



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



ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ Ι. ΚΟΥΤΣΙΟΥΚΗΣ
ΑΕΜ 5129

ΑΧΑΤΗΣ: ΔΟΜΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΕΣΗ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ 2023





ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ Ι. ΚΟΥΤΣΙΟΥΚΗΣ

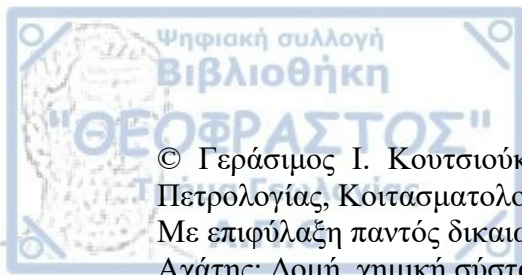
ΑΧΑΤΗΣ: ΔΟΜΗ, ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΑΙ ΓΕΝΕΣΗ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας
Τομέας Ορυκτολογίας - Πετρολογίας - Κοιτασματολογίας

Επιβλέπουσα καθηγήτρια

Λαμπρινή Παπαδοπούλου, Καθηγήτρια

© Γεράσιμος Ι. Κουτσιούκης, 2022
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. Allrightreserved.



© Γεράσιμος Ι. Κουτσιούκης, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., Τομέας Ορυκτολογίας, Πετρολογίας, Κοιτασματολογίας, 2019

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.

Αχάτης: Δομή, χημική σύσταση και γένεση– *Διπλωματική Εργασία*

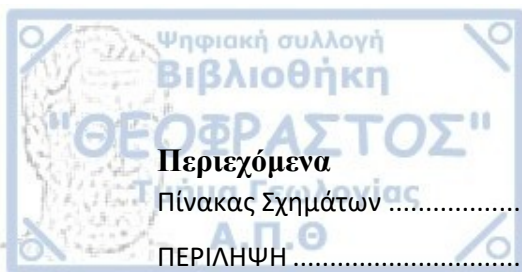
© Gerasimos I. Koutsoukakis, School of Geology, Department of Mineralogy, Petrology, Economic Geology, 2019

All rights reserved.

Agate: structure, chemical composition and genesis. – *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.



Περιεχόμενα

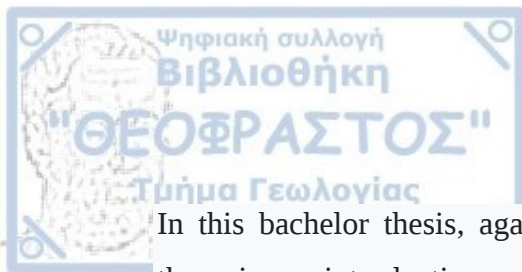
Πίνακας Σχημάτων	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT	3
Πρόλογος.....	4
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΧΑΤΗ	6
1.1 Ιστορικά στοιχεία	6
1.2 Χρωματικές Ιδιότητες Αχάτη	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΧΑΤΗ	14
2.1 Ορυκτολογία - Κρυσταλλογραφία Αχάτη.....	14
2.2 Παρουσία χαλαζίνη στον αχάτη	15
2.3 Ζώνωση Αχάτη.....	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΕΣΗ ΑΧΑΤΗ	26
3.1 Διεργασίες Σχηματισμού Αχάτη	26
3.1.1 Αχάτης σε ηφαιστειακά πετρώματα	26
3.1.2 Υδροθερμικός Αχάτης.....	28
3.1.3 Ιζηματογενής αχάτης.....	29
3.2 Ιχνοστοιχεία.....	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΧΑΤΗ.....	31
4.1 Μέθοδοι ανάλυσης	31
4.2 Ισοτοπική σύσταση	31
4.3 Άλλες μελέτες.....	32
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΑΧΑΤΗ.....	34
5.1 Ευρώπη.....	34
5.2 Αμερική.....	34
5.3 Αφρική	35
5.4 Υπόλοιπος κόσμος	35
5.5 Χρήσεις αχάτη	36
5.6 Εκμετάλλευση Αχάτη.....	37
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	38

Σχήμα 1: Μωβ Αχάτης (www.wallpaperflare.com).....	8
Σχήμα 2: Φούξια Αχάτης (www.amazon.com).....	8
Σχήμα 4: Αχάτης leopard-shell(www.rikoo.com).....	9
Σχήμα 3: Μπλε Αχάτης (www.dreamstime.com).....	9
Σχήμα 5: Πράσινος Αχάτης (www.google.com).....	10
Σχήμα 6: Πορτοκαλί Αχάτης (www.piqsels.com).....	10
Σχήμα 7: Γκρι Αχάτης (www.google.com).....	11
Σχήμα 8: Κίτρινος Αχάτης (https://peaceisofbianca.com).....	11
Σχήμα 9: Ροζό-πορτοκαλί Αχάτης (https://fineartamerica.com).....	12
Σχήμα 10: Κόκκινος Αχάτης (https://en.wikipedia.org).....	12
Σχήμα 11: Δαντελοειδής μπλε Αχάτης (https://www.piqsels.com).....	13
Σχήμα 12: Μαύρος Αχάτης (https://pixels.com).....	13
Σχήμα 13: Τριγωνικό σύστημα αχάτη (http://www.geo.auth.gr).....	17
Σχήμα 14: Αχάτης Τέρι (https://idress-el.techinfus.com).....	17
Σχήμα 15: Αχάτης Φρούριο ή Προπύργιο (https://idress-el.techinfus.com).....	18
Σχήμα 16: Αχάτης Stellate (https://idress-el.techinfus.com).....	18
Σχήμα 17: Ιριδίζουσα ποικιλία (https://idress-el.techinfus.com).....	19
Σχήμα 18: Αχάτης ματιών (https://idress-el.techinfus.com).....	19
Σχήμα 19: Ροζ Αχάτης (https://idress-el.techinfus.com).....	20
Σχήμα 20: Αχάτης Fiery (https://idress-el.techinfus.com).....	20
Σχήμα 21: Αχάτης χελώνα (https://idress-el.techinfus.com).....	21
Σχήμα 22: Γαλακτώδης-Milkyαχάτης(https://idress-el.techinfus.com).....	21
Σχήμα 23: Γεώδης αχάτης (https://idress-el.techinfus.com).....	22
Σχήμα 24: Βρυώδης αχάτης (https://idress-el.techinfus.com).....	22
Σχήμα 25: Ποικιλία Turritella(www.canstockphoto.com).....	23
Σχήμα 26: Οφθαλμαχάτης (www.indiamart.com).....	23
Σχήμα 27: Αχάτης Βραζιλίας (www.google.com).....	23
Σχήμα 28: Αχάτης Μποτσουάνας (www.barlowsgems.net).....	24
Σχήμα 29: Λουλούδι του αχάτη (thecrystalcouncil.com).....	24
Σχήμα 31: Ένυδρος αχάτης (pristine-gems.com).....	25
Σχήμα 30: Αχάτης της φωτιάς (www.rockseeker.com).....	25
Σχήμα 32: Αχάτης φάντασμα (www.amazon.com).....	25
Σχήμα 33: Χερσόνησος Kola, Ρωσία (https://idress-el.techinfus.com).....	36
Σχήμα 34: Yakutia, Άπω Ανατολή (https://idress-el.techinfus.com).....	36



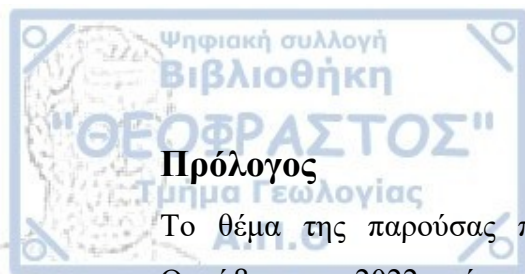
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται ο αχάτης με βάση βιβλιογραφικές αναφορές. Αρχικά γίνεται μια εισαγωγή με γενικές πληροφορίες για τους αχάτες καθώς και κάποια ιστορικά στοιχεία. Στη συνέχεια εξηγούνται οι μηχανισμοί που προκαλούν τα διάφορα χρώματα στους αχάτες και γίνεται διαχωρισμός και ανάλυση των ποικιλιών του με βάση το χρώμα. Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες για τη δομή και τη σύσταση και συγκεκριμένα για την ορυκτολογία και την κρυσταλλογραφία του, καθώς και για την χρωματική ζώνωση που διακρίνει τους αχάτες. Έπειτα γίνεται επεξήγηση κάποιων ποικιλιών του με γεωγραφικά και μακροσκοπικά κριτήρια. Στο τρίτο κεφάλαιο που αφορά την γένεση του αχάτη, αναλύονται οι διεργασίες σχηματισμού του γενικότερα και ειδικότερα στα ηφαιστειακά, στα ιζηματογενή και στα υδροθερμικά πετρώματα. Γίνεται ακόμη μια μικρή αναφορά στα ιχνοστοιχεία που σχετίζονται με τους αχάτες. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύεται η χημική σύσταση των αχατών με βάση κάποιες μεθόδους ανάλυσης. Έπειτα στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο δίνονται εν συντομία κάποιες πληροφορίες για συγκεκριμένες θέσεις εμφάνισης αχατών. Τέλος, παρατίθενται κάποια παραδείγματα χρήσης και εκμετάλλευσης αχάτη.



ABSTRACT

In this bachelor thesis, agate is analyzed, based on bibliographic references. First there is an introduction with general information about agates as well as some historical facts. The mechanisms that cause the various colors in agates are then explained and a separation and analysis of its varieties based on color is made. In the second chapter, information is given on the structural composition and specifically on its mineralogy and crystallography, as well as on the color banding that distinguishes agates. Then there is an explanation of some of its varieties with geographical and macroscopic criteria. In the third chapter, which concerns the genesis of agate, the processes of its formation in general and in particular in volcanic, sedimentary and hydrothermal rocks are analyzed. A little mention is also made of the trace elements associated with agates. In the fourth chapter, the chemical composition of agates is analyzed based on some analytical methods. Then in the fifth and last chapter some information is briefly given about specific places of occurrence of agates. Finally, some examples of agate use and exploitation are listed.



Πρόλογος

Το θέμα της παρούσας πτυχιακής διπλωματικής εργασίας μου ανατέθηκε το Οκτώβριο του 2022 από την Καθηγήτρια του Τομέα Ορυκτολογίας – Πετρολογίας – Κοιτασματολογίας του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης, κ. Λαμπρινή Παπαδοπούλου. Στο πλαίσιο της αναζήτησης βιβλιογραφικών αναφορών, η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία επιχειρεί να παρουσιάσει και να εξετάσει τους αχάτες και συγκεκριμένα την δομή τους, τη χημική σύσταση και τη γένεσή τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στην Καθηγήτρια κ Λ. Παπαδοπούλου, που ήταν η επιβλέπουσα της πτυχιακής αυτής εργασίας, για την ανάθεση ενός τόσο ενδιαφέροντος θέματος, όπως και για την συνεχή βοήθειά της κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας. Ευχαριστώ τον καλό μου φίλο Γιαμαλή Σταύρο για την πολύτιμη βοήθεια και τις συμβουλές του σε όλο το διάστημα των σπουδών μου και ειδικότερα την τελευταία περίοδο της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους δικούς μου ανθρώπους και όλο το τμήμα Γεωλογίας για την στήριξη τους στο διάστημα των σπουδών μου.

Ο αχάτης ανήκει στα τεκτοπυριτικά ορυκτά και συγκεκριμένα στην οικογένεια των ορυκτών του SiO_2 . Ανήκει στις ποικιλίες του χαλκηδονίου και κρυσταλλώνεται στο τριγωνικό σύστημα. Πρόκειται για εμφανίσεις διαδοχικών συγκεντρικών στρωμάτων χαλκηδονίου με διαφορετικό χρώμα και πορώδες. Συχνά τα χρωματισμένα στρώματα είναι πολύ λεπτά, παράλληλα, καμπύλα και συγκεντρικά. Πολλοί αχάτες χρωματίζονται με τεχνητά μέσα.

Είναι από τις πιο διάσημους πολύτιμους λίθους. Το όνομα δόθηκε περίπου το 350 π.Χ. από τον Θεόφραστο, καθώς βρέθηκε στο ποταμό Αχάτη στην Σικελία. Οι περισσότερες εμφανίσεις αχάτη παγκοσμίως σχετίζονται με πετρώματα πλούσια σε SiO_2 (ρυόλιθους, ρυοδακίτες) αλλά και μπορούν να βρεθούν και σε ηφαιστειακά πετρώματα φτωχά σε SiO_2 (ανδεσίτες, βασάλτες). Επίσης ο αχάτης μπορεί να σχηματιστεί σε υδροθερμικές φλέβες ή από απόθεση πυριτίου κατά τη διαγένεση σε ιζηματογενή πετρώματα. Υπολογισμοί με βάση την παρατήρηση ρευστών και μελέτες ισοτόπων οξυγόνου δείχνουν θερμοκρασίες σχηματισμού αχάτη σε μια περιοχή μεταξύ 20°C και 230°C (Harris et al, 1989, Strauch et al, 1994, Götze et al, 2001, Götze et al, 2009, Götze et al, 2016). Η συσσώρευση και η συμπύκνωση του οξειδίου του πυριτίου έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό λυμάτων πυριτίου και άμορφο πυρίτιο ως πρόδρομες φάσεις για την ανάπτυξη της τυπικής μικροδομής αχάτη. Η διαδικασία της κρυστάλλωσης ξεκινά συχνά με σφαιρολιθική ανάπτυξη του χαλκηδονίου που συνεχίζει, με ίνες χαλκηδονίου. Το μέγεθος των κρυστάλλων, το πορώδες, το είδος της φάσης του πυριτίου και το χρώμα προκαλούνται τελικά από χρωμοφόρα στοιχεία με τη χαρακτηριστική στρωματώδη μορφή και χρώμα στον αχάτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΧΑΤΗ

1.1 Ιστορικά στοιχεία

Ο αχάτης ήταν από τους διάσημους λίθους σύμφωνα με τους αρχαίους. Στη Ρώμη αλλά και στην Ελλάδα σκαλιζόταν με κεφάλια λιονταριών, λύκων και σκύλων και φοριόταν για να προστατευτούν οι άνθρωποι από τις επιδημίες και τους λιμούς. Σύμφωνα με τον Πλίνιο, οι άνθρωποι πίστευαν ότι θα τους έφερνε προστασία από τις τρικυμίες. Πιστεύεται ότι κατεβαίνοντας στον κάτω κόσμο ο Ορφέας έφερε ένα φυλαχτό αχάτη στην ενδυμασία του. Στις μέρες μας, στη χώρα της Γκάνας πιστεύουν ότι ο αχάτης προστατεύει από τα δαγκώματα φιδιών και από τις πνευματικές ασθένειες. Επίσης, κατά την εποχή του Μεσαίωνα δαιμονισμένοι προκειμένου να απαλλαχθούν από τους κακούς δαίμονες, που τους είχαν κυριεύσει, έπαιρναν έναν κοπανισμένο αχάτη. Τέλος, κατά την προσευχή των Ινδουιστών και των Σούφων, χρησιμοποιούνταν σαν χάντρα στα διάφορα κομπολόγια τους.

1.2 Χρωματικές Ιδιότητες Αχάτη

Το πιο συχνό χρωμοφόρο στοιχείο είναι ο σίδηρος. Επίσης εντοπίστηκαν ως χρωμοφόρα διάφορες χημικές ενώσεις του μαγγανίου. Τα περισσότερα δείