
| 3.1.2.1.1 Κασσιτερές - Σάπες..... | 13 |
| 3.1.2.1.2 Κορνοφωλιά..... | 13 |
| 3.1.2.1.3 Κίρκη..... | 14 |
| 3.1.2.1.4 Λέσβος..... | 14 |
| 3.1.2.1.5 Μήλος..... | 14 |
| 3.1.2.2 Ορυκτολογία και Ορυκτοχημεία..... | 15 |
| 3.1.2.3 Συζήτηση και συμπεράσματα..... | 16 |
| 3.2 Κορούνδιο (Corundum)..... | 17 |
| 3.2.1 Περιβάλλον σχηματισμού..... | 17 |
| 3.2.2 Εμφανίσεις κορουνδίου στην Ελλάδα..... | 18 |
| 3.2.2.1 Ξάνθη..... | 18 |
| 3.2.2.2 Παρανέστι..... | 18 |
| 3.2.2.3 Νάξος..... | 19 |
| 3.2.2.4 Ικαρία..... | 19 |
| 3.2.3 Ορυκτολογία και Ορυκτοχημεία..... | 20 |
| 3.2.4 Συζήτηση και συμπεράσματα..... | 21 |
| 3.3 Βήρυλλος (Beryl)..... | 22 |
| 3.4 Άστριοι (Feldspars)..... | 23 |
| 3.5 Ιαδεΐτης (Jadeitite / Jade)..... | 24 |
| 3.6 Σπινέλλιος (Spinel)..... | 25 |
| 3.7 Ζοϊσίτης (Zoisite)..... | 26 |



| | | |
|------|--|----|
| 3.8 | Τουρμαλίνης (Tourmaline) | 27 |
| 3.9 | Βεζουβιανίτης (Vesuvianite) | 28 |
| 3.10 | Τιτανίτης (Titanite) | 28 |
| 3.11 | Κυανίτης και πολύμορφα του Al_2SiO_5 (Kyanite and Al_2SiO_5 Polymorphs) .. | 29 |
| 3.12 | Γρανάτης (Garnet) | 30 |
| 3.13 | Χαλκηδόνιος, Αγάτης, Ίασπις (Chalcedony, Agate, Jasper) | 32 |
| 3.14 | Οπάλιος (Opal) | 34 |
| 3.15 | Απατίτης (Apatite) | 35 |
| 3.16 | Φθορίτης (Fluorite) | 36 |
| 3.17 | Αζουρίτης - Μαλαχίτης (Azurite - Malachite)..... | 36 |
| 3.18 | Τιρκουάζ (Turquoise) | 37 |
| 3.19 | Σμιθσονίτης (Smithsonite) | 38 |
| 4. | Άλλες σημαντικές τοποθεσίες..... | 40 |
| 4.1 | Λαύριο | 40 |
| 5. | Προοπτικές..... | 42 |
| 5.1 | Ελλάδα: Μια νέα παραγωγός κορουνδίων; | 42 |
| 5.2 | Τρίκορφο | 42 |
| 6. | Συμπεράσματα | 44 |
| | Βιβλιογραφία | 46 |



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Έρευνες και προοπτικές για εντοπισμό πολύτιμων λίθων στην Ελλάδα

Θεόδωρος Τσίγκας

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία αφορά τους πολύτιμους λίθους, τις έρευνες για τον εντοπισμό αυτών, καθώς και τις προοπτικές για την πιθανή εύρεση νέων ευγενών ποικιλιών ορυκτών στο ελληνικό ορογενές. Στην Ελλάδα οι πολύτιμοι λίθοι εντοπίζονται κυρίως σε τέσσερις γεωτεκτονικές ζώνες οι οποίες είναι η Μάζα Ροδόπης, η Αττικοκυκλαδική Μάζα, η Πελαγονική Ζώνη και η Ενότητα Φυλλιτών-Χαλαζιτών στην Κρήτη. Ο σχηματισμός τους μπορεί να γίνει σε περιβάλλον περιοχικής μεταμόρφωσης-μετασωμάτωσης (κλινοζοϊσίτης, σπεςσαρτίνης, κυανίτης κ.ά.), σε μαγματικό-υδροθερμικό περιβάλλον (βήρυλλος, βεζουβιανίτης, τιτανίτης, επίδοτο κ.ά.) ή τέλος να σχετίζεται με διακλάσεις αλπικού τύπου (διάφορες ποικιλίες του χαλαζία, αλβίτης κ.ά.). Τα κορούνδια από την Ξάνθη και την Δράμα, ο αμέθυστος από τον Έβρο και την Σέριφο, αλλά και ο φθορίτης και ο σμιθσονίτης από την Θάσο και το Λαύριο, είναι ενδεικτικά κάποιες περιοχές που εντοπίζουμε παγκοσμίου κλάσης δείγματα. Μπορεί η Ελλάδα να μην είναι μια γνωστή παραγωγός χώρα πολύτιμων λίθων, αλλά το σίγουρο είναι ότι χρειάζεται έρευνα και πολλές μελέτες για την αξιολόγηση τους, καθώς και για την δυνητική μελλοντική οικονομική τους εκμετάλλευση.



ABSTRACT

Research and perspectives for gemstones exploration in Greece

Theodoros Tsigkas

This thesis is about gemstones, the research for their location, as well as the perspectives for the potential finding of new gem quality minerals in the Hellenides Orogen. In Greece, gemstones are located mainly in four geotectonic zones the Rhodope, Attico-Cycladic and the Pelagonian massifs, and also the Phyllites-Quartzites unit of Crete Island. Their formation can take place in an environment of regional metamorphosis (clinozoisite, spessartine, kyanite, etc.), in a magmatic-hydrothermal environment (beryl, vesuvianite, titanite, epidote, etc.) or finally related to alpine-type fissures (varieties of quartz, albite, etc.). Corundums from Xanthi and Drama, amethyst from Evros and Serifos, plus fluorite and smithsonite from Thassos and Lavrio, are indicative for some areas where we find world-class specimens. Even though, Greece may not be a well-known producer of gemstones, but exploration and many studies are needed for their evaluation, as well as for their potential future economic exploitation.



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

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

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία προσπαθεί να παρουσιάσει τους πολύτιμους λίθους, τις έρευνες αλλά και τις προοπτικές για τον εντοπισμό αυτών στην Ελλάδα, καθώς και την δυναμική τους μελλοντική οικονομική εκμετάλλευση.

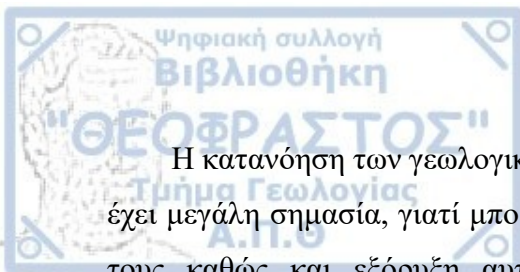
Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Β. Μέλφο, που ήταν ο επιβλέπων της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή βοήθειά του κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξή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

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Εξ ορισμού, οι πολύτιμοι λίθοι είναι υλικά που χρησιμοποιούνται, μετά από κατεργασία, σαν κοσμήματα για στολισμό και διακόσμηση, αλλά πρέπει να έχουν και κάποιες συγκεκριμένες ιδιότητες και χαρακτηριστικά. Αυτές είναι η σπανιότητα, το χρώμα, η διαύγεια, ο μεγάλος δείκτης διάθλασης και φυσικά η μεγάλη σκληρότητα και η ανθεκτικότητα, ώστε να αντιστέκονται σε «φυσιολογική» φθορά, δηλαδή να μην φθείρονται με την επαφή. Ορισμένες ιδιότητες όπως η λάμψη και η διαύγεια μετά από την κοπή και την στίλβωση του πολύτιμου λίθου, αναδεικνύονται ακόμη περισσότερο, καθώς έτσι επιτρέπεται στο φως να εισχωρήσει σε αυτά με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Παλαιότερα γινόταν μια διάκριση των πολύτιμων λίθων ή αλλιώς precious stones (πχ διαμάντι, ζαφείρι, ρουμπίνι, σμαράγδι), από όλα τα υπόλοιπα πετράδια που ονομάζονταν ημιπολύτιμοι λίθοι ή αλλιώς semiprecious stones (πχ τοπάζι, ακουαμαρίνα, τουρμαλίνης, γρανάτης, οπάλιος κ.ά.), κάτι το οποίο στις μέρες μας δεν ισχύει, καθώς και οι δύο υποκατηγορίες αναφέρονται με τον όρο gemstones στη βιβλιογραφία (Σχ. 1.1). Τα gemstones εκτός από μεμονωμένοι κρύσταλλοι ορυκτών μπορεί να είναι και πετρώματα (νεφρίτης, λάπις) ή και να αποτελούνται, εν μέρει ή εξ ολοκλήρου, από οργανικά υλικά (κεχριμπάρι, μαργαριτάρι, κοράλλια κ.ά.) (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 1.1 Πληθώρα πολύτιμων λίθων από την Ελλάδα σε διάφορες κοπές (Voudouris et al. 2019a).



Η κατανόηση των γεωλογικών συνθηκών που δημιουργούν καταθέσεις πολύτιμων λίθων έχει μεγάλη σημασία, γιατί μπορεί να παρέχει οδηγίες για την έρευνα αυτών, τον εντοπισμό τους καθώς και εξόρυξη αυτών, αν οι αποθέσεις είναι οικονομικά απολήψιμες. Οι συγκεκριμένες γεωλογικές συνθήκες περιλαμβάνουν τη διαθεσιμότητα ασυνήθιστων κύριων συστατικών, τη παρουσία επαρκών χρωμοφόρων στοιχείων, επαρκή χώρο προκειμένου να σχηματιστούν κρύσταλλοι σημαντικού μεγέθους και διαφάνειας και τέλος την απουσία υψηλών τάσεων, ώστε να μην έχουμε διάρρηξη των πετραδιών. Ενώ η Ελλάδα δεν θεωρείται ως χώρα προέλευσης πολύτιμων λίθων, υπάρχουν αρκετές γνωστές εμφανίσεις μερικές από τις οποίες είναι τα ρουμπίνια από την Ξάνθη και το Παρανέστι της Δράμας, ζαφείρι και βήρυλλος από τη Νάξο, κόκκινος σπεςσαρτίνης από την Πάρο, σμιθσονίτης από τη ζώνη οξείδωσης των ορυχείων του Λαυρίου και η πράσινη ποικιλία χαλαζία, ο λεγόμενος πράσιος, από το σκαρν της Σερίφου. Οι πολύτιμοι λίθοι της Ελλάδας βρίσκονται σε διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα, η μελέτη των οποίων θα αυξήσει τις γνώσεις μας σχετικά με τις προϋποθέσεις που απαιτούνται για την κρυστάλλωσή τους (Voudouris et al. 2019a).

Οι Ελληνίδες οροσειρές αποτελούν μέρος της Αλπικής ορογένεσης και σχηματίστηκαν όταν συγκρούστηκε η Απουλία πλάκα με την Ευρασιατική κατά το Άνω Κρητιδικό - Τριτογενές. Χωρίζονται σε διάφορες ενότητες όπως η Μάζα Ροδόπης, η Σερβομακεδονική Μάζα, η Ζώνη Αξιού, η Πελαγονική Ζώνη, που αποτελούν τις Εσωτερικές Ελληνίδες και οι Εξωτερικές που δημιουργήθηκαν από Μεσοζωικά και Καινοζωικά πετρώματα. Οι Ελληνίδες μπορούν να θεωρηθούν ως ένα συμπιεστικό ορογενές, που προέκυψε από την επώθηση και τη ΝΔ επικάλυψη των ηπειρωτικών τεμαχών, της Ροδόπης και της Πελαγονικής, αλλά και από το κλείσιμο των ωκεανών των Ζωνών Αξιού και Πίνδου, της Νεοτηθύος. Ένα ασβεστολιθικό μαγματικό γεγονός ηλικίας Περμίου (γνωστό από την Πελαγονική Ζώνη, τη Μάζα Ροδόπης, την Αττικο-Κυκλαδική Ζώνη, την Πελοπόννησο και την Κρήτη) είναι υπεύθυνο για τη δημιουργία ενός ενεργού ηπειρωτικού περιθωρίου, κατά το Προκάμβριου - Σιλούριο στη βάση των Ελληνίδων (Voudouris et al. 2019a).

Η τελική σύγκρουση μεταξύ της Ευρασιατικής πλάκας και της Αφρικανικής, στο τέλος του Κρητιδικού, έκλεισε τον ωκεανό της Νεοτυθίας, κατά μήκος της ζώνης συρραφής της Ενότητας Αξιού, όπως αποδεικνύεται από την τεκτονική τοποθέτηση των Ιουρασικών οφιολίθων πάνω στο ηπειρωτικό τέμαχος της Πελαγονικής. Η συμπίεση του ορογενούς και η συν-ορογενετική εκταφή των HP-LT πετρωμάτων έγινε κατά τη διάρκεια του Άνω Κρητιδικού - Ηωκαίνου, πριν από την επιτάχυνση της πλάκας υποχώρησης που άλλαξε το καθεστώς υποβύθισης και προκάλεσε την κατάρρευση της ορογενετικής ζώνης των Ελληνίδων και την λέπτυνση της πλάκας του Αιγαίου από το μέσο Ηώκαινο / τέλος Ολιγοκαίνου έως σήμερα. Κατά τη διάρκεια αυτού του μετα-ορογενετικού επεισοδίου, σχηματίστηκαν ρήγματα αποκόλλησης μεγάλης κλίμακας, που οφείλονται για την εκταφή μεταμορφωμένων πυρήνων σε ένα περιβάλλον οπισθοτόξιας λεκάνης. Ο Τριτογενής μαγματισμός στο Αιγαίο συνέβη επί το πλείστον σε αυτό το μετα-ορογενετικό επεισόδιο, πίσω από την ενεργή ζώνη υποβύθισης των Ελληνίδων. Τα Πλειοκαίνικα έως και τα σημερινά ηφαιστειακά πετρώματα στο ενεργό ηφαιστειακό τόξο του Αιγαίου, σχηματίστηκαν ως συνέπεια της ενεργής υποβύθισης κάτω από την ελληνική τάφρο. Στις Ελληνίδες οροσειρές, οι πολύτιμοι λίθοι εμφανίζονται σε διάφορους τύπους πετρωμάτων κυρίως τριών γεωτεκτονικών ζωνών, της Μάζας Ροδόπης, της Αττικοκυκλαδικής και της Ενότητας Φυλλιτών-Χαλαζιτών στη Κρήτη (Voudouris et al. 2019a).

2.1 Μεταμορφικά - Μετασωματικά

Στα κρυσταλλικά πετρώματα διακρίνονται δύο ομάδες πολύτιμων λίθων: αυτοί που σχηματίζονται κατά τη διάρκεια της περιοχικής μεταμόρφωσης-μετασώματωσης και εκείνοι που σχετίζονται με διακλάσεις αλπικού τύπου. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει ρουμπίνι, ζαφείρι, ιαδεΐτη, Μn-ανδαλουσίτη, σπεςσαρτίνη, Μn-γροσσουλάριο, Μn-ζοισίτη / κλινοζοϊσίτη, Fe-Mn κυανίτη και ροδονίτη. Τα κορούνδια στις περιοχές Ξάνθης-Δράμας (Μάζα Ροδόπης) και Νάξος-Ικαρία (Αττικοκυκλαδική), φιλοξενούνται μέσα σε παρασισιτικούς σχιστόλιθους, μάρμαρα και μεταβωξίτες. Τα πετρώματα ξενιστές είναι ανθρακοφόροι ορθογενέσιοι, μεταπηλίτες και σκαρν για τον Μn-ανδαλουσίτη, το σπεςσαρτίνη και τον θουλίτη στη Θάσο, Περμοτριάτικοι σχιστόλιθοι για τον ροδονίτη στο νησί της Άνδρου, που ανήκει στην Αττικοκυκλαδική Μάζα και τέλος ορθογενέσιοι και μάρμαρα στην Πάρο. Οι Ιαδεΐτες, οι εκλογίτες και οι μπλε σχιστόλιθοι είναι πετρώματα ξενιστές για τον ιαδεΐτη και τον τιτανίτη στη Σύρο (Voudouris et al. 2019a).

Τα ορυκτά που βρίσκονται σε διακλάσεις Αλπικού τύπου στην Ελλάδα σχετίζονται με τάσεις που δημιουργούνται σε θραυσιγενείς-πλαστικές συνθήκες έως πλαστικές σε πρόδρομο στάδιο και με την εκταφή σε μεταγενέστερο στάδιο των μεταμορφικών πυρήνων. Αυτά τα ορυκτά στην Ελλάδα περιέχουν χαλαζία και αλβίτη σε μορφή πολύτιμου λίθου, μαζί με αδουλάριο, χλωρίτη, επίδοτο, ακτινόλιθο, αιματίτη, μοσχοβίτη, ρουτίλιο, τουρμαλίνη και σιδηροπυρίτη. Τα πετρώματα ξενιστές είναι όρθο- και παραγενέσιοι στη Μάζα Ροδόπης (Δράμα, Θάσος) και στην Αττικοκυκλαδική Μάζα (Πεντέλη, Εύβοια, Ίος), αμφιβολίτες (Έβρο, Θάσο, Εύβοια, Άνδρο) και τέλος φυλλίτες (Λέσβο) και μεταχαλαζίτες (Κρήτη). Ο χαλαζίας και στη μορφή του καπνία αλλά και ως διαφανής ποικιλία (rock crystal), βρέθηκαν σε όλες τις παραπάνω τοποθεσίες και έντονου μωβ χρώματος αμέθυστοι εμφανίζονται σε ορθογενέσιους στην περιοχή της Δράμας. Επίσης κρύσταλλοι αλβίτη σε κρυσταλλική μορφή είναι άφθονοι σε μεταβασίτες στη Κρήτη και σε ορθογενέσιους στην Εύβοια (Voudouris et al. 2019a).

2.2 Μαγματικά - Υδροθερμικά

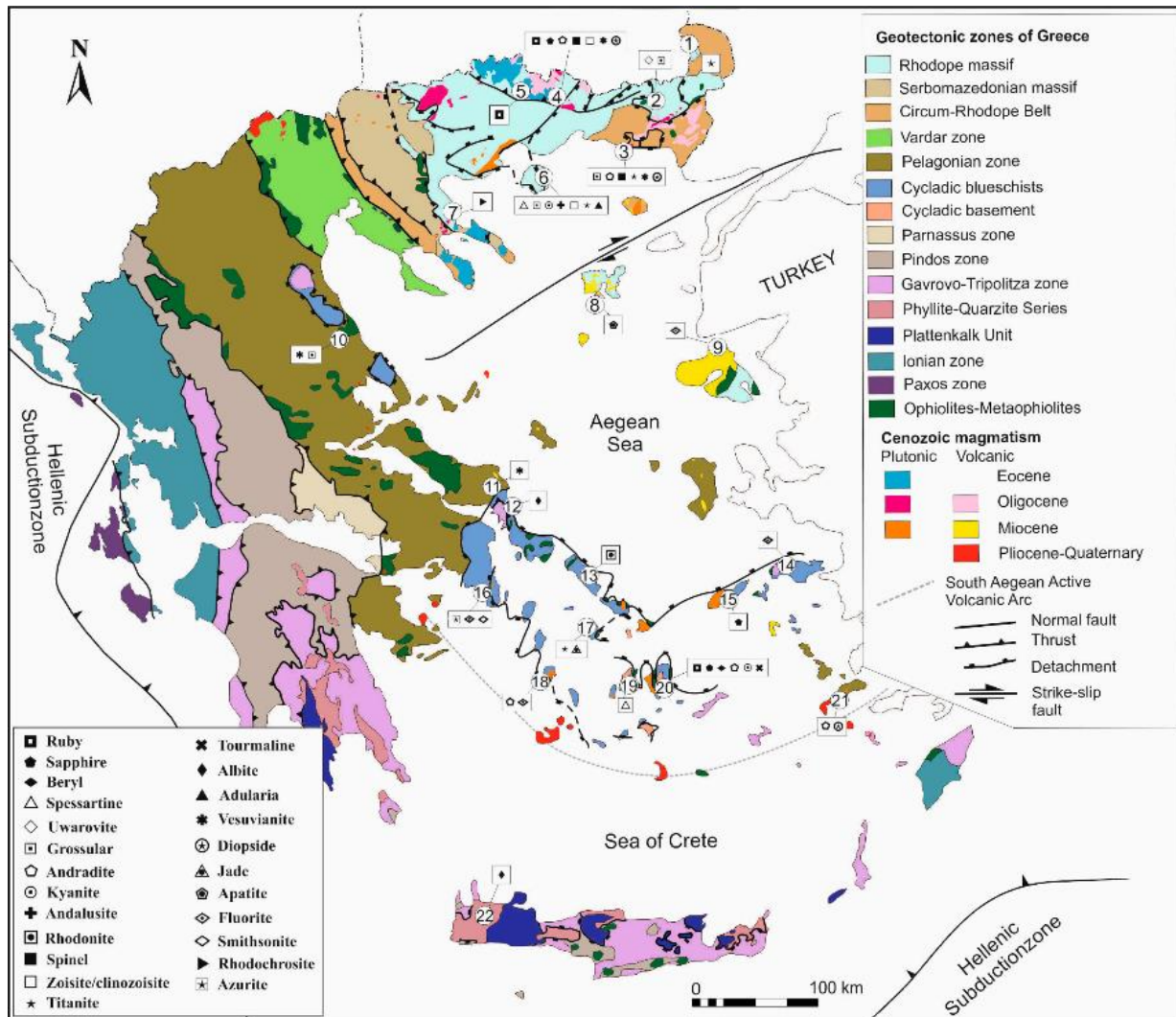
Στα Τριτογενή και Μεσοζωικά μαγματικά-υδροθερμικά περιβάλλοντα στην Ελλάδα όπως είναι τα γρανιτοειδή, οι πηγματίτες, τα σκαρν, τα κοιτάσματα αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων που δεν σχετίζονται με το σκαρν, τα ηφαιστειακά και τα οφιολιθικά πετρώματα, συναντάμε πολύτιμους λίθους όπως βήρυλλο, κορούνδιο, γρανάτη, βεζουβιανίτη, διοψίδιο, επίδοτο, τιτανίτη, σπινέλιο, φθορίτη, ροδοχρωσίτη, ποικιλίες χαλαζία και μικροκρυσταλλικά

ορυκτά του πυριτίου. Μιαρολιθικά έγκοιλα και φλέβες χαλαζία μέσα σε γρανιτοειδή φιλοξενούν ποικιλίες χαλαζία και απατίτη σε μορφή πολύτιμου λίθου. Η Σαμοθράκη και η Λήμνος στο βόρειο Αιγαίο, τα Κιμμέρια στην Ξάνθη, η Μαρώνεια στη Ροδόπη και η Τήνος στις Κυκλάδες είναι οι σημαντικότερες τοποθεσίες. Στους ελληνικούς πηγματίτες δεν συναντάμε κρυστάλλους ορυκτών στα μιαρολιθικά έγκοιλα, παρά μόνο συμπαγή πετρώματα. Στο νησί της Νάξου, τα μπλε ζαφείρια σχετίζονται με πλουμασίτες. Οι μπλε βήρυλλοι (π.χ. η ακουμαρίνα) εμφανίζονται στους πηγματίτες της Νάξου, τόσο εντός των μιγματικών θόλων, όσο και σε πηγματίτες, οι οποίοι διατρύπουν τα τριγύρω μεταμορφωμένα πετρώματα. Οι μαύροι κρύσταλλοι τουρμαλίνη εμφανίζονται σε πηγματίτες κοντά στο Νευροκόπι-Δράμα και στη Νάξο (Voudouris et al. 2019a).

Το σκαρν της Σερίφου, τα Κιμμέρια της Ξάνθης και η Δράμα, χαρακτηρίζονται από άφθονο χαλαζία. Κρύσταλλοι επιδότου εμφανίζονται μαζί με χαλαζία στη Λευκόπετρα, κοντά στην Κιμμέρια, μέσα σε μετασωματικό γρανοδιορίτη και γνεύσιο που φιλοξενούνται μέσα σε σώματα έξωσκαρν. Ο Βεζουβιανίτης εμφανίζεται στα έξωσκαρν των Κιμμερίων και της Μαρώνειας, όπως και ο γρανάτης που είναι ένα σημαντικό ορυκτό των ελληνικών σκαρν και συναντάται ως πολύτιμος λίθος σε πολλές ποικιλίες στη Μαρώνεια, στα Κιμμέρια, στη Κρέστη, στη Κω και στη Σέριφο. Ο τιτανίτης και ο σπινέλιος εμφανίζονται τόσο στα ενδο-όσο και στα έξωσκαρν της Μαρώνειας αντίστοιχα (Σχ. 2.1). Τα κοιτάσματα αντικατάστασης Pb-Zn-Au-Ag στο Στρατώνι, στην Ολυμπιάδα, στο Λαύριο και στη Σέριφο φιλοξενούν μια μεγάλη ποικιλία μη μεταλλικών ορυκτών ποιότητας πολύτιμων λίθων, τόσο υπογενετικής όσο και υπεργενετικής προέλευσης. Πρωτογενή ορυκτά ποιότητας πολύτιμου λίθου από τα ορυχεία της Χαλκιδικής περιλαμβάνουν χαλαζία και ροδοχρωσίτη, ενώ οι αποθέσεις στο Λαύριο και τη Σέριφο είναι γνωστές τοποθεσίες για φθορίτη. Ροδονιτωιωμένοι γάββροι και δολερίτες στον Έβρο, την Εύβοια, τη Λάρισα και Μεσοζωικοί οφιόλιθοι, από τη Μάζα Ροδόπης και τη Πελαγονική, φιλοξενούν εσονίτη και βεζουβιανίτη ποιότητας πολύτιμου λίθου (Voudouris et al. 2019a).

Στην Ελλάδα ηφαιστειακά πετρώματα που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση φιλοξενούν πολλά πυριτικά ορυκτά σε μορφή πολύτιμου λίθου. Ο αμέθυστος και ο χαλκηδόνιος συναντώνται στην περιοχή της Κορνοφωλιάς στον Έβρο, στις Σάπες στην Ροδόπη και στη Λέσβο και τη Μήλο σε επιθερμικές φλέβες που συνοδεύονται από ασβεσίτη ή και αδουλάριο και βαρύτη. Ο σπάλιος συναντάται σε πολλές ποικιλίες και χρώματα στη Λέσβο και τη Λήμνο, βρισκόμενος μέσα σε απολιθωμένους κορμούς δέντρων, καθώς και σε διάφορες τοποθεσίες στον Έβρο, τη Μήλο, τη Λήμνο και τη Λέσβο, όπου εκεί θεωρείται ότι ανήκει είτε σε πυριτικές ζώνες είτε σε ζώνες εξαλλοίωσης που σχηματίστηκαν από την

συμπύκνωση υδρατμών. Τέλος μεγακρύσταλλοι φθορίτη εμφανίζονται στη Σάμο και στη Λέσβο, και στις δύο περιπτώσεις με τη μορφή μονοκρυσταλλικής φλέβας, η οποία τέμνει πυριτωμένες επιθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης αλλά και προπυλιτικές ζώνες ομοίως (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 2.1. Όλοι οι πολύτιμοι λίθοι που εντοπίζονται στην Ελλάδα και η θέση αυτών (Voudouris et al. 2019a).

3. ΠΟΛΥΤΙΜΟΙ ΛΙΘΟΙ

Στην Ελλάδα η έρευνα για την εξόρυξη πολύτιμων λίθων είναι σχετικά ανύπαρκτη, εκτός ελαχίστων περιπτώσεων. Παρόλα αυτά σε πολλές θέσεις εντοπίζονται ορυκτά που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως πετράδια, αρκεί να γίνει συστηματική έρευνα και να καταγραφούν οι ακριβείς ιδιότητες τους για την ανεύρεση ευγενών ποικιλιών. Αυτές εντοπίζονται σε ζώνες skarn, δηλαδή σε ζώνες επαφής γρανίτη με μάρμαρα ή ασβεστόλιθους, σε θέσεις όπου εντοπίζονται υδροθερμικά κοιτάσματα μεταλλευμάτων, καθώς και εκεί όπου έχουμε πετρώματα που έχουν υποστεί υψηλού βαθμού μεταμόρφωση και σε σπάνιες περιπτώσεις σε προσχώσεις και ιζήματα ποταμών και ρεμάτων. Η μάζα της Ροδόπης και η Αττικο-κυκλαδική μάζα αποτελούν περιοχές όπου οι γεωλογικές διεργασίες λόγω της εκταφής, έδωσαν μία ποικιλία μεταμορφωμένων πετρωμάτων και ιδιαίτερα ένα μεγάλο αριθμό γρανιτικών και ηφαιστειακών πετρωμάτων, αλλά και κοιτασμάτων μεταλλευμάτων που εκτός από τη σπουδαιότητα που αποκτούν για εντοπισμό ορυκτών πρώτων υλών, αποτελούν και ένα μοναδικό τόπο για αναζήτηση ορυκτών.

3.1 Χαλαζίας (Quartz)

Ο χαλαζίας είναι ένα τεκτοπυριτικό ορυκτό, που κρυσταλλώνεται είτε στο τριγωνικό σύστημα (α-χαλαζίας), είτε στο εξαγωνικό (β-χαλαζίας) και έχει χημικό τύπο SiO_2 . Η σκληρότητα του είναι χαρακτηριστική, καθώς είναι το νούμερο 7 στην κλίμακα Mohs, έχει κογγώδη θραυσμό, $2,65 \text{ gr/cm}^3$ ειδικό βάρος και είναι διαφανής έως ημιδιαφανής. Εμφανίζεται με υαλώδη λάμψη στις μακροκρυσταλλικές του ποικιλίες, ενώ στις κρυπτοκρυσταλλικές είναι συνήθως στεατώδης ή αλαμπής. Επίσης οι κρύσταλλοι του είναι πρισματικοί και ρομβοεδρικοί με τις χαρακτηριστικές απολήξεις που μοιάζουν με πυραμιδικές μορφές, ενώ το χρώμα τους είναι συνήθως άχρωμο ή λευκό. Πολλές φορές όμως περιέχονται μικρά εγκλείσματα στον χαλαζία που τον χρωματίζουν με διάφορα χρώματα, όπως γαλακτώδες, ιώδες, καστανό, κόκκινο, κίτρινο, πράσινο, μαύρο κ.ά.

Ο χαλαζίας είναι το πιο διαδεδομένο ορυκτό παγκοσμίως, βρίσκεται σε μια τεράστια ποικιλία μορφών και χρωμάτων σε όλη την Ελλάδα και σε διάφορα περιβάλλοντα, όπως σε διακλάσεις αλπικού τύπου, σε μιαρολιθικά έγκοιλα ή και σε φλέβες χαλαζία που φιλοξενούνται σε γρανίτες, σε σκαρν και σε κοιτάσματα αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων, και τέλος σε επιθερμικά περιβάλλοντα που φιλοξενούνται από ηφαιστειακά πετρώματα. Διάσημες

τοποθεσίες για χαλαζία αλπικού τύπου και ποιότητας πολύτιμου λίθου, έχουμε σε περιοχές της Αττικής και της Δράμας, καθώς και στην Εύβοια, στην Ίο, στη Θάσο και στην Κρήτη, όπου οι κρύσταλλοι φτάνουν σε μεγέθη έως και 40εκ. Ο καπνίας (smoky quartz), ο μαύρος χαλαζίας (Morion), ο διαφανής χαλαζίας (rock crystal), ο αμέθυστος, ο χλωριτωμένος χαλαζίας και ρουτιλιωμένος χαλαζίας, είναι μεταξύ των ποικιλιών που βρίσκονται καθ' όλη την Ελλάδα (Σχ. 3.1).

Στη Σαμοθράκη συναντάμε κρυστάλλους χαλαζία έως και 50εκ σε διαφανή μορφή, ως καπνία ή μαύρο χαλαζία, οι οποίοι γεμίζουν τα μιαιολιθικά έγκοιλα σε απλιτικούς γρανίτες. Εμφανίζονται επίσης άχρωμοι κρύσταλλοι χαλαζία, έως 10εκ, σε χαλαζιακές φλέβες που τέμνουν εγκάρσια τα γρανιτοειδή πετρώματα στη Σαμοθράκη, στα Κιμμέρια της Ξάνθης, στη Μαρόνεια και στην Τήνο. Επίσης ο χαλαζίας είναι ένα πολύ συνηθισμένο ορυκτό στα σκαρν της Σερίφου, των Κιμμερίων και της Κρέστης στη Δράμα. Χαλαζίας ποιότητας πολύτιμου λίθου, με κρυστάλλους έως και 60εκ, εμφανίζεται και σε κοιτάσματα αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων στη Χαλκιδική. Αναπτύσσονται επίσης πράσινοι κρύσταλλοι χαλαζία, λόγω εγκλεισμάτων ακτινίθου, μέσα σε βολλαστονίτη, τόσο στο σκαρν των Κιμμερίων όσο και της Κρέστης (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.1 Διάφορες ποικιλίες του χαλαζία από την Ελλάδα (Voudouris et al. 2019a).

3.1.1 Πράσιος (Prase)

Δεν θα πρέπει να παραληφθεί να αναφερθεί όμως και ο συνδυασμός αμέθυστου και πράσινου χαλαζία (πράσιος), που σχηματίζουν σκήπτρα επαύξεσης στη Σέριφο και είναι παγκοσμίου κλάσης δείγματα. Η περιοχή Αβεσσαλός στη Σέριφο χαρακτηρίζεται από σκαρν πλούσια σε γρανάτη και εδενβεργίτη και από την ανάπτυξη τεράστιων γεωδών (geodes) που γεμίζουν από πρόδρομα και ανάδρομα ορυκτά των σκαρν, ενώ είναι μία από τις καλύτερες περιοχές στον κόσμο που εμφανίζεται ο πράσινος χαλαζίας. Στα Νερούτσικα του Αβεσσαλού, εμφανίζονται δύο μορφές πράσιου, με την πρώτη ποικιλία να είναι σκούροι πράσινοι κρύσταλλοι συνοδευόμενοι από ρόδα αιματίτη (hematite roses), ενώ τη δεύτερη να είναι δίχρωμοι κρύσταλλοι με αμέθυστο και πράσιο, με την μετάβαση μέσα στον ίδιο κρύσταλλο να είναι απότομη, καθώς ο πράσιος εμφανίζεται στη βάση και ο αμέθυστος στην κορυφή του κρυστάλλου (Σχ. 3.2). Στο νότιο τμήμα της περιοχής της Αβεσσαλούς, συναντάμε μεγάλης σπανιότητας σκήπτρα που αποτελούνται από αμέθυστο και πράσιο μαζί. Αυτοί οι κρύσταλλοι συνήθως περιλαμβάνουν ένα χαμηλότερο τμήμα πράσιου που εξελίσσεται προς τα πάνω σε αμέθυστο και ξανά στην κορυφή σε πράσιο, ενώ αυτές οι εναλλαγές μπορεί να παρατηρηθούν ακόμα και σε μονούς κρυστάλλους και όχι απαραίτητα μόνο στα σκήπτρα (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.2. Κρύσταλλοι πράσιου από τον Αβεσσαλό (e,f) και από τα Νερούτσικα (g) της Σεριφου (Klemme 2018).

3.1.2 Αμέθυστος (Amethyst)

Ο αμέθυστος εμφανίζεται σε διάφορες αποχρώσεις του ιώδους χρώματος και το όνομα του προέρχεται από την αρχαία Ελλάδα, όπου πίστευαν ότι αυτό το πέτρωμα αποτρέπει τον κάτοχο του από την μέθη. Για αυτό το χαρακτηριστικό χρώμα υπεύθυνος είναι ο Fe^{4+} στο

πλέγμα του ορυκτού καθώς προκύπτει μέσω ιονισμού του Fe^{3+} που υπάρχει ήδη εκεί. Ο αμέθυστος σχηματίζεται σε όλους τους τύπους πετρωμάτων, καθώς και σε υδροθερμικές φλέβες, σε μετασωματικά πετρώματα και σε θερμές πηγές, γεμίζοντας τους κενούς χώρους σε διάφορα πυριγενή πετρώματα, όπως γρανίτες, ή και σε ηφαιστειακά. Στα μεταμορφωμένα πετρώματα ο αμέθυστος είναι ένα σχετικά κοινό ορυκτό στις λεγόμενες διακλάσεις αλπικού τύπου. Υπάρχουν 5 θέσεις αμέθυστου με αποθέματα που σχετίζονται με τα Τριτογενή ηφαιστειακά πετρώματα της Ελλάδας, με τρεις περιοχές να είναι στη Βόρεια Ελλάδα όπως οι Κασσιτερές-Σάπες, η Κίρκη και η Κορνοφωλιά, ενώ οι άλλες δύο εμφανίζονται στη νησιά της Λέσβου και της Μήλου. Πετρώματα ξενιστές σε αυτές τις εμφανίσεις είναι πυροκλαστικά υλικά ασβεσταλκαλικής έως σοσσωνιτικής σύστασης και ηλικίας Ολιγοκαίνου έως Πλειστοκαίνου (Voudouris et al. 2018).

3.1.2.1 Εμφανίσεις αμέθυστου στην Ελλάδα

3.1.2.1.1 Κασσιτερές - Σάπες

Στο βόρειο τμήμα της περιοχής Κασσιτερές -Σάπες, εμφανίζονται τεράστιοι ογκόλιθοι από αμέθυστο και χαλκηδόνιο έως 2×2 m μέγεθος, εντός του κροκαλοπαγούς του λόφου Ασημένιο (Silver Hill), το οποίο είναι πιθανότατα ένα φρεατομαγματικό λατυποπαγές. Ο αμέθυστος μπορεί επίσης να σχηματιστεί και σε εξαγωνικούς πρισματικούς κρυστάλλους, έως 3εκ σε μήκος, ενώ μερικές φορές το κάτω μέρος του κρυστάλλου μπορεί να είναι καπνίας χαλαζίας, αλλά γενικά οι πρισματικοί κρύσταλλοι είναι σπάνιοι. Τέλος παρατηρούμε φλέβες αμέθυστου να τέμνουν εγκάρσια πυριτιωμένα ξύλα της περιοχής που υποδεικνύουν ένα πολύ ρηχό περιβάλλον σχηματισμού (Voudouris et al. 2018).

3.1.2.1.2 Κορνοφωλιά

Στην περιοχή Κορνοφωλιά, οι φλέβες που φέρουν αμέθυστο φιλοξενούνται μέσα σε δακίτη που μπορεί να έχει εξαλλοιωθεί και σε ζεόλιθο. Οι φλέβες χαλαζία αποτελούνται από ένα εξωτερικό στρώμα χαλκηδόνιου, ακολουθούμενο από πιο αδρόκοκκο χαλαζία στο εσωτερικό της φλέβας, ενώ οι κενοί χώροι γεμίζουν με πρισματικούς κρυστάλλους αμέθυστου μήκους έως 3εκ (Σχ. 3.3). Σε μερικές φλέβες μάλιστα ο κενός χώρος γεμίζεται και από βοτρυοειδή ή σταλακτιτικό ροζ χαλκηδόνιο, καθώς απουσιάζει ο αμέθυστος, ενώ εξωτερικά μπορούμε να εντοπίσουμε σμεκτίτη, ζεόλιθους και ασβεστίτη. Όπως στις Κασσιτερές, έτσι και

στη Κορνοφωλιά οι φλέβες αμέθυστου τέμνουν εγκάρσια πυριτιωμένα ξύλα, γεγονός που υποδεικνύει ότι ο σχηματισμός έγινε σε μικρά βάθη (Voudouris et al. 2018).

3.1.2.1.3 Κίρκη

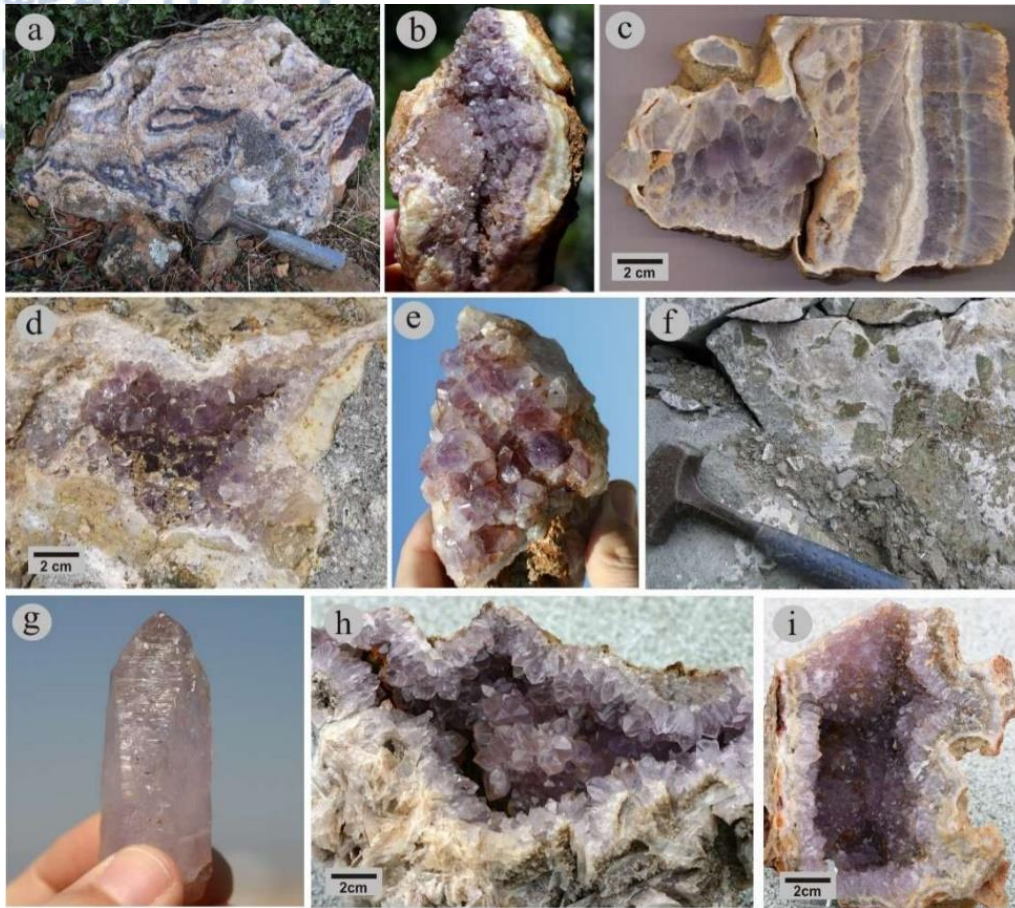
Η Κίρκη μοιάζει πολύ με την Κορνοφωλιά καθώς και εκεί οι κενοί χώροι εντός των φλεβών γεμίζουν με κρυστάλλους αμέθυστου έως 3εκ, ή και με διαυγή χαλαζία. Η μόνη διαφορά εδώ είναι ότι ο αμέθυστος υπάρχει μαζί με τους ζεόλιθους λομοντίτη και χιουλανδίτη, αλλά και με ανάλκιμο και ασβεστίτη. Στην περιοχή των μεταλλείων της Κίρκης μάλιστα, 25 χλμ. ΒΔ της Αλεξανδρούπολης, εντοπίζουμε μικρούς, βυσσινί χρώματος, ζωνώδεις κρυστάλλους βουρτσίτη έως 2mm, που αποτελεί πολύμορφο του σφαλερίτη, δηλαδή έχουν τον ίδιο χημικό τύπο (ZnS), αλλά κρυσταλλώνονται σε διαφορετικό κρυσταλλικό σύστημα (Voudouris et al. 2018).

3.1.2.1.4 Λέσβος

Στο βόρειο τμήμα του νησιού της Λέσβου, στην τοποθεσία Μεγάλα Θερμά, συναντάμε στρωματόμορφες, επιθερμικές φλέβες πλούσιες σε αμέθυστο, να τέμνονται εγκάρσια με ανδεσίτες που έχουν υποστεί προπυλιτική έως σερικιτική εξαλλοίωση. Στις φλέβες εκτός από χαλαζία με τη μορφή αμεθυστίνη, έχουμε και φθορίτη, γλωρίτη και κάποια ανθρακικά ορυκτά. Οι κρύσταλλοι του αμέθυστου είναι πρισματικοί και ιδιόμορφοι, έως 10εκ σε μήκος, ενώ συνήθως εμφανίζονται με τη μορφή σκήπτρων ή με παράθυρα επαύξησης που μοιάζουν πολύ με τις εμφανίσεις του αμέθυστου στο Μεξικό και τη Σαρδηνία (Voudouris et al. 2018).

3.1.2.1.5 Μήλος

Στο νησί της Μήλου ο αμέθυστος υπάρχει σε δύο περιοχές στο Χοντρό Βουνό και στις Καλογριές, ενώ και στις δύο εμφανίζεται σε στρωματόμορφες φλέβες με χαλαζία, χαλκηδόνιο και βαρύτη, που τέμνουν εγκάρσια υποηφαιστειακά πετρώματα και πιο συγκεκριμένα ρυολίθους που έχουν υποστεί σερικιτική εξαλλοίωση στο Χοντρό Βουνό και δακίτες που έχουν υποστεί προπυλιτική εξαλλοίωση στις Καλογριές. (Voudouris et al. 2013). Οι φλέβες έχουν πάχος έως 2μ και μήκος πολλών δεκάδων μέτρων με τον σχηματισμό του αμέθυστου και εδώ να γίνεται σε μικρό βάθος, έως 100μ, κάτι που το καταλαβαίνουμε από την παρουσία χαρακτηριστικών απολιθωμάτων μέσα σε ηφαιστειοκλαστικούς σχηματισμούς που τέμνονται από χαλαζιακές φλέβες (Voudouris et al. 2018).



Σχ. 3.3. Αμέθυστοι από την Ελλάδα (Voudouris et al. 2018)

3.1.2.2 Ορυκτολογία και Ορυκτοχημεία

Στις φλέβες αμέθυστου έχουμε κυρίως χαλαζία και χαλκηδόνιο, αλλά και, βαρύτη, ζεόλιθους, γλωρίτη, αδουλάριο, κάποια ανθρακικά ορυκτά και σε μικρότερες ποσότητες σιδηροπυρίτη, σμεκτίτη, γκαιτίτη και λεπιδροκροκίτη. Ο αδουλάριος βρίσκεται και μέσα στις φλέβες, αλλά και ως ορυκτό εξαλλοίωσης στα τοιχώματα στις Κασσιτερές, στο Ασημένιο στις Σάπες και στο Χοντρό Βουνό. Στις ζώνες εξαλλοίωσης των καλιούχων αστρίων, ο αδουλάριος σχηματίζει ιδιόμορφους κρυστάλλους και αντικαθιστά συνήθως το πλαγιόκλαστο, στους κλινοπυρόξενους και τους αμφίβολουσ των ηφαιστειακών πετρωμάτων που είναι πετρώματα ξενιστές. Ο γλωρίτης εμφανίζεται σε μικρές ποσότητες στις φλέβες αμέθυστου στα Μεγάλα Θερμά και βρίσκεται μαζί με βαρύτη και ανθρακικά ορυκτά όπως ο δολομίτης και ο ασβεστίτης, ενώ είναι ένα σύνηθες ορυκτό στις ζώνες της προπυλιτικής εξαλλοίωσης, όπου σε συνδυασμό με ανθρακικά ορυκτά και σερικήτη αντικαθιστούν τους φαινοκρυστάλλους της κεροστίλβης και των πυρόξενων. Η εναπόθεση στις φλέβες του αμέθυστου της Κίρκης έγινε

με εναλλαγές λεπτών στρωμάτων από χαλαζία, σμεκτίτη, λομοντίτη και χιουλανδίτη, στη συνέχεια από ανάλκιμο και ασβεσίτη, ακολουθούμενη από χαλκηδόνιο και τέλος από αμέθυστο, που σχηματίζει μικρούς πρισματικούς κρυστάλλους στο κέντρο των φλεβών. Επίσης άξιο αναφοράς είναι ότι ο σιδηροπυρίτης και ο σμεκτίτης είναι προγενέστεροι του αμέθυστου στις φλέβες της Κορνοφωλιάς και της Κίρκης (Voudouris et al. 2018).

3.1.2.3 Συζήτηση και συμπεράσματα

Οι τάσεις που έχουν τα ρευστά εγκλείσματα, στους αμέθυστους στη Κορνοφωλιά, στα Μεγάλα Θέρμα, στο Χοντρό Βουνό και στις Καλογριές, να πηγαίνουν από υψηλότερες σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και αλατότητες, μπορεί να υποδεικνύουν μια διαδικασία διάλυσης, καθώς αναμειγνύονται υδροθερμικά ρευστά μέτριας αλατότητας, με άλλα χαμηλής θερμοκρασίας και αλατότητας που έχουν περίπου παρόμοιες θερμοκρασίες μεταξύ τους, όπως περιγράφεται από τους Hedenquist et al. (1991). Αφού δεν υπάρχουν στοιχεία για διαχωρισμό φάσης, όπως θα υποδείκνυε η παρουσία υδρατμών, μπορούμε να μιλάμε για μια «ανάμιξη» ή έναν «ήπιο βρασμό» των ρευστών σε ένα ανοιχτό περιβάλλον, όπως αναφέρεται από τους Moncada et al. (2012). «Όλες οι εμφανίσεις αμέθυστου που μελετήθηκαν, σχετίζονται με επιθερμικές φλέβες, που έχουν υποστεί χαμηλού έως μέσου βαθμού θείωση και έχουν καλά ανεπτυγμένες υδροθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης. Αυτές είναι με την σειρά η πυριτική που μεταβαίνει προς τα έξω σε σερικιτική ή και αδουλάριο, ενώ στη συνέχεια έχουμε την αργιλική, μετά την προπυλιτική, έπειτα τη ζεολιθική και τέλος ένα νέο ηφαιστειακό πέτρωμα (Voudouris et al. 2018).

Όλες οι ορυκτολογικές και γεωλογικές πληροφορίες δείχνουν ότι ο σχηματισμός του αμέθυστου έγινε κυρίως από σχεδόν ουδέτερα έως αλκαλικά ρευστά, με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες περίπου 200-250 C° και με χαμηλή έως μέτρια αλατότητα, 1-8% κ.β., σε ρηχές έως υποθαλάσσιες συνθήκες. Επιπρόσθετα, είναι γενικά αποδεκτό ότι ο αμέθυστος οφείλει το βιολετί του χρώμα στο Fe⁴⁺ που δημιουργείται μέσω μιας διαδικασίας που περιλαμβάνει ακτινοβολία στην οποία το Fe³⁺ χάνει ένα ηλεκτρόνιο και δημιουργείται έτσι το Fe⁴⁺. Ο αμέθυστος απαιτεί οξειδωτικές συνθήκες για να ενσωματώσει το Fe³⁺ και αυτές μπορεί να προκύψουν από την ανάμιξη οξειδωμένου μετεωρικού ή και θαλασσινού νερού, με αναδύομενα υδροθερμικά ρευστά. Η φυσική ακτινοβολία στους αμέθυστους πιθανώς να μπορεί να εξηγηθεί από τις μέτριες συγκεντρώσεις U των τριγύρω πετρωμάτων ξενιστών που είναι μάγματα και πυροκλαστικά πετρώματα ηλικίας Ολιγοκαίνου έως Πλειστοκαίνου και ασβεσταλκαλικής έως σοσσωνιτικής σύστασης (Voudouris et al. 2018).

3.2 Κορούνδιο (*Corundum*)

Το κορούνδιο είναι ένα ορυκτό που κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα, έχει αδαμαντώδη, υαλώδη λάμψη, χαρακτηριστική σκληρότητα 9 στην κλίμακα Mohs και χημικό τύπο Al_2O_3 . Το χρώμα του ποικίλλει από καφέ, ροζ έως βαθύ κόκκινο (pigeon blood), πορτοκαλί, κίτρινο, πράσινο, μπλε, μωβ, ενώ τα κύρια χρωμοφόρα στοιχεία στο κορούνδιο είναι τα Cr, Fe, Ti και V, με το Cr^{3+} να είναι υπεύθυνο για το ροζ και κόκκινο χρώμα, ενώ το ζεύγος $Fe^{2+}-Ti^{4+}$ για το μπλε. Εμφανίζεται κυρίως με πρισματικούς κρυστάλλους που καταλήγουν σε πυραμίδες με έντονες οριζόντιες ραβδώσεις στις έδρες, αλλά συχνά είναι και αποστρογγυλεμένοι ή βαρελοειδείς. Τα ρουμπίνια και τα ζαφείρια είναι οι δύο ποικιλίες του κορουνδίου, που μεταξύ άλλων, είναι οι πιο δημοφιλείς πολύτιμοι λίθοι που χρησιμοποιούνται και στα κοσμήματα.

3.2.1 Περιβάλλον σχηματισμού

Η περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων στα κορούνδια σε συνδυασμό με τα ισότοπα οξυγόνου που περιέχονται σε αυτά, είναι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για τον χαρακτηρισμό αυτών και για να ερμηνευτεί η προέλευση τους, ενώ επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον εντοπισμό, την ταξινόμηση και τη σύγκριση των καταθέσεων κορουνδίου ιδίως εκείνων που δεν έχουν εξακριβωμένη προέλευση. Μόλις κατά την δεκαετία του '80 ξεκίνησαν να γίνονται λεπτομερείς ορυκτολογικές και γεωλογικές μελέτες στη Νάξο, τη Σάμο και την Ικαρία για να διερευνηθεί το γεωλογικό περιβάλλον σχηματισμού των κορουνδίων που εμφανίζονται εκεί. Την ίδια περίοδο ξεκίνησαν να γίνονται και οι μελέτες για τα κορούνδια που φιλοξενούνται μέσα στα μάρμαρα στην περιοχή της Ξάνθης. Σύμφωνα με τους Pliorou and Katagas (2004) διατυπώθηκε ότι τα κορούνδια στη Μάζα Ροδόπης σχετίζονται με μετα-ασβεστόλιθους αυτά της Ξάνθης και με μαφικούς γρανουλίτες αυτά του Παρανεστίου. Υποστηρίχθηκε έτσι η θεωρία ότι αυτά σχηματίστηκαν σε μια ζώνη υψηλής θερμοκρασίας και μέσης πίεσης σε ένα μεταμορφικό επεισόδιο στο Καινοζωικό, που είχε σαν αποτέλεσμα την σύγκρουση των ασβεστόλιθων με τους εκλογιτικούς αμφιβολίτες, παράλληλα στη ζώνη συρραφής του Νέστου. Τα κορούνδια που φιλοξενούνται μέσα σε πλουμασίτες στη Νάξο και εκείνα που βρίσκονται σε μεταβωξίτες στην Ικαρία, θεωρήθηκαν ως μετασωματικά και μεταμορφικά αντίστοιχα.

Πρόσφατα, οι Wang et al. (2017) συνέταξαν πολύ αναλυτικές γεωχημικές, ορυκτολογικές και πετρογραφικές μελέτες για τα ρουμπίνια από το Παρανέστι της Δράμας για τον εντοπισμό της προέλευσής τους, αλλά και της σύγκρισής τους με άλλες εμφανίσεις κορουνδίων σε

αντίστοιχα μαφικά/υπερμαφικά περιβάλλοντα, ειδικότερα με αυτό της Winza της Τανζανίας. Εκτός από τις παραπάνω τοποθεσίες κορούνδια έχουν εντοπιστεί και στις Κορυφές, όπου υπάρχει ένα επιθερμικό-πορφυριτικό σύστημα που φιλοξενείται σε Τριτογενή γρανιτοειδή πετρώματα στην περιοχή των Κασσιτερών, στα νότια της Μάζας Ροδόπης. Τα κορούνδια που συναντιούνται σε υδροθερμικά ρευστά, σχηματίζονται σε ένα μεταβατικό περιβάλλον μεταξύ σερικιτικής και ποτασσικής εξαλλοίωσης χαλαζιούχων και αστριούχων πορφύρων και σχηματίζουν συσσωματώματα κρυστάλλων μπλε χρώματος και 3 χιλιοστών μήκος. Επίσης προτάθηκε από τους Voudouris et al. (2019b) ότι τα κορούνδια σε εκείνη την περιοχή σχηματίστηκαν ως αποτέλεσμα της ταχείας ψύξης των ανερχόμενων μαγματικών-υδροθερμικών διαλυμάτων υπό πιέσεις μεταξύ 0,6 και 0,3 kb. Ωστόσο, λόγω του μικρού μεγέθους κόκκων, αποτρέπει αυτή την εμφάνιση κορουνδίων να εκμεταλλευτεί καθώς δεν θεωρείται και ποιότητας πολύτιμου λίθου.

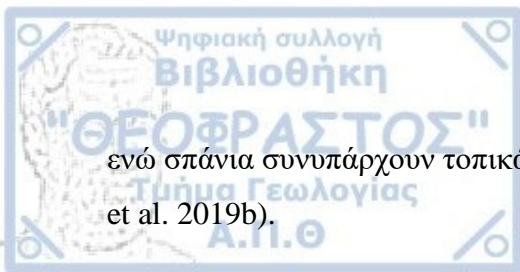
3.2.2 Εμφάνσεις κορουνδίου στην Ελλάδα

3.2.2.1 Ξάνθη

Η εμφάνιση κορουνδίου στην περιοχή Γοργόνα-Στήριγμα της Ξάνθης είναι στρωματοειδής και παρουσιάζεται ενδιάμεσα σε στρώσεις μαρμάρων, που βρίσκονται σε εναλλαγή με εκλογιτικούς αμφιβολίτες και γενέσιους με συνολικό πάχος έως τα 50μ. Τα κορούνδια (Σχ. 3.4) εμφανίζονται μαζί με ασβεστίτη, δολομίτη, σπινέλιο, πυροφυλλίτη, μοσχοβίτη, παραγωνίτη, αμφιβόλους, μαργαρίτη, χλωρίτη, ολιβίνη, σερπεντίνη, φλογοπίτη, ρουτίλιο, τιτανίτη, ανορθίτη, γρανάτη και τουρμαλίνη πλούσιο σε Ni. Τα ζαφείρια είναι ροζ, πορτοκαλί, μωβ έως μπλε χρώματος, συνήθως σε πινακοειδές ή βαρελοειδές σχήμα και έχει μέγεθος έως 4εκ. Τέλος έχουν εντοπιστεί και ρουμπίνια στην περιοχή κυρίως σε ζοϊσίτες, που φιλοξενούνται μέσα σε αμφιβολίτες (Voudouris et al. 2019b).

3.2.2.2 Παρανέστι

Τα κορούνδια στο Παρανέστι είναι στρωματομόρφα, προσανατολισμένα παράλληλα με την κύρια φολίδωση των πετρωμάτων της περιοχής, και διανέμονται κυρίως μέσα σε φακούς αμφιβολιτικών σχιστολίθων. Το μέγεθος των κρυστάλλων κυμαίνεται από <1mm έως 50 mm, ενώ το μέσο μέγεθος είναι 5-10mm και είναι ανοιχτού ροζ έως βαθύ κόκκινου χρώματος. Οι κρύσταλλοι είναι κυρίως σε πινακοειδές σχήμα, προσανατολισμένοι παράλληλοι με την κύρια φολίδωση και λιγότερο συχνά είναι πρισματικοί και βαρελοειδείς. Τα κορούνδια εμφανίζονται μαζί με παρασσίτη, που είναι ο κύριος αμφίβολος και εξωτερικά περιβάλλονται από ζοϊσίτη,



ενώ σπάνια συνυπάρχουν τοπικά με κυανίτη συνήθως πρισματικό και βαρελοειδή (Voudouris et al. 2019b).

3.2.2.3 Νάξος

Τα κορούνδια που μελετήθηκαν από τη Νάξο εμφανίζονται σε δύο περιοχές, που αντιπροσωπεύουν διαφορετικά γεωλογικά περιβάλλοντα. Η πρώτη βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα του νησιού και περίπου 2 χλμ ανατολικά και νοτιοανατολικά του χωριού Κινίδαρος, όπου μελετήθηκαν 2 πλουμασίτες, δηλαδή πηγματίτες χωρίς Si, που έχουν κορούνδια. Αυτοί περιβάλλονται από μια ζώνη φλογόπιτη και χλωρίτη πλάτους έως 20 εκατοστών, το λεγόμενο blackwall. Μέσα στους πλουμασίτες έχουμε άχρωμα έως μπλε, μωβ και ροζ κορούνδια που μπορεί να εμφανιστούν, είτε ως απομονωμένοι κρύσταλλοι μέσα σε πλαγιόκλαστα, είτε μαζί με τουρμαλίνη και φλογοπίτη. Επίσης τα μωβ και τα ροζ ζαφείρια έχουν βρεθεί εντελώς κλεισμένα μέσα σε φλογοπίτη στα blackwalls. Τα ζαφείρια έχουν βαρελοειδές σχήμα, εμφανίζουν μακροσκοπική ζώνωση από άχρωμο πυρήνα σε μπλε εξωτερικό στρώμα, ή και από ροζ πυρήνα σε μωβ εξωτερικό στρώμα, ενώ γενικά φτάνουν σε μεγέθη έως 3εκ. (Voudouris et al. 2019b).

Η δεύτερη περιοχή εντοπίζεται στο νότιο τμήμα του νησιού, κοντά στον λόφο Καβαλάρης, όπου εκεί το κορούνδιο συναντάται σε ένα πέτρωμα που ονομάζεται «κορουνδίτης», σύμφωνα με τους Feenstra και Wunder et al., ο οποίος σχηματίστηκε από την αποσύνθεση προ υπαρχόντων διασποριτών σε μετα-καρστικούς βωξίτες, κατά τη διάρκεια μιας πρόδρομης περιοχικής μεταμόρφωσης. Τους κρυστάλλους κορουνδίου θα τους συναντήσουμε κυρίως στην επαφή μεταξύ μαρμάρων και μεταβωξιτών που υπάρχουν στην περιοχή και θα είναι συμπαγείς, όχι καλοσχηματισμένοι και μπλε χρώματος (Voudouris et al. 2019b).

3.2.2.4 Ικαρία

Οι Plioroulos and Katagas (2004) ανέφεραν την παρουσία κορουνδίου, σε φακούς μεταβωξίτη, που εμφανίζονται μέσα σε δολομιτικά και ασβεστολιθικά μάρμαρά, τα οποία είναι υπερκείμενα των γενεσίων στην Ενότητα Ικαρίας, στο βουνό Αθέρας. Σε αυτήν την περιοχή εντοπίστηκαν τέσσερα κύρια στρώματα μεταβωξιτών, πλάτους έως 1μ. Ωστόσο, οι μεγακρύσταλλοι κορουνδίου που περιγράφονται από τους Voudouris et. al. αντιπροσωπεύουν μια δεύτερη, μεταγενέστερη κρυστάλλωση, που γέμισε τους κενούς χώρους στις εκτατικές διακλάσεις του μαργαρίτη. Τα κορούνδια έχουν βαθύ μπλε χρώμα, με πλακοειδές σχήμα έως

ιδίομορφο, φτάνοντας σε μέγεθος τα 4εκ. και συνοδεύονται από σιδηρούχο χλωρίτη, αιματίτη, ρουτίλιο και διάσπορο (Voudouris et al. 2019b).



Σχ. 3.4. Ρουμπίνια και ζαφείρια από την Ελλάδα (Voudouris et al. 2019b).

3.2.3 Ορυκτολογία και Ορυκτοχημεία

Τα ρουμπίνια στο Παρανέστι της Δράμας είναι συνήθως διαφανή με χαμηλή φωταύγεια, καλή διαύγεια και με διδυμίες. Συναντώνται με κεροσίλβη και τρεμολίτη, ενώ περιτριγυρίζονται από μαργαρίτη, μοσχοβίτη, χλωρίτη και χρωμιούχο σπινέλλιο, με τον σπινέλλιο μάλιστα να είναι και το κύριο ορυκτό που εγκλείεται στα ρουμπίνια. Οι ξενόλιθοι στο Παρανέστι είναι ένα μείγμα ορυκτών που αποτελείται από παρασσίτη, ανορθίτη, κλινοξοισίτη, χλωρίτη και μοναζίτη. Τα κορούνδια από την Ξάνθη είναι διαφανή, με πολύ σαφή αποχωρισμό και εμφανίζουν κατακλαστική υφή, ενώ συχνά συναντάται και πολυσύνθετη δυδιμία. Μπορεί να απομονωμένα μέσα σε ανθρακικό μάρτιξ ή να περιβάλλονται εξωτερικά από αμεσίτη, που είναι ένα πλούσιο σε Al ορυκτό της ομάδας του σερπεντίνη, μαργαρίτη, τιτανίτη ή από καφετί και πρασινωπό σπινέλλιο. Τα μπλε ζαφείρια εμφανίζουν ζώνωση και εμφανίζονται με βαθύ μπλε χρώμα έως άχρωμα, ενώ αυτή η ακανόνιστη κατανομή του χρώματος οφείλεται στις διαφορετικές περιεκτικότητες Fe και Ti στο πλέγμα των

κρυστάλλων τους. Υπάρχει και καφετί τουρμαλίνης πλούσιος σε Ni, που συνοδεύει το κορούνδιο στην παραγένεση και περιέχει έως 4,4% κ.β NiO, πολύ υψηλότερο από το περιεχόμενο Ni που βρέθηκε ότι υπάρχει στον τουρμαλίνη της Σάμου κατά Henry and Dutrow (2001).

Τα ζαφείρια από τη Νάξο παρουσιάζουν ισχυρό πλεοχροϊσμό με το χρώμα τους να κυμαίνεται από σκούρο μπλε έως άχρωμο και είναι διαφανείς, με μικρότερα ή μεγαλύτερα εσωτερικά σπασίματα. Οι εξαγωνικοί κρύσταλλοι κορουνδίου, βαρελοειδούς σχήματος, εμφανίζουν ζώνωση μπλε χρώματος, με το μπλε χρώμα να παρατηρείται είτε στο εσωτερικό του κρυστάλλου ως πυρήνας που περιβάλλεται από ένα λευκό εξωτερικό κάλυμμα, είτε έχουμε το εξωτερικό κάλυμμα να είναι μπλε χρώματος με έναν άχρωμο πυρήνα. Όπως στα κορούνδια της Ξάνθης και εδώ συναντάμε την πολυσύνθετη διδυμία, ενώ στην παραγένεση συμμετέχουν ανορθίτης, φλογοπίτης, ζιρκόνιο, μαργαρίτης, μοσχοβίτης, τουρμαλίνης και χλωρίτης. Τα μπλε ζαφείρια συγκεκριμένα, θα τα βρούμε μαζί με μαργαρίτη, διάσπορο, φλογοπίτη, ζιρκόνιο και χλωρίτη, όμως μετά από μελέτες θεωρήθηκε ότι ο μαργαρίτης, το διάσπορο και ο χλωρίτης είναι πρόδρομα ορυκτά, δηλαδή σχηματίστηκαν πριν την κρυστάλλωση του κορουνδίου. Τέλος, στην Ικαρία τα μπλε ζαφείρια βρίσκονται μέσα σε μεταβωξίτες και συνοδεύονται από ένα μείγμα μαργαρίτη, χλωρίτη, αιματίτη / ιλμενίτη και ρουτίλιο. Οι κρύσταλλοι είναι διαφανείς με σκούρο μπλε χρώμα, αλλά έχουν αρκετά άχρωμα σημεία να εμφανίζονται σε όλη την επιφάνειά τους. Η παραγένεση περιλαμβάνει επιπρόσθετα ιλμενίτη, αιματίτη, ουλβίτη, που είναι σπινέλλιος πλούσιος σε Ti, ρουτίλιο και ζιρκόνιο (Voudouris et al. 2019b).

3.2.4 Συζήτηση και συμπεράσματα

Τα κορούνδια από το Παρανέστι της Δράμας και αυτά της Ξάνθης θεωρούνται μεταμορφικά και εντοπίζονται σε μαφικά, υπερμαφικά πετρώματα και σε μάρμαρα, ενώ αυτά που συναντάμε στην κεντρική Νάξο θεωρούνται μετασωματικά και σχετίζονται με πηγματίτες δίχως Si, που τέμνουν εγκάρσια υπερμαφικά πετρώματα. Τα μπλε ζαφείρια από τη νότια Νάξο και την Ικαρία, που φιλοξενούνται σε μεταβωξίτες, είναι και αυτά μετασωματικά. Εκτός από τα αρκετά ορυκτά εγκλείσματα που εντοπίζονται στα κορούνδια, με το πιο συνηθισμένο να είναι ο σπινέλλιος όπως προαναφέραμε, παρατηρείται επίσης και μεγάλος αριθμός ρευστών εγκλεισμάτων. Η μελέτη αυτών δείχνει παρουσία ρευστών πλούσιων σε CO₂, με μικρά ποσοστά CH₄ ή N₂, με απουσία νερού και με μικρές πυκνότητες, όπως 0.46 και 0.67g/cm³, που πιθανόν παγιδεύτηκαν μετά την κορύφωση της μεταμόρφωσης. Τα πλούσια σε CO₂ ρευστά

είναι πιθανότατα μεταμορφικής προέλευσης και προέρχονται από την πυρόλυση των ανθρακικών σχηματισμών (Voudouris et al. 2019b).

Άλλες δύο μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα των κορουνδίων, ήταν η φασματοσκοπία υπέρυθρου (FTIR) που έδειξε την παρουσία μπαιμίτη και διάσπορου και η φασματοσκοπία υπεριώδους-ορατού- κοντινού υπέρυθρου (UV-Vis-NIR) που έδειξε την παρουσία Cr^{3+} στα φάσματα των κόκκινων έως ροζ κορουνδίων, αλλά και την παρουσία Fe^{2+} - Ti^{4+} στα φάσματα των μπλε κορουνδίων. Εκτός από μια θέση που εντοπίζονται μπλε ζαφείρια στη Νάξο, που έχουν χαρακτηριστικά μετασωματικού χαρακτήρα, όλα τα υπόλοιπα δείγματα είναι μεταμορφικής προέλευσης. Επιπρόσθετα, οι υψηλότερες συγκεντρώσεις Cr_2O_3 εντοπίστηκαν στις χημικές αναλύσεις των ρουμπινιών της Δράμας, ενώ οι χαμηλότερες στα ροζ ζαφείρια της Ξάνθης, με τα μπλε ζαφείρια της Νάξου να έχουν τις υψηλότερες συγκεντρώσεις Fe_2O_3 και TiO_2 . Τα Be, Nb, Sn, Ta και W, που βρίσκονται στο πλέγμα των ζαφειριών της Νάξου, τα οποία εντοπίζονται μέσα στους πλουμασίτες, εμφανίζουν θετική ανωμαλία στις χημικές αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν. Τέλος, τα Ελληνικά κορούνδια χαρακτηρίζονται από μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, ομοιογένεια αυτών και διαφάνεια, επομένως θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως δυνητικοί πολύτιμοι λίθοι (Voudouris et al. 2019b).

3.3 Βήρυλλος (Beryl)

Το ορυκτό βήρυλλος είναι ένα πυριτικό ορυκτό του στοιχείου βηρύλλιο (Be) με χημικό τύπο: $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$. Κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα και έχει συνήθως πρισματική μορφή. Συχνά παρατηρούμε γραμμώσεις ή ραβδώσεις κατά μήκος των πρισματικών εδρών, ενώ βρίσκεται επίσης και σε συμπαγή συσσωματώματα. Η βήρυλλος ξεχωρίζει από τα άλλα ορυκτά από τους εξαγωνικούς πρισματικούς κρυστάλλους, τη σκληρότητα, το χρώμα και το ειδικό βάρος. Έχει σκληρότητα 7,5-8 στην κλίμακα Mohs, ενώ η πυκνότητα της είναι 2,65-2,80 g/cm^3 και έχει συνήθως υαλώδη λάμψη. Ο δείκτης διάθλασης κυμαίνεται από 1,58 έως 1,59 ανάλογα με τη χημική σύσταση, που εκτός από τα στοιχεία που έχει στο χημικό της τύπο όπως τα Be, Al, Si, O, μπορεί να συμμετέχουν σε μικρές περιεκτικότητες και Na, K, Li, Fe, Mg, Ca, Cr. Το χαρακτηριστικό χρώμα της βηρύλλου είναι γαλαζοπράσινο ή ανοιχτό κίτρινο καθώς επίσης μπορεί να έχει χρώμα λευκό, τεφρόλευκο, κιτρινόλευκο. Οι ευγενείς ποικιλίες της βηρύλλου είναι διαυγείς και έχουν χαρακτηριστικά χρώματα, όπως σμαραγδοπράσινο το σμαράγδι, χρυσοκίτρινο το ηλιόδωρο, ρόδινο ο μοργκανίτης και γαλάζιο η ακουαμαρίνα (Σχ. 3.5). Εξαιρετικά σπάνια είναι η κόκκινη ποικιλία που ονομάζεται βυξβυίτης.

Στους ελληνικούς πηγματίτες δεν συναντάμε κρυστάλλους ορυκτών στα μιαιολιθικά έγκοιλα όπως συνηθίζεται, παρά μόνο στην μάζα των πετρωμάτων. Οι μπλε κρύσταλλοι της βήρυλλου, η ακουμαρίνα, η οποία είναι και η μοναδική βήρυλλος που εντοπίζουμε στην Ελλάδα, έχουν μήκος έως 5εκ. και συναντάται συχνά στους πηγματίτες της Νάξου, τόσο όταν αυτοί τέμνουν εγκάρσια τα τριγύρω μεταμορφικά πετρώματα, όσο και μέσα στους μιγματιτικούς θόλους (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.5. Μπλε βήρυλλος (ακουμαρίνα) από την περιοχή του Κινίδαρου στη Νάξο (Voudouris et al. 2019a).

3.4 Άστριοι (Feldspars)

Οι άστριοι είναι από τα πιο άφθονα και συνηθισμένα πετρογενετικά ορυκτά στο φλοιό της Γης σε ποσοστό πάνω από 50%. Συναντώνται σε όλες τις κατηγορίες πετρωμάτων και αποτελούν βασικό παράγοντα για την ταξινόμηση κυρίως των πυριγενών πετρωμάτων. Οι κρύσταλλοι τους είναι συνήθως βραχυπρισματικοί και συχνά σχηματίζουν χαρακτηριστικές διδυμίες. Παρουσιάζουν σχισμό και το χρώμα τους ποικίλει από άχρωμο έως λευκό, τεφρό, ρόδινο, ανοιχτό καστανό ή ανοιχτό πράσινο. Η λάμψη είναι υαλώδης και στις επιφάνειες σχισμού μαργαριταρώδης, ενώ έχουν σκληρότητα περίπου 6 στην κλίμακα Mohs και το ειδικό τους βάρος κυμαίνεται από 2,55-2,76 g/cm³. Οι άστριοι χωρίζονται ανάλογα με τη χημική τους σύσταση σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τους καλιούχους αστρίους (KAlSi₃O₈) και τα πλαγιόκλαστα (NaAlSi₃O₈-CaAl₂Si₂O₈).

Στην Ελλάδα, ενώ έχουμε αφθονία στους Καλιούχους αστρίους, ποιότητας πολύτιμου λίθου θα συναντήσουμε μόνο Αλβίτη που ανήκει στα πλαγιόκλαστα. Εμφανίζεται ως ιδιόμορφος διαφανής κρύσταλλος, μεγέθους έως 6 εκατοστών, που αναπτύσσονται πάνω σε καπνία χαλαζία και διαφανείς κρυστάλλους χαλαζία από την Εύβοια και την Κρήτη (Σχ. 3.6).

Επίσης βρίσκουμε και αδουλάριο, ένα ορυκτό που ανήκει στην ομάδα των αλκαλιούχων αστρίων, κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα και μοιάζει με το ορθόκλαστο. Κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα και αποτελείται από καλά αναπτυγμένους κρυστάλλους μεγέθους έως 3εκ, οι οποίοι καταλαμβάνουν διακλάσεις αλπικού τύπου μαζί με χαλαζία και τους εντοπίζουμε σε Εύβοια και Θάσο (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.6. Κρύσταλλοι αλβίτη από το χωριό Κριεζιά της Εύβοιας (Voudouris et al. 2019a).

3.5 Ιαδεΐτης (*Jadeitite / Jade*)

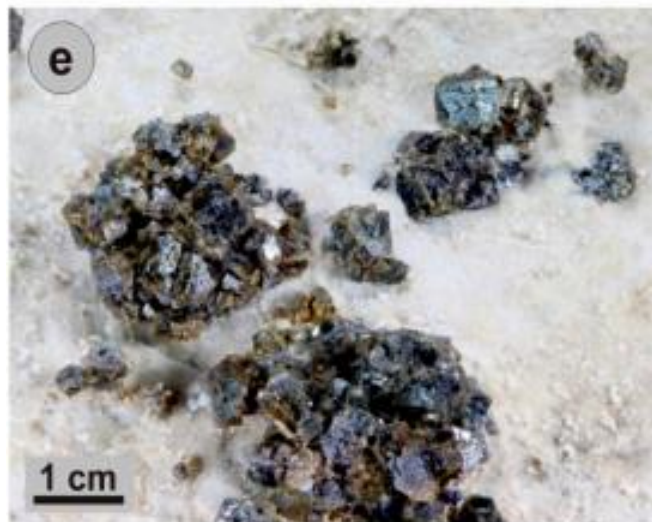
Ο ιαδεΐτης είναι μέλος της ομάδας των πυροξένων με χημικό τύπο $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ όμως μπορεί να περιέχει και ιχνοστοιχεία όπως Cr. Έχει ένα χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα, υαλώδη λάμψη και δείκτη διάθλασης 1,654-1,667. Είναι αρκετά σκληρό ορυκτό 6,5-7 στην κλίμακα Mohs, πολύ ανθεκτικό και με πυκνότητα που κυμαίνεται από 3,20-3,36 g/cm^3 . Ο ιαδεΐτης εντοπίζεται σε μεταμορφωμένα πετρώματα και βρίσκεται με τη μορφή φακών και φλεβών. Στην Ελλάδα εμφανίζεται μαζί με ομφακίτη στο Kampos mélange της Σύρου, όπου βρίσκεται σε επαφή με εκλογίτη (Σχ. 3.7). Μάλιστα στη Σύρο βρέθηκαν και τσεκούρια από ιαδεΐτη που χρονολογούνται από την Νεολιθική περίοδο (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.7. Ιαδεΐτης στο Kampos mélange της Σύρου (Voudouris et al. 2019a).

3.6 Σπινέλλιος (*Spinel*)

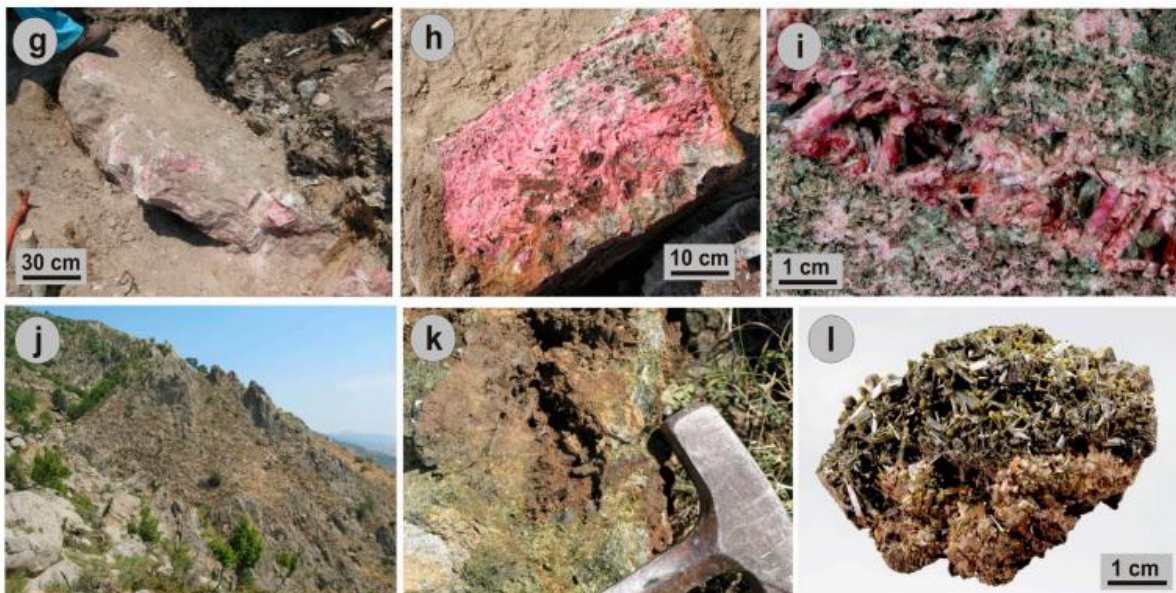
Η ονομασία σπινέλλιος δίνεται σε μια μεγάλη ομάδα οξειδίων με γενικό τύπο XY_2O_4 , στον οποίο X είναι ένα ή περισσότερα από τα δισθενή στοιχεία Mg, Fe, Zn, Mn, Ni και Y ένα ή περισσότερα από τα τρισθενή στοιχεία Al, Fe, Cr, Mn. Κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα και έχει συχνά οκταεδρική μορφή, ενώ σε αρκετές περιπτώσεις παρουσιάζει διδυμία. Η σκληρότητα του είναι 7,5 έως 8 στην κλίμακα Mohs, ενώ η λάμψη του είναι ναλώδης μέχρι αλαμπής. Το χρώμα του ποικίλλει και κυμαίνεται από μπλε, πράσινο έως καφέ, κάτι που εξαρτάται από το ποια στοιχεία βρίσκονται στη χημική του σύσταση, όπως για παράδειγμα ο μπλε σπινέλλιος χρωματίζεται από Fe ή μερικές φορές από Zn ή Co, ενώ ο πράσινος οφείλει το χρώμα του στο Cr. Είναι σχετικά εύθραυστος, έχει κογχώδη θραυσμό και γενικά αποτελεί ένα πολύ ανθεκτικό ορυκτό με πυκνότητα $3,6 \text{ g/cm}^3$. Στην Ελλάδα θα τον εντοπίσουμε στη Γοργόνα της Ξάνθης, είτε ως απομονωμένο κρύσταλλο, είτε περιμετρικά γύρω από κορούνδιο (Σχ. 3.8). Επιπρόσθετα στη Μαρώνια θα βρούμε διαφανή οκταεδρικό σπινέλλιο, μπλε χρώματος σε μέγεθος έως 1εκ, μαζί με φλογοπίτη και γροσσουλάριο.



Σχ. 3.8 Κρύσταλλοι σπινέλλιου μέσα σε μάρμαρο από την περιοχή της Γοργόνας στη Ξάνθη (Voudouris et al. 2019a).

3.7 Ζοϊσίτης (Zoisite)

Ανήκει στην ομάδα του επιδότου και είναι ένα σωροπυριτικό ορυκτό που κρυσταλλώνεται στο ρομβικό σύστημα. Έχει χημικό τύπο $\text{Ca}_2\text{Al}_3(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)\text{O}(\text{OH})$, είναι συνήθως πρισματικό και συναντάται σε πηγματίτες και μεταμορφικά πετρώματα. Παρουσιάζει υαλώδη λάμψη, κογχοειδή έως ανώμαλο αποχωρισμό, ενώ συναντάται σε μια πληθώρα χρωμάτων όπως βιολετί, πράσινο, καφετί, ροζ, κίτρινο, τεφρό έως και άχρωμο. Χαρακτηριστικός και εξαιρετικά σπάνιος είναι ο μπλε κρύσταλλος που λέγεται τανζανίτης που δυστυχώς δεν συναντάται στην Ελλάδα. Εντοπίζουμε όμως ζοϊσίτη φτωχό σε Mn, τον λεγόμενο θουλίτη, και κλινοζοϊσίτη φτωχό σε Mn, μέσα σε ασβεστοπυριτικά στρώματα στο Τρίκορφο της Θάσου, που συμφύονται μαζί με Mn-γροσσουλάριο και χαλαζία (Σχ. 3.9). Σχηματίζουν υπιδιόμορφους και ιδιόμορφους κρυστάλλους, ανοιχτού ροζ έως κόκκινου χρώματος, με μήκος έως 10 εκ. Μετά από χημικές αναλύσεις που έγιναν, το Fe_2O_3 και το Mn_2O_3 βρίσκονται σε χαμηλές περιεκτικότητες, αλλά αρκετές όμως για να δώσουν το ροζ-κόκκινο χρώμα. (Voudouris et al. 2016). Επιπρόσθετα, κρύσταλλοι επιδότου ποιότητας πολύτιμου λίθου, έντονου πράσινου χρώματος και μήκους έως 10εκ, εντοπίζονται στη Λευκόπετρα, κοντά στα Κιμμέρια της Ξάνθης. Υπάρχουν μαζί με χαλαζία και γρανάτες, εντοπισμένοι μέσα σε μετασωματικούς γρανοδιορίτες και σε σώματα έξωσκαρν που φιλοξενούνται σε γρανοδιορίτη (Voudouris et al. 2019a).

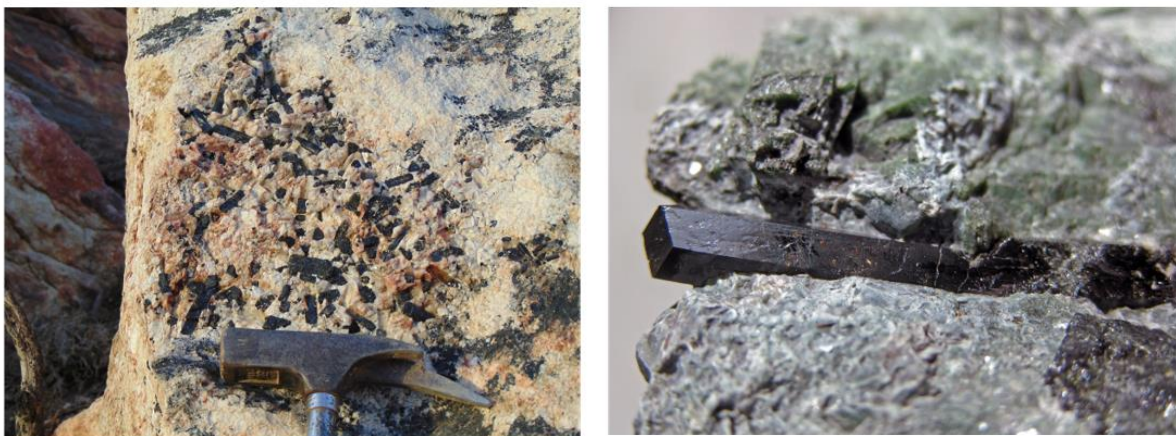


Σχ. 3.9. Κρύσταλλοι κλινοζοϊσίτη από την περιοχή του Τρίκορφου στη Θάσο (g-i) και κρύσταλλοι επιδότου από την Λευκόπετρα Ξάνθης (Voudouris et al. 2019a).

3.8 Τουρμαλίνης (Tourmaline)

Με την ονομασία τουρμαλίνης αναφερόμαστε σε μια ομάδα κυκλοπυριτικών ορυκτών, με γενικό χημικό τύπο $WX_3Y_6(BO_3)_3(Si_6O_{18})(OH,F)_4$ όπου $W=Ca, Na, K, X=Al, Fe, Li, Mg, Mn$ και $Y=Al, Cr, Fe, V$. Κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα, έχει υαλώδη έως ρητινώδη λάμψη, κογχώδη θραυσμό και σκληρότητα 7.0-7.5 στην κλίμακα Mohs. Έχει ειδικό βάρος $3.0 - 3.3 \text{ g/cm}^3$, ενώ το χρώμα του ποικίλει ανάλογα με τη σύσταση του. Ο πιο συνηθισμένος είναι ο σορλίτης που είναι μαύρος λόγω του Fe, ο δραβίτης που είναι καστανός λόγω του Mg, και ο ελβαίτης, ο λιθιούχος τουρμαλίνης, που είναι ανοικτόχρωμος με διάφορες αποχρώσεις όπως ο ρουβελίτης που είναι ρόδινος, ο βερντελίτης που εμφανίζεται πράσινος και ο ινδικόλιθος που είναι κυανός.

Ο τουρμαλίνης στην Ελλάδα είναι άφθονος σε φλέβες και φακούς χαλαζία στο Τρίκορφο και στη Θυμωνιά της Θάσου, στη μορφή του σορλίτη (schorl) που φτάνουν τα 10εκ, ωστόσο, αυτό το υλικό δεν είναι κατάλληλο για να θεωρηθεί πολύτιμος λίθος. Παρόμοιοι κρύσταλλοι εμφανίζονται σε πηγματίτες κοντά στο Νευροκόπι της Δράμας και στη Νάξο. Καφετί τουρμαλίνη πλούσιο σε Ni, που λέγεται αλλιώς και δραβίτης (dravite), μαζί με κορούνδιο, θα συναντήσουμε στα μάρμαρα της Γοργόνας της Ξάνθης (Σχ. 3.10), όπου περιέχει έως 4,4 wt. % NiO, πολύ υψηλότερο από τη περιεκτικότητα του Ni που αναφέρεται στην τουρμαλίνη της Σάμου. Οι κρύσταλλοι είναι γενικά μικροί, έως 1εκ, αλλά είναι τοπικά διαφανείς και ποιότητας πολύτιμου λίθου (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.10 Αριστερά, κρύσταλλοι σορλίτη σε πηγματίτη από το Μαυροβούνι της Νάξου (© Tsolakos Alkiviadis 2016) και δεξιά, κρύσταλλος δραβίτη από την Σύρο (© S. Staude 2014).

3.9 Βεζουβιανίτης (*Vesuvianite*)

Ο βεζουβιανίτης είναι ένα σωροπυριτικό ορυκτό, που κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα, με πολύπλοκο χημικό τύπο που συμμετέχουν σε αυτόν Ca, Al, Mg, Si, B. Έχει σκληρότητα 6-7 στην κλίμακα Mohs, κογχώδη έως ακανόνιστο θραυσμό και υαλώδη, ρητινώδη λάμψη. Το ειδικό του βάρος είναι 3.32-3.43 gr/cm^3 , έχει συνήθως πρισματικούς κρυστάλλους και εμφανίζεται σε μια πληθώρα χρωμάτων όπως κιτρινοπράσινο, λευκό έως άχρωμο, ιώδες, γαλαζοπράσινο, ερυθρό κτλ. Τα ενδοσκάρν από τα Κιμμέρια και τη Μαρόνεια φιλοξενούν μεγάλους κρυστάλλους βεζουβιανίτη μήκους έως και 10εκ (Σχ. 3.11), που είναι ανοιχοπράσινοι σε χρώμα και σε αρκετά σημεία εμφανίζονται με πολλές έδρες οι κρύσταλλοι. Επίσης συναντάμε βιολετί βεζουβιανίτη, με μήκος έως 1εκ, σε ροδιτιωμένους γάββρους στη Κύμη της Εύβοιας (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.11. Σύμπλεγμα κρυστάλλων βεζουβιανίτη από το σκαρν της Μαρόνειας (Voudouris et al. 2019a).

3.10 Τιτανίτης (*Titanite*)

Ο τιτανίτης είναι ένα νησοπυριτικό ορυκτό που κρυσταλλώνεται στο μονοκλινές σύστημα, έχει χημικό τύπο $\text{CaTi}(\text{SiO}_4)\text{O}$, συχνά όμως περιέχει σε μικρές ποσότητες και Al, Fe^{3+} , F. Η σκληρότητα του είναι 5.0-5.5 στην κλίμακα Mohs, έχει κογχώδη θραυσμό, αδαμαντώδη έως ρητινώδη λάμψη και ειδικό βάρος 3.48-3.6 gr/cm^3 . Οι κρύσταλλοι του είναι καλοσχηματισμένοι με το χαρακτηριστικό σφηγοειδές σχήμα, ενώ το χρώμα τους μπορεί να είναι καφετί, πρασινωπό, κίτρινο, πορτοκαλί, ερυθρό, μπεζ, τεφρό, ανοιχτό γαλάζιο. Τιτανίτη θα συναντήσουμε σε μεγάλους κρυστάλλους κίτρινου χρώματος, έως 3εκ, να συνοδεύει ασβεστοπυριτικά στρώματα πλούσια σε ζοϊσίτη, τα οποία βρίσκονται μέσα στους αμφιβολίτες

της Μάζας Ροδόπης, στο Θεραπιά του Έβρου (Kassoli-Fournaraki et al. 1995). Θα τον εντοπίσουμε επίσης στη Σύρο, σε πράσινους κρυστάλλους, που βρίσκονται μέσα σε εκλογίτες, οι οποίοι φτάνουν σε μήκος έως και τα 5εκ. Ακόμα, κιτρινοπράσινος τιτανίτης συνοδεύεται από αδουλάριο και φιλοξενούνται σε αμφιβολιτικές σχισμές στην Θάσο (Σχ. 3.12). Τέλος, στο ένδοσκαρν της Μαρώνειας, δηλαδή σε ένα σκαρν που έχει ως πρωτόλιθο πυριγενές υλικό, θα βρούμε κρυστάλλους τιτανίτη με μελί χρώμα έως 1εκ, οι οποίοι θα συνοδεύονται από ορθόκλαστο και schorlomite που ανήκει σε υποομάδα των γρανατών. (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.12. Κρύσταλλοι τιτανίτη μαζί με χαλαζία από το Τρίκορφο της Θάσου (Voudouris et al. 2019a).

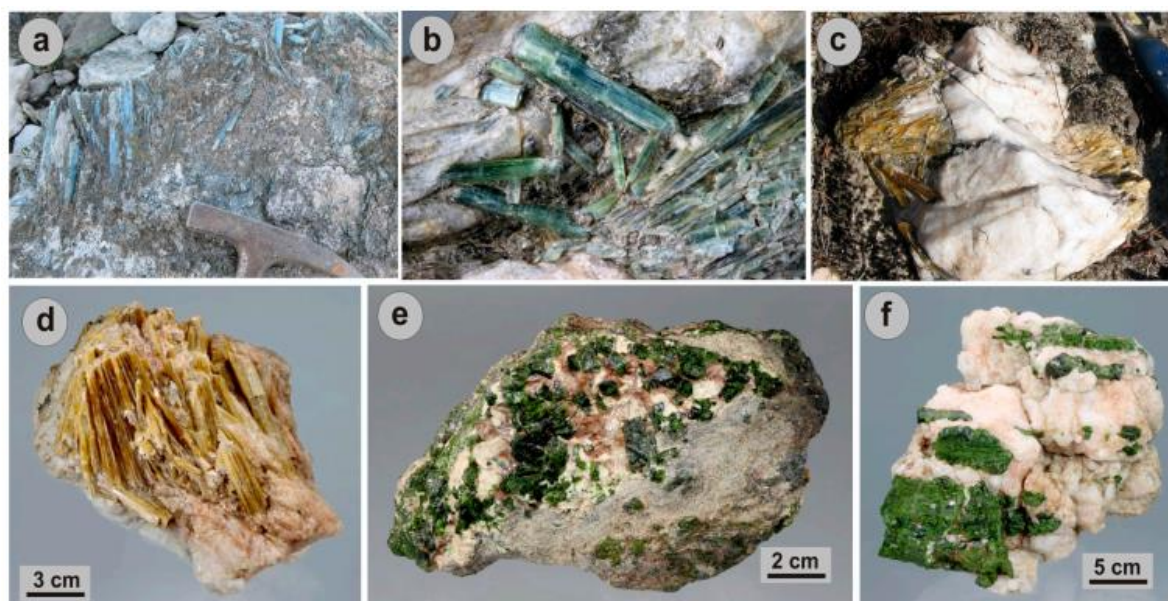
3.11 Κυανίτης και πολύμορφα του Al_2SiO_5 (Kyanite and Al_2SiO_5 Polymorphs)

Ο κυανίτης είναι ένα νησοπυριτικό ορυκτό που κρυσταλλώνεται στο τρικλινές σύστημα, έχει χημικό τύπο Al_2SiO_5 και υαλώδη, μαργαριταρώδη υφή. Το χαρακτηριστικό του είναι ότι έχει 2 διαφορετικές σκληρότητες, καθώς έχει 5 παράλληλα και 7 κάθετα στην επιμήκυνση του κρυστάλλου. Μιλώντας για τους κρυστάλλους αυτοί εμφανίζονται λεπιδώδεις, πλακώδεις, συχνά και επιμήκεις. Το χρώμα του είναι κυρίως κυανό με πιο σκούρες αποχρώσεις στο κέντρο του κρυστάλλου, ενώ ακόμα μπορεί να είναι λευκό, τεφρό ή και κίτρινο. Ο κυανίτης αλλοιώνεται προς σερικήτη και καολινίτη, ενώ επιπρόσθετα μπορεί να μετατραπεί και στα άλλα δύο πολύμορφα του Al_2SiO_5 τον ανδαλουσίτη και τον σιλλιμανίτη με αλλαγή των συνθηκών P, T. Γενικότερα ο κυανίτης δείχνει ψηλή έως πολύ ψηλή πίεση, ενώ συνδέεται συχνά με γρανάτη, σταυρόλιθο και κορούνδιο, βρισκόμενος και σε εκλογίτες.

Στο Τρίκορφο της Θάσου βλέπουμε κρυστάλλους κυανίτη σε μπλε, πράσινο, κιτρινωπό έως πορτοκαλί χρώμα και μήκος μέχρι και 20εκ (Σχ. 3.13), να βρίσκονται σε boudins χαλαζία

ή και αστρίου, τα οποία παρεμβάλλονται μέσα σε μεταπηλίτες. Ο πορτοκαλί κυανίτης εμφανίζεται επίσης σε συνδυασμό με σπεςσαρτίνη και μοσχοβίτη. Κυανίτες ανοιχτού γαλάζιου χρώματος εμφανίζονται συνήθως με μια διακριτή σκούρα μπλε ζώνωση, κάτι που μπορεί να παρατηρηθεί και στην κίτρινη μορφή αυτών. Μικροαναλύσεις για τον πορτοκαλί κυανίτη δείχνουν περιεκτικότητα σε MnO έως 0,1% κ.β, στο οποίο οφείλεται και ο χρωματισμός του κρυστάλλου και έως 1,5% κ.β FeO. Άλλη μια τοποθεσία όπου μπορούμε να εντοπίσουμε κυανίτη είναι στη Νάξο στις Κυκλάδες, όπου σχηματίζει μπλε κρυστάλλους έως 10εκ μέσα σε φακούς χαλαζία και σε φλέβες (Voudouris et al. 2019a).

Το άλλο πολύμορφο, ο ανδαλουσίτης και συγκεκριμένα ο μαγγανιούχος, εμφανίζεται με ιδιόμορφους έως υπιδιόμορφους κρυστάλλους, σε σκούρο πράσινο χρώμα και μήκος έως 7εκ. και εντοπίζεται σε boudin χαλαζία ή και αστρίου στο Τρίκορφο της Θάσου. Τον συναντάμε επίσης και σε μαρμαρυγιακούς σχιστολίθους με πορτοκαλί κυανίτη ή και με μοσχοβίτη. Χημικές αναλύσεις με ακτίνες φθορισμού έδειξαν περιεχόμενα Mn₂O₃ έως 2,90% κ.β, ενώ η αντικατάσταση του Al³⁺ από το Mn³⁺ στον χημικό τύπο του ορυκτού είναι υπεύθυνο για το σκούρο πράσινο χρώμα (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.13. Ποικίλων χρωμάτων κυανίτες (a-d) και Mn-ανδαλουσίτης (e-f) από το Τρίκορφο της Θάσου (Voudouris et al. 2019a).

3.12 Γρανάτης (Garnet)

Οι γρανάτες αποτελούν μία ομάδα νησοπυριτικών ορυκτών με γενικό χημικό τύπο $M_3N_2(SiO_4)_3$, όπου $M=Ca, Fe^{2+}, Mn, Mg$ και $N=Al, Fe^{3+}, Cr$. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες

υποομάδες τους πυραλσπίτες που ανήκουν σε αυτούς το πυρωπό, ο αλμανδίνης και ο σπεςσαρτίνης και τους ουγρανδίτες που αποτελούνται από τον ουβαροβίτη, τον γροσσουλάριο και τον ανδραδίτη. Κρυσταλλώνονται στο κυβικό σύστημα και έχουν χαρακτηριστική ρομβοδωδεκαεδρική, εικοσιτετραεδρική ή συνδυασμό των δύο μορφή, με διακριτούς κρυστάλλους που το μέγεθός τους μπορεί να φτάνει και τα 10εκ. Επίσης έχουν σκληρότητα 6,5-7,5 στην κλίμακα Mohs, ρητινώδη και σπανιότερα υαλώδη λάμψη, ενώ η πυκνότητά τους κυμαίνεται από 3,5- 4,3 gr/cm^3 και εξαρτάται από τη χημική τους σύσταση. Το χρώμα του γρανάτη ποικίλλουν, αλλά τα συνηθέστερα είναι το σκούρο κόκκινο και το καστανό, με τους κρυστάλλους να εμφανίζουν πολλές φορές και μια χαρακτηριστική ζώνωση.

Οι γρανάτες συναντώνται σε πολλές θέσεις στην Ελληνική επικράτεια, μια εκ των οποίων είναι η περιοχή του Τρικόρφου, όπου εκεί θα δούμε σπεςσαρτίνη και Μn ανδαλουσίτη να κρυσταλλώνονται, είτε μέσα σε σχιστόλιθους μαζί με κυανίτη και ανδαλουσίτη, είτε μέσα σε ασβεστοπυριτικές ζώνες που περιέχουν θουλίτη (Voudouris et al. 2016). Ο σπεςσαρτίνης που βρίσκεται μέσα στους σχιστολίθους, σχηματίζει ημιδιαφανείς, πορτοκαλί χρώματος, ιδιόμορφους κρυστάλλους, έως 1εκ και ποιότητας πολύτιμου λίθου, ενώ μέσω χημικών αναλύσεων είδαμε ότι έχει ΜnO σε περιεκτικότητα που φτάνει το 42,9% κ.β. Από την άλλη, ο σπεςσαρτίνης που συναντάται στις ασβεστοπυριτικές στρώσεις, σχηματίζει ιδιόμορφους, κιτρινωπούς κρυστάλλους, ποιότητας πολύτιμου λίθου, με περιεκτικότητα στο ΜnO να κυμαίνεται από 1,9% - 2,4% κ.β. Άλλη μια τοποθεσία που εντοπίζουμε σπεςσαρτίνη με βαθυκόκκινους κρυστάλλους έως 3εκ, είναι στην Πάρο, στις Κυκλάδες, όπου η εμφάνιση αυτή είναι πλούσια σε Μn και βρίσκεται στα σκαρν στην περιοχή των Θάψανων. Η περιεκτικότητα του ΜnO εκεί αγγίζει το 33,4% κ.β και η εμφάνιση συνδέεται με ροδονίτη και οξείδια Μn. (Voudouris et al. 2019a).

Γρανάτες επίσης συναντάμε σε αρκετές ποικιλίες στα σκαρν της Μαρώνιας, της Κω, των Κιμμερίων, της Κρέστης και της Σερίφου (Σχ. 3.14). Το σκαρν της Μαρώνιας περιλαμβάνει σκούρο πράσινο χρώμα ανδραδίτη και γροσσουλάριο, πλούσιους σε Ti-Cr με κρυστάλλους έως 1 εκατοστό. Ανδραδίτες ανοιχτού πράσινου, καφέ έως πορτοκαλί χρώματος, φτάνουν σε μεγέθη έως 5εκ, ενώ επίσης οι καφέ ανδραδίτες και οι γροσσουλάριοι, που είναι πλούσιοι σε Ti, έχουν έως και 4,6% κ.β. TiO_2 . Αρκετά σημαντικά είναι κάποια διαφανή δείγματα με δωδεκαεδρικό σχήμα που είναι ποιότητας πολύτιμου λίθου. Τα Κιμμέρια είναι μια γνωστή περιοχή πλούσια σε μια πληθώρα ορυκτών και σίγουρα δεν θα μπορούσαν να λείπουν οι γρανάτες από εκεί, καθώς εμφανίζονται με σκούρο πράσινο, καφέ, κίτρινο έως πορτοκαλί χρώμα και σε μέγεθος έως 3εκ. Ο πορτοκαλί χρώματος γροσσουλάριος περιέχει έως 1,15% κ.β

MnO, ενώ εμφανίσεις ανδραδίτη και γροσσουλάριου με σκούρο πράσινο χρώμα, χαρακτηρίζονται από αυξημένα περιεχόμενα Ti έως και 2,86% κ.β! (Voudouris et al. 2019a).

Ανδραδίτες και γροσσουλάρια με κόκκινο-καφέ χρώμα και πλούσιοι σε Mn, υπάρχουν και στην περιοχή της Κρέστης στην Δράμα, με περιεκτικότητα έως 3,6% κ.β. MnO και στο νησί της Κω, με 1,1% κ.β. MnO και 1% κ.β. TiO₂, όπου φτάνουν έως και τα θεαματικά μεγέθη των 20 εκ. Οι ανδραδίτες από την Σέριφο είναι διάσημοι λόγω της ζωνώδης ανάπτυξής τους, με χρώματα που κυμαίνονται από βαθύ καφέ έως πορτοκαλί. Οι περιοχές της Αγίας Μαρίνας και του Αβεσσαλλού στο νησί, χαρακτηρίζονται από εξαιρετικές εμφανίσεις κόκκινου-καφέ γρανάτη, με μέγεθος έως 5εκ, όπου τοπικά μπορεί να είναι και διαφανής, ενώ βρίσκεται μέσα σε συμπαγή σκαρν που συνοδεύονται από χαλαζία και αιματίτη. Τέλος, ροδονιτωμένος γάββρος στον Έβρο, την Εύβοια, τη Λάρισα και οφιόλιθοι στον Όθρυ μεσοζωικής ηλικίας, φιλοξενούν πορτοκαλί έως καστανό γροσσουλάρια τον λεγόμενο εσονίτη, βεζουβιανίτη και κρυστάλλους διοψίδιου έως 2εκ, ποιότητας πολύτιμου λίθου (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.14. Κρύσταλλοι γρανατών από την Ελλάδα (Voudouris et al. 2019a).

3.13 Χαλκηδόνιος, Αγάτης, Τασπης (Chalcedony, Agate, Jasper)

Ο χαλκηδόνιος είναι οι συμπαγείς ποικιλίες SiO₂ που αποτελούνται από μικροσκοπικούς ινώδεις κρυστάλλους και δεν κρυσταλλώνονται σε κάποιο συγκεκριμένο σύστημα κρυστάλλωσης, άρα είναι άμορφος. Έχει κογχώδη θραυσμό, ειδικό βάρος 2,6 gr/cm³, ενώ εμφανίζεται αρκετά συχνά με τη μορφή βοτρυοειδών συσσωματωμάτων, αλλά και ως γεώδες.

Συνήθως ο χαλκηδόνιος έχει στεατώδη λάμψη και παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, από λευκό έως τεφρό πράσινο ή καστανό και ανάλογα με το χρώμα και τις ζώνες που δημιουργούνται κατά την απόθεσή του, έχουμε διάφορες ποικιλίες όπως ο αχάτης, το καρνεόλιο, το ηλιοτρόπιο, η ίασπις κ.ά (Σχ. 3.15). Ο αχάτης αποτελείται από διαδοχικά στρώματα χαλκηδόνιου που έχουν διαφορετικό χρώμα και πορώδες και είναι πολλές φορές πολύ λεπτά, παράλληλα, καμπύλα και σε μερικές περιπτώσεις συγκεντρικά, σχηματίζοντας θαυμάσιες πολύχρωμες ομόκεντρες ζώνες. Ο ίασπις είναι αδιαφανής, αλαμπής, κοκκώδης και έχει ένα χαρακτηριστικό κόκκινο, κοκκινοκαστανό χρώμα το οποίο οφείλεται σε λεπτομερή αιματίτη και γκαιτίτη. Υπάρχουν όμως και δείγματα με χρώμα τεφρό, λευκό, κίτρινο ή μαύρο που περιέχουν άργιλο, αλλά γενικά σπανίως το χρώμα να είναι ομοιόμορφο στον ίασπι.



Σχ. 3.15. Αχάτης (a-b) και χαλκηδόνιος από τον Έβρο (c) (Voudouris et al. 2019a).

Στην Ελλάδα ο μπλε αχάτης εμφανίζεται είτε σε φλέβες που τέμνουν εγκάρσια δακτυκικά μάγματα είτε ως χαλαρά θραύσματα στο Αετοχώρι του Έβρου, ενώ αχάτης με διάφορα χρώματα βρίσκεται επίσης σε ηφαιστειακά περιβάλλοντα στη Λευκίμμη του Έβρου και στη Λήμνο (Σχ. 3.16). Τον χαλκηδόνιο εκτός από τις προαναφερθείσες περιοχές, τον συναντάμε και στη Κορνοφωλιά του Έβρου, όπως και στον Πετσοφά της Λέσβου, όπου σχηματίζει τυπικά βοτρυοειδή και σταλακτιτικά συσσωματώματα έως 10εκ, που ποικίλλουν σε χρώμα, από ανοιχτό έως σκούρο μπλε και από ροζ έως μωβ. Την κόκκινη ίασπι θα την εντοπίσουμε στην περιοχή των Σαπών με τη μορφή οριζόντων πάχους έως 40 εκατοστών, που φιλοξενούνται σε πυροκλαστικά πετρώματα, που έχουν υποστεί αργλική εξαλλοίωση με σμεκτίτη (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.16. Μπλε χαλκηδόνιος από την Λέσβο (d) και ίασπις από τις Σάπες (e-f) (Voudouris et al. 2019a).

3.14 Οπάλιος (Oral)

Ο οπάλιος έχει χημικό τύπο $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, είναι και αυτός άμορφος, άρα δεν κρυσταλλώνεται σε κανένα κρυσταλλικό σύστημα. Βρίσκεται στη φύση σε ακανόνιστες μάζες, σε σφαιροειδής επιφλοιώσεις, σε βοτρυοειδή συσσωματώματα κ.ά. Έχει σκληρότητα 5,5-6,5 στην κλίμακα Mohs, που είναι μικρότερη από αυτή του χαλαζία καθώς έχει και μικρότερη πυκνότητα ($2-2,2 \text{ gr/cm}^3$), ενώ είναι ευαίσθητος στη θερμότητα, καθώς τότε χάνει το H_2O και μετατρέπεται σε χαλκηδόνιο. Παρουσιάζει μεγάλη ποικιλία χρωμάτων από λευκό έως τεφρό και σκούρο καστανό, με τις πιο σκούρες αποχρώσεις του να οφείλονται σε εγκλείσματα (Σχ. 3.17). Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του οπάλιου αποτελεί ο οπαλισμός, δηλαδή ο ιριδισμός και το παιχνιδίσμα των χρωμάτων ανάλογα με τη γωνία που πέφτει το φως. Το φαινόμενο του ιριδισμού οφείλεται στο γεγονός ότι το ορυκτό αυτό αποτελείται από μικροσκοπικά ομοιόμορφα σφαιρίδια πυριτίου τα οποία είναι διατεταγμένα σε κανονική τρισδιάστατη κυβική δομή. Τα σφαιρίδια αυτά λειτουργούν ως κέντρα διάχυσης του φωτός που πέφτει επάνω στον οπάλιο και έτσι δημιουργούνται τα ιριδίζοντα χρώματα. Όταν τα σφαιρίδια δεν είναι ομοιόμορφα σε μέγεθος, τότε δεν παρουσιάζεται το φαινόμενο του ιριδισμού, κάτι που είναι εξαιρετικά συνηθισμένο στους ελληνικούς οπάλιους (Voudouris et al. 2019a).



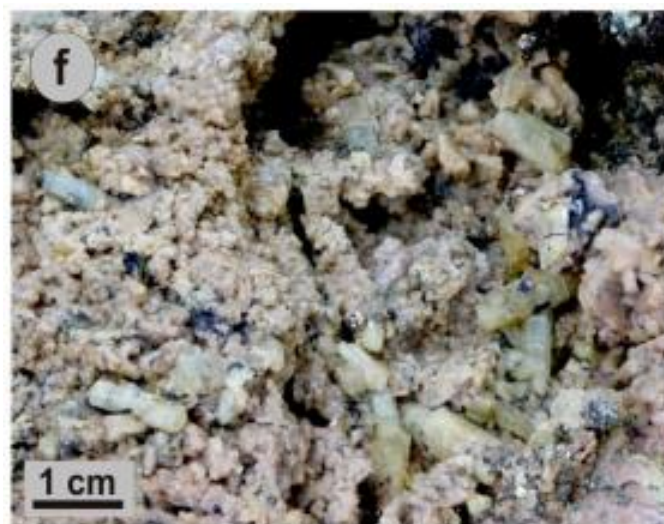
Σχ. 3.17. Οπαλιωμένο ξύλο από τον Μούδρο της Λήμνου (g-h) και κόκκινος οπάλιος από την Μήλο (i) (Voudouris et al. 2019a).

Εμφανίζονται σε διάφορες ποικιλίες και χρώματα όπως βαθύ κόκκινο, κίτρινο, μαύρο, πορτοκαλί και πράσινο στη Λέσβο και τη Λήμνο και συχνά αποτελούν συστατικό απολιθωμένων ξύλων. Σε διάφορες περιοχές στον Έβρο, τη Μήλο, τη Λήμνο και τη Λέσβο θεωρείται ότι ο οπάλιος υπάρχει σε αποθέσεις πυριτίου, είτε σε θερμικές ζώνες εξαλλοίωσης. Στην περιοχή Μούδρος στη Λήμνο θα συναντήσουμε οπαλιωμένα ξύλα τα οποία φιλοξενούνται μέσα σε πολλούς πυριτωμένους ορίζοντες με οπάλιους που βρίσκονται σε πυροκλαστικά πετρώματα. Αυτοί οι ορίζοντες αντιπροσωπεύουν είτε λεπτές στρώσεις από ποταμοχειμμάριες παρεμβολές, μεταξύ των πυροκλαστικών σχηματισμών και μετέπειτα εναπόθεση κατά τη διάρκεια διαβρωτικών περιόδων, που διήρκεσαν μεταξύ των φάσεων της

ηφαιστειακής δραστηριότητας, είτε αποθέσεις πυριτίου (Voudouris et al. 2007). Σε ορισμένα μέρη οι απολιθωματοφόροι ορίζοντες υπέρκεινται μια ζώνη αλουνιτικής εξαλλοίωσης και υδροθερμικών breccia πλούσιων σε νατριούχο αλλουνίτη. Σε άλλες περιπτώσεις οι ορίζοντες οπάλιου παρεμβάλλεται μεταξύ νεότερων και παλαιότερων πετρωμάτων αργιλικής εξαλλοίωσης. Η πυριτίωση εντός των οριζόντων ποικίλλει από κόκκινο, πράσινο, λευκό, έως μαύρο χρώμα, με το λευκό χρώμα να προκύπτει από πλήρη απουσία οξειδίων σιδήρου στο πέτρωμα (Voudouris et al. 2019a).

3.15 Απατίτης (Apatite)

Ο απατίτης είναι ένα φωσφορικό ορυκτό που κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό σύστημα και έχει χημικό τύπο $Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$. Παρουσιάζει υαλώδη, ρητινώδη και αλαμπή λάμψη, έχει κογχώδη θραυσμό, ειδικό βάρος 3,1-3,2 gr/cm^3 και εμφανίζεται με την χαρακτηριστική σκληρότητα 5 στην κλίμακα Mohs. Οι κρύσταλλοι του είναι διαφανείς- ημιδιαφανείς, κυρίως πρισματικοί, αλλά και πολλές φορές πλακώδεις, ενώ το χρώμα τους μπορεί να είναι από πράσινο έως κυανό, ιώδες, καστανό, λευκό, αλλά και άχρωμο. Στον Φακό της Λήμνου (Σχ. 3.18) θα συναντήσουμε διαφανή απατίτη στην ποτασική ζώνη εξαλλοίωσης, σε καλοσχηματισμένους κρυστάλλους μήκους έως 1εκ, να συνοδεύεται από φλογοπίτη και ορθόκλαστο (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.18. Κρύσταλλοι απατίτη από τον Φακό της Λήμνου (Voudouris et al. 2019a).

3.16 Φθορίτης (Fluorite)

Ο φθορίτης είναι ένα ορυκτό του ασβεστίου με χημικό τύπο CaF_2 , που κρυσταλλώνεται στο κυβικό σύστημα. Παρουσιάζει υαλώδη λάμψη, έχει την χαρακτηριστική σκληρότητα 4 στην κλίμακα Mohs και ειδικό βάρος $3,2 \text{ gr/cm}^3$. Οι κρύσταλλοι του είναι κυβικοί με τέλειο σχισμό, ενώ άλλοτε εμφανίζεται ως συμπαγές συσσωμάτωμα και το χρώμα του ποικίλλει από λευκό έως άχρωμο, πράσινο, κίτρινο, μπλε, ιώδες, ρόδινο, με την κατανομή του χρώματος να είναι ακανόνιστη κατά την έκταση του κρυστάλλου. Τα κοιτάσματα αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων στο Λαύριο και στη Σέριφο είναι περιοχές γνωστές για τους μεγάλους κρυστάλλους φθορίτη που φτάνουν έως και τα 20εκ και με χρώματα που ποικίλλουν από μπλε έως μωβ και πράσινο (Σχ. 3.19). Φθορίτης ποιότητας πολύτιμου λίθου εμφανίζεται επίσης στη Σάμο και τη Λέσβο με τη μορφή φλεβών φθορίτη, οι οποίες τέμνουν πυριτιωμένες επιθερμικές ζώνες εξαλλοίωσης και λάβες που έχουν υποστεί προπυλιτική εξαλλοίωση, αντίστοιχα. Οι φλέβες είναι σε στρώσεις και οι κενοί χώροι γεμίζουν από κρυστάλλους με βαθύ ιώδες και πράσινο χρώμα και μήκος έως 5εκ (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.19. Κρύσταλλοι φθορίτη από το Λαύριο (© Fritz Schreiber).

3.17 Αζουρίτης - Μαλαχίτης (Azurite - Malachite)

Ο αζουρίτης και ο μαλαχίτης είναι δύο δευτερογενή ανθρακικά ορυκτά τα οποία τα συναντάμε συνήθως στις ζώνες οξειδώσεως κοιτασμάτων πορφυριτικού χαλκού και κρυσταλλώνονται και τα δύο στο μονοκλινές σύστημα. Ο αζουρίτης έχει χημικό τύπο $\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$, 3,5-4 σκληρότητα στην κλίμακα Mohs και εντοπίζεται με ένα χαρακτηριστικό ανοιχτό κυανό έως σκούρο μπλε χρώμα, ενώ εμφανίζει υαλώδη, αδαμαντώδη λάμψη και έχει $3,7-3,8 \text{ gr/cm}^3$ ειδικό βάρος. Οι κρύσταλλοι του είναι διαφανείς έως ημιδιαφανείς, συνήθως πρισματικοί, αλλά και πλακώδεις, ενώ μπορεί να τον συναντήσουμε

και σε σφαιρικά, βοτρυοειδή ή και σταλακτιτοειδή συσσωματώματα με ακτινωτή ινώδη διάταξη.

Ο μαλαχίτης από την άλλη, έχει χημικό τύπο $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$, εμφανίζεται με ένα λαμπρό πράσινο έως σκούρο πράσινο χρώμα και έχει και αυτός 3,5-4 σκληρότητα. Η λάμψη του ποικίλλει από αδαμαντώδης σε υαλώδης στους κρυστάλλους, μεταξώδης στις ινώδεις ποικιλίες και τέλος αλαμπής στα συμπαγή συσσωματώματα, με μεγαλύτερο ειδικό βάρος από τον αζουρίτη καθώς είναι 3,9 - 4,5 gr/cm^3 . Οι κρύσταλλοι του είναι από διαφανείς έως αδιαφανείς, σπάνια πρισματικοί, ενώ είναι συνήθως τριχοειδείς, αλλά μπορεί να εμφανίζονται και ως βοτρυοειδή ή και σταλακτιτοειδή συσσωματώματα. Ο αζουρίτης μαζί με τον μαλαχίτη είναι ευρέως διαδεδομένοι στις στοές του Λαυρίου (Σχ. 3.20), με κρυστάλλους έως 4εκ, αλλά και σε μεγάλα συσσωματώματα που είναι κατάλληλα για κοπή cabochon. Άλλη μια τοποθεσία που μπορούμε να τους συναντήσουμε είναι στα μεταλλεία Κινγκ Άρθουρ, στην περιοχή της Κίρκης, όπου εμφανίζονται σε μεγάλη ποικιλία και άλλα δευτερογενή ορυκτά του Cu, αλλά με επικρατέστερα τον μαλαχίτη και τον αζουρίτη (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.20. Κρύσταλλοι αζουρίτη αριστερά (© Giuseppe Finello 2017) και μαλαχίτη δεξιά (© Chollet Pascal 2011) από το Λαύριο.

3.18 Τηρκουάζ (Turquoise)

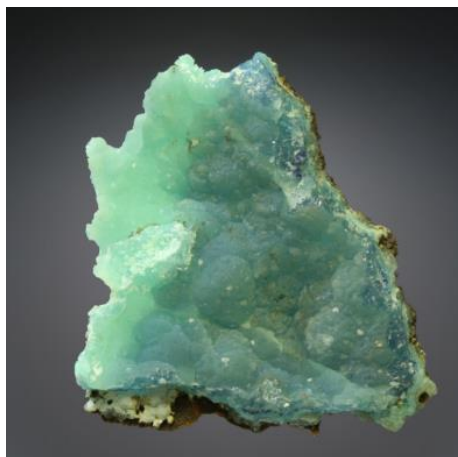
Το τηρκουάζ είναι ένα δευτερογενές ορυκτό που το συναντάμε στην ποτασική ζώνη εξαλλοίωσης των υδροθερμικών διαλυμάτων σε κοιτάσματα πορφυριτικού χαλκού, έχει χημικό τύπο $\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ και κρυσταλλώνεται στο τρικλινές σύστημα. Ο χαλκός που εμφανίζεται στον χημικό τύπο μπορεί να προέρχεται από ορυκτά όπως ο χαλκοπυρίτης ή από δευτερογενή ορυκτά του χαλκού, όπως ο αζουρίτης και ο μαλαχίτης, το αργίλιο από τους άστριους και ο φώσφορος από τον απατίτη. Έχει λάμψη υπο-υαλώδη, ρητινώδη, εμφανίζει σκληρότητα 5-6 στην κλίμακα Mohs, ειδικό βάρος 2,6-2,8 gr/cm^3 και το χαρακτηριστικό

τιρκουάζ χρώμα που είναι το γαλαζοπράσινο. Επίσης οι κρύσταλλοι συνήθως εμφανίζονται σε σφαιρικά, βοτρυοειδή ή και σταλακτιοειδή συσσωματώματα όπως και στα δευτερογενή ορυκτά του χαλκού. Στην Ελλάδα το τιρκουάζ σε ποιότητα πολύτιμου λίθου εμφανίζεται μόνο στην περιοχή της Βάθης στο Κιλκίς, όπου το εντοπίζουμε στη ζώνη οξείδωσης του πορφυριτικού κοιτάσματος Cu - Au που υπάρχει εκεί (Sklavounos et al. 1992).

3.19 Σμιθσονίτης (Smithsonite)

Ο σμιθσονίτης είναι ένα ανθρακικό ορυκτό του Zn, που κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα και έχει χημικό τύπο $ZnCO_3$. Έχει υαλώδη, μαργαριταρώδη λάμψη, σκληρότητα 4-4,5 στην κλίμακα Mohs και ειδικό βάρος που αγγίζει το $4.4-4.5 \text{ gr/cm}^3$. Είναι διαφανές σαν ορυκτό και σπάνια θα εμφανιστεί με τους κλασικούς κρυστάλλους που έχουμε στο μυαλό μας, αντιθέτως το συναντάμε σε βοτρυοειδή, σφαιρολιθικά, ή και σταλακτιτικά συσσωματώματα με μια πληθώρα χρωμάτων όπως λευκό, τεφρό, κιτρινωπό, πράσινο, ιώδες, ροζ, καφετί και το χαρακτηριστικό ανοιχτό γαλάζιο.

Στην Ελλάδα θα τον συναντήσουμε σε μεγάλες ποσότητες και σε παγκοσμίου κλάσης δείγματα στο Λαύριο όπου σχηματίστηκε ως αποτέλεσμα της αντίδρασης ανθρακικών ορυκτών με όξινα, πλούσια σε ψευδάργυρο διαλύματα, που προέρχονται από την χημική αποσύνθεση του σφαλερίτη. Οι σμιθσονίτες του Λαυρίου (Σχ. 3.21) εμφανίζονται σε διάφορες μορφές και με πολλά χρώματα όπως ανοιχτό γαλάζιο, πράσινο και κίτρινο χρώμα, εξαιτίας των στερεών διαλυμάτων των προσμίξεων άλλων ορυκτών (Katerinopoulos et al. 2005). Σχηματίζονται στις κοιλότητες των μαρμάρων και εμφανίζονται ως πολύχρωμα βοτρυοειδή ή σταλακτιτικά συσσωματώματα ή και ως μονοκρυσταλλικά ορυκτά, ενώ εκμεταλλεύτηκαν εντατικά τα τελευταία εκατό χρόνια με συνολική παραγωγή περίπου 1,2 Mt (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.21 Γαλαζοπράσινος σμιθσονίτης από το Λαύριο (© Christos Spiromitros 2013).

Οι μικροαναλύσεις που έγιναν, υποδηλώνουν ότι το συνολικό περιεχόμενο δευτερευόντων στοιχείων και ιχνοστοιχείων στους σμιθσονίτες είναι χαμηλό με τα κύρια στοιχεία να είναι τα Ca, Mg, Fe, Mn, Cu και Cd. Επιπρόσθετα, το Cd^{2+} είναι άχρωμο και το κιτρινωπό χρώμα στον σμιθσονίτη, το λεγόμενο και "turkey fat", πιστεύεται ότι οφείλεται στα εγκλείσματα γρηνοκίτη, καθώς δείγματα που δεν έχουν αυτά τα εγκλείσματα έχουν μια πληθώρα χρωμάτων, αλλά δεν είναι ποτέ κιτρινωπά. Οι Samouchos et al (2015) μάλιστα, υποστηρίζουν ότι το μπλε χρώμα στους σμιθσονίτες του Λαυρίου (Σχ. 3.22) οφείλεται στην αντικατάσταση του Zn από το Cu στη χημική σύσταση του ορυκτού, ενώ το πορτοκαλί και το καφετί χρώμα είναι λόγω μικρών περιεκτικότητων σε οξείδια και υδροξείδια του Mn-Fe-Pb. Τέλος, το Mg στην χημική σύσταση του ορυκτού, δεν παίζει κάποιο ρόλο στο τελικό χρώμα και είναι και σε μικρές ποσότητες (Voudouris et al. 2019a).



Σχ. 3.22. Μπλε σμιθσονίτης από το Λαύριο (© Rob Lavinsky 2006) και τirkουάζ από την Βάθη στο Κιλκίς (Anastatios Tsinidis 2018).

4. Άλλες σημαντικές τοποθεσίες

Μία ακόμα σημαντική περιοχή για τον εντοπισμό ορυκτών στην Ελλάδα αποτελεί η Θάσος, όπου υπάρχουν μεγάλοι κρύσταλλοι βαρύτη, αιματίτη, σμιθσονίτη, φθορίτη κ.ά. Εξαιρετικής ομορφιάς ορυκτά, πολλές φορές σε ευγενείς ποικιλίες, υπάρχουν στην Χαλκιδική και ιδιαίτερα στην περιοχή της Ολυμπιάδας και του Στρατωνίου, όπου κάποιος θα εντοπίσει εκεί γρανάτες, τουρμαλίνη, ζοϊσίτη, επίδοτο, ροδοχρωσίτη, ροδονίτη, χαλαζία σε ποικιλία ορείας κρυστάλλου κ.ά. Επίσης στα νησιά του Αιγαίου εντοπίζονται πολλά ορυκτά που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως πολύτιμοι λίθοι. Για παράδειγμα, η Σέριφος είναι παγκοσμίως γνωστή για τους κρυστάλλους πράσινου χαλαζία, του πράσιου, ενώ σημαντικές είναι και οι εμφανίσεις επιδότου, αιματίτη, μαλαχίτη, τιτανίτη και φθορίτη. Στη Σκύρο υπάρχουν γρανάτες, ενώ στη Σύρο ζirkόνιο, τουρμαλίνης, ιαδεΐτης, ζοϊσίτης, απατίτης και τιτανίτης. Σπινέλλιος εντοπίζεται σε πολλά νησιά των Κυκλάδων, απατίτης στη Σέριφο και στη Σαντορίνη, τιτανίτης στη Νάξο και σμιθσονίτης στην Δονούσα, στη Πάρο και στην Αντίπαρο (Voudouris et al. 2021).

4.1 Λαύριο

Το Λαύριο, εκτός από σημαντικό μεταλλευτικό κέντρο που αποτέλεσε κατά την αρχαιότητα για την εκμετάλλευση των πλούσιων σε άργυρο μεταλλεύματα, εξακολουθεί και σήμερα να προσελκύει τους συλλέκτες ωραίων και σπάνιων ορυκτών. Η Λαυρεωτική αποτελεί ένα μοναδικό φυσικό ορυκτολογικό μουσείο αφού περιλαμβάνει 638 πρωτογενή και δευτερογενή υπεργενετικά ορυκτά, δηλαδή πάνω από το 12% όλων των γνωστών ορυκτών παγκοσμίως, εκ των οποίων τα 23 ανακαλύφθηκαν για πρώτη φορά στο Λαύριο. Μερικά από αυτά είναι αττικήτης, γλαυκοκερινίτης, κτενασίτης, καπελασίτης, ιλαριονίτης, ζινκολιβενίτης, αγαρδίτης, νικελτσουμκορίτης, καμαριζαΐτης και σερπιερίτης, καθώς και αρκετά θειικά άλατα του Cd-Zn όπως ο νιεδερμαυρίτης, ο λαζαριδισίτης, ο βουδουρισίτης, ο ντροβεκίτης και ο κατερινοπουλοσίτης από το μεταλλείο Esperanza. Η εκτεταμένη οξείδωση της πρωτογενούς μεταλλοφορίας είχε ως αποτέλεσμα τον σχηματισμό μιας από τις καλύτερα αναπτυγμένες ζώνες οξείδωσης στη Γη (Voudouris et al. 2021).

Στο Λαύριο έχουν εντοπιστεί όμορφα και σπάνια ορυκτά (Σχ. 4.1), ενώ ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα ορυκτά αδαμίτης, αιματίτης, μαλαχίτης, αζουρίτης, βαρύτης, ημιμορφίτης, ολιβενίτης, σμιθσονίτης, φθορίτης, κερουσίτης, κυπρίτης, αναβεργίτης, γύψος, αραγωνίτης,

κτενασίτης, σερπιερίτης, κυανοτριχίτης, χαλκανθίτης, βροχανθίτης, χρυσόκολλα. Παγκοσμίως γνωστοί είναι οι τεράστιοι κρύσταλλοι του φθορίτη, ο μπλε αραγωνίτης, ο μπλε σμιθσονίτης και ο αναβεργίτης. Επιπρόσθετα, υπάρχουν τουλάχιστον πέντε διαφορετικοί τύποι κοιτασμάτων σουλφιδίων στην περιοχή του Λαυρίου που περιλαμβάνουν κοιτάσματα πορφυριτικού μολυβδαινίου, τύπου breccia με βασικά μέταλλα, τύπου σκαρν με σίδηρο, φλέβες μολύβδου-ψευδαργύρου-αργύρου και κοιτάσματα αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων μολύβδου-ψευδαργύρου-αργύρου. Αυτές αποτελούν ενδεικτικά κάποιες περιοχές στην Ελλάδα όπου αν γίνει μία συστηματική έρευνα πιθανώς να εντοπιστούν νέα κοιτάσματα που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν ως πολύτιμοι λίθοι (Voudouris et al. 2021).



Σχ. 4.1 Σπάνιας ομορφιάς ορυκτά του Λαυρίου (Voudouris et al. 2021).

5 Προοπτικές

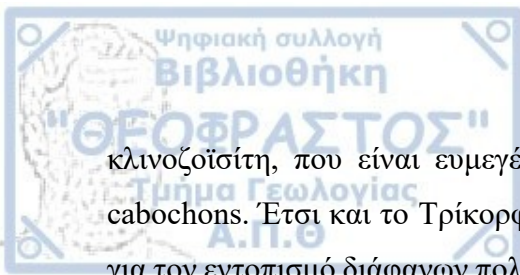
5.1 Ελλάδα: Μια νέα παραγωγός κορούνδίων;

Τα ελληνικά κορούνδια εμφανίζουν μεγάλη ποικιλία χρωμάτων, που κυμαίνεται από βαθύ κόκκινο, ροζ, μωβ, και μπλε έως άχρωμο, με μεγέθη κρυστάλλων έως 5εκ. Τα κορούνδια από τη Γοργόνα της Ξάνθης και τα ζαφείρια που τα συναντάμε μέσα σε πλουμασίτες στη Νάξο παρουσιάζουν πολύ καλή διαφάνεια και ομοιογένεια χρώματος και θα πρέπει να εξεταστούν περαιτέρω ως προς την καταλληλότητά τους για να μπορούν να κοπούν ως πολύτιμοι λίθοι. (Voudouris et al. 2019b). Τα κορούνδια που εντοπίστηκαν σε άλλες περιοχές και ειδικά αυτά με το έντονο χρώμα, θα μπορούσαν να κοπούν ως cabochons. Αν και τα κορούνδια ποιότητας πολύτιμων λίθων θεωρούνται ότι απουσιάζουν στις αποθέσεις σμύριδας (πέτρωμα που αποτελείται από κορούνδιο και μαγνητίτη που έχει οξειδωθεί σε λειμωνίτη και αιματίτη), τα γαλάζια ζαφείρια της Νάξου και κυρίως της Ικαρίας είναι ποιότητας πολύτιμου λίθου κάτι που δεν είναι τυπικό για άλλα κορούνδια που φιλοξενούνται σε μεταβωξίτες (Giuliani et al. 2014).

Προφανώς όμως για να θεωρηθεί η Ελλάδα μια νέα παραγωγός χώρα κορούνδίων απαιτείται μελλοντική έρευνα προκειμένου να δούμε αν όντως οι εμφανίσεις μπορούν να υποστούν οικονομική εκμετάλλευση (Voudouris et al. 2019b). Πολύ σημαντικός και ξεχωριστός είναι ο εμπλουτισμός σε Be στα άχρωμα ζαφείρια της Νάξου που συναντώνται μέσα σε πλουμασίτες, ένα χαρακτηριστικό που έχει αναφερθεί μόνο σε λίγες περιοχές του κόσμου, όπως η Μαδαγασκάρη, το Αφγανιστάν, η Τασμανία κτλ. Τα ζαφείρια της Νάξου που εντοπίζονται μέσα στους πλουμασίτες, εκείνα της Ξάνθης που εντοπίζονται μέσα στα μάρμαρα καθώς και εκείνα της Ικαρίας που βρίσκονται μέσα σε μεταβωξίτες, εμφανίζουν πολύ υψηλές περιεκτικότητες σε Nb, Ta, W και Sn, πολύ υψηλότερες από αυτές που έχουν αναφερθεί σε άλλες περιοχές. Μια περαιτέρω μελέτη για τη συγκέντρωση αυτών των στοιχείων και ιδιαίτερα του Be στα ελληνικά κορούνδια θα μπορούσαν να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για τον προσδιορισμό της προέλευσής τους (Pardieu et al. 2013).

5.2 Τρίκορφο

Σύμφωνα με τους Tarantola et al. (2019), η Θάσος είναι η δεύτερη περιοχή παγκοσμίως όπου συναντάται ο πορτοκαλί κυανίτης πλούσιος σε Mn, μετά από το κοίτασμα Loliondo στη Τανζανία, ενώ ποικιλίες από ορυκτά του πυριτίου που εντοπίζουμε στο νησί, είναι πολύ καλό υλικό για cabochons και για κοπές. Στο Τρίκορφο στη Θάσο έχουμε κρυστάλλους κυανίτη, πράσινου ανδαλουσίτη, γκρανατών όπως ο σπεςσαρτίνης και ο γροσσουλάριος και κόκκινου

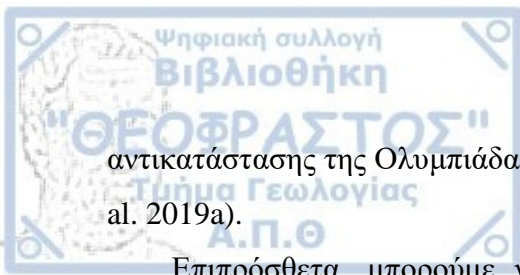


κλινοζοϊσίτη, που είναι ευμεγέθεις και με ζωνρά χρώματα που θα ήταν κατάλληλοι για cabochons. Έτσι και το Τρίκορφο θα μπορούσε να θεωρηθεί μια πολλά υποσχόμενη περιοχή για τον εντοπισμό διάφανων πολύτιμων λίθων που είναι ικανοί για να κοπούν και να υποστούν επεξεργασία. Επιπρόσθετα ο σχηματισμός τους μέσω μετασωματικών διεργασιών, υπογραμμίζει τον σημαντικό ρόλο της μετασωματικής διαδικασίας για τον σχηματισμό των πολύτιμων λίθων γενικότερα. Σίγουρα όμως χρειάζεται μελλοντική έρευνα και γεωλογικές αξιολογήσεις, εκτός από τις λεπτομερείς χημικές μελέτες ιχνοστοιχείων και δευτερευόντων στοιχείων, μέσω της ανάλυσης LA-ICP-MS που απαιτείται, προκειμένου να διαπιστωθεί τυχόν δυνητική οικονομική εκμετάλλευση και για θεωρηθεί το προς μελέτη ορυκτό πολύτιμος λίθος (Voudouris et al. 2019b).

6 Συμπεράσματα

Στην Ελλάδα οι πολύτιμοι λίθοι απαντώνται σε διάφορα πετρώματα, αλλά κυρίως μέσα σε 4 γεωτεκτονικές ενότητες, στη Μάζα Ροδόπης, στην Αττικοκυκλαδική Μάζα, στη Πελαγονική ζώνη και στην ενότητα Φυλλιτών -Χαλαζιτών της Κρήτης. Γενικά, διακρίνονται δύο ομάδες πολύτιμων λίθων, αυτοί που σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια περιοχικής μεταμόρφωσης και εκείνοι που σχηματίζονται σε διακλάσεις αλπικού τύπου. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει πυριτικά ορυκτά πλούσια σε Mn, όπως Mn-ανδαλουσίτης, σπεςαρτίνης, Mn-γροσσουλάριος, Mn-κλινοζοϊσίτης, Mn-ζοϊσίτης και ο σιδηρομαγγανιούχος πορτοκαλί κυανίτης, που φιλοξενούνται μέσα σε ανθρακικούς παραγενέσιους και όρθογενέσιους στη Θάσο και στην Πάρο, ενώ επίσης περιλαμβάνει και κορούνδια ποιότητας πολύτιμου λίθου στη Ξάνθη και τη Δράμα που ανήκουν στη Μάζα Ροδόπης και στην Νάξο και στην Ικαρία που ανήκουν στην Αττικοκυκλαδική Μάζα. Στην περιοχή της Ξάνθης και της Δράμας τα ζαφείρια και τα ρουμπίνια κατανέμονται μέσα σε μάρμαρα και εκλογιτικούς αμφιβολίτες προσανατολισμένα παράλληλα με τη ζώνη συρραφής (UHP-HP) του Νέστου, ενώ στην Νάξο και την Ικαρία, τα μπλε ζαφείρια εντοπίζονται σε μάρμαρα μέσα στους μεταβωξίτες. Οι διακλάσεις αλπικού τύπου στην Ελλάδα περιέχουν χαλαζία ποιότητας πολύτιμου λίθου όπως πράσινο, αμέθυστο, καπνία και άχρωμο χαλαζία, αλλά και αλβίτη και τιτανίτη. Τα πετρώματα ξενιστές είναι ορθογενέσιοι, παραγενέσιοι και μεταβασίτες στην Δράμα και στη Θάσο της Μάζας Ροδόπης και στην Πεντέλη, στην Εύβοια και στην Ίο της Αττικοκυκλαδικής, ενώ μεταχαλαζίτες στην Κρήτη (Voudouris et al. 2019a).

Τα Τριτογενή μαγματικά και υδροθερμικά περιβάλλοντα στην Ελλάδα (γρανιτοειδή, πηγματίτες, σκάρν, αποθέσεις ανθρακικής αντικατάστασης και ηφαιστειακά πετρώματα) μπορούν να παρέχουν πολλών ειδών ορυκτά κατάλληλα για κοπή και επεξεργασία όπως τη βήρυλλο, το ζαφείρι, τον γρανάτη, τον βεζουβιανίτη, τον διοψίδιο, το επίδοτο, τον φθορίτη, τον ροδοχρωσίτη, διάφορες ποικιλίες του χαλαζία και μικροκρυσταλλικά ορυκτά του πυριτίου. Στους πηγματίτες της Νάξου θα συναντήσουμε ακουαμαρίνες και μπλε, μωβ και ροζ ζαφείρια, ενώ στα μιορολιθικά έγκοιλα και σε φλέβες χαλαζία που τέμνουν εγκάρσια τα γρανιτοειδή στη Σαμοθράκη, στα Κιμμέρια και στη Μαρώνεια θα εντοπίσουμε καπνία και άχρωμο χαλαζία ποιότητας πολύτιμου λίθου. Τα ένδοσκαρν και τα έξωσκαρν στα Κιμμέρια, στη Κρέστη, στη Μαρώνεια, στη Σέριφο και στην Κώ, φιλοξενούν γροσσουλάριο, ανδραδίτη, βεζουβιανίτη, επίδοτο που μπορούν να κοπούν, καθώς και πανέμορφους κρυστάλλους πράσιου και αμέθυστου, ενώ ροδοχρωσίτη και φθορίτη εντοπίζουμε στα πετρώματα ανθρακικής



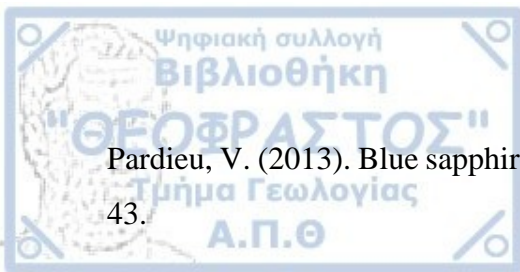
αντικατάστασης της Ολυμπιάδας στη Χαλκιδική και του Λαυρίου στην Αττική (Voudouris et al. 2019a).

Επιπρόσθετα, μπορούμε να συναντήσουμε πολύτιμους λίθους που σχετίζονται με ηφαιστειακά πετρώματα που έχουν υποστεί υδροθερμική εξαλλοίωση, όπως ο αμέθυστος, ο χαλκηδόσιος, ο οπάλιος και το οπαλιωμένο ξύλο στις Σάπες και στην περιοχή του Σουφλίου στη Μάζα Ροδόπης και στη Λέσβο, στη Λήμνο, στη Σάμο και στην Μήλο της Αττικοκλαδικής Μάζας. Τέλος, η υπεργενετική οξείδωση των κοιτασμάτων αντικατάστασης ανθρακικών πετρωμάτων του Λαυρίου περιέχει σμιθσονίτη ποιότητας πολύτιμου λίθου σε μια μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Το μόνο σίγουρο είναι ότι χρειάζεται μελλοντική και συστηματική έρευνα που να στοχεύει στη γεωλογική αξιολόγηση των ελληνικών πολύτιμων λίθων και στην εκτίμηση της πιθανής τους εκμετάλλευσης (Voudouris et al. 2019a).



Βιβλιογραφία

- Alfieris, D., Voudouris, P., & Spry, P. G. (2013). Shallow submarine epithermal Pb–Zn–Cu–Au–Ag–Te mineralization on western Milos Island, Aegean Volcanic Arc, Greece: Mineralogical, geological and geochemical constraints. *Ore Geology Reviews*, *53*, 159-180.
- Giuliani, G., Ohnenstetter, D., & Fallick, A. E. (2014). The geology and genesis of gem corundum deposits. In *Geology of Gem Deposits*, 2nd ed. Mineralogical Association of Canada Short Course Series, Groat, L.A., Ed., Mineralogical Association of Canada: Quebec City, QC, Canada, 2014, Volume 44, pp. 113-134.
- Hedenquist, J. W. (1991). Boiling and dilution in the shallow portion of the Waiotapu geothermal system, New Zealand. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, *55*(10), 2753-2765.
- Henry, D. J., & Dutrow, B. L. (2001). Compositional zoning and element partitioning in nickeloan tourmaline from a metamorphosed karstbauxite from Samos, Greece. *American mineralogist*, *86*(10), 1130-1142.
- Iliopoulos, I., & Katagas, C. (2004, April). Corundum bearing metabauxites from Icaria Island (Greece): Mineralogy and geochemistry. In *Proceedings of the 10th International Congress of the Geological Society of Greece, Thessaloniki, Greece* (pp. 15-17).
- Kasoli-Fournaraki, A., Zachos, S., Michailidis, K., & Zannas, I. (1995). *Titanite-Rich Carbonates from the Therapio Area in Thrace, Northern Greece-Constraints of the Mineral Assemblage Formation* (No. RefW-15-14284). Staubli Verlag.
- Katerinopoulos, A., Solomos, C., & Voudouris, P. (2005). Lavrion smithsonites: A mineralogical and mineral chemical study of their coloration. In *Mineral deposit research: Meeting the global challenge* (pp. 983-986). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T. J., Rimstidt, J. D., & Bodnar, R. J. (2012). Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag–Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, *114*, 20-35.



Pardieu, V. (2013). Blue sapphires and Beryllium: An unfinished world quest. *InColor*, 23, 36-43.

Samouhos, M., Zavašnik, J., Rečnik, A., Godelitsas, A., Chatzitheodoridis, E., & Sanakis, Y. (2015). Spectroscopic and nanoscale characterization of blue-coloured smithsonite (ZnCO₃) from Lavrion historical mines (Greece). *Periodico di Mineralogia*, 84(2).

Sklavounos, S., Ericsson, T., Filippidis, A., Michailidis, K., & Kougoulis, C. (1992). Chemical, X-ray and Mössbauer investigation of a turquoise from the Vathi area volcanic rocks, Macedonia, Greece. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte*, 469-469.

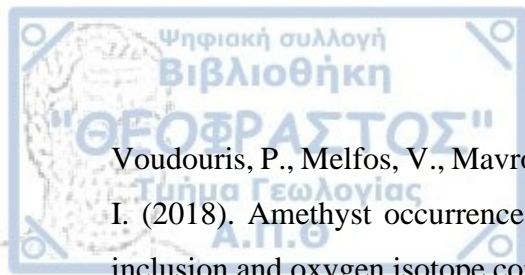
Tarantola, A., Voudouris, P., Eglinger, A., Scheffer, C., Trebus, K., Bitte, M., ... & Peiffert, C. (2019). Metamorphic and Metasomatic Kyanite-Bearing Mineral Assemblages of Thassos Island (Rhodope, Greece). *Minerals*, 9(4), 252.

Voudouris, P., Graham, I., Mavrogonatos, K., Su, S., Papavasiliou, K., Farmaki, M. V., & Panagiotidis, P. (2016). Mn-andalusite, spessartine, Mn-grossular, piemontite and Mn-zoisite/clinozoisite from Trikorfo, Thassos Island, Greece. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 50(4), 2068-2078.

Voudouris, P., Mavrogonatos, C., Graham, I., Giuliani, G., Melfos, V., Karampelas, S., ... & Lampridis, A. (2019). Gem corundum deposits of Greece: Geology, mineralogy and genesis. *Minerals*, 9(1), 49.

Voudouris, P., Mavrogonatos, C., Graham, I., Giuliani, G., Tarantola, A., Melfos, V., ... & Magganas, A. (2019). Gemstones of Greece: geology and crystallizing environments. *Minerals*, 9(8), 461.

Voudouris, P., Melfos, V., Mavrogonatos, C., Photiades, A., Moraiti, E., Rieck, B., ... & Zaimis, S. (2021). The Lavrion Mines: A Unique Site of Geological and Mineralogical Heritage. *Minerals*, 11(1), 76.



Voudouris, P., Melfos, V., Mavrogonatos, C., Tarantola, A., Götze, J., Alfieris, D., ... & Psimis, I. (2018). Amethyst occurrences in Tertiary volcanic rocks of Greece: Mineralogical, fluid inclusion and oxygen isotope constraints on their genesis. *Minerals*, 8(8), 324.

Voudouris, P., Velitzelos, D., Velitzelos, E., & Thewald, U. (2007). Petrified wood occurrences in western Thrace and Limnos Island: mineralogy, geochemistry and depositional environment. *Bulletin of the Geological Society of Greece*, 40(1), 238-250.

Wang, K. K., Graham, I. T., Lay, A., Harris, S. J., Cohen, D. R., Voudouris, P., ... & Greig, A. (2017). The origin of a new pargasite-schist hosted ruby deposit from Paranesti, Northern Greece. *The Canadian Mineralogist*, 55(4), 535-560.

<http://www.geo.auth.gr/106/>

<https://www.mindat.org/>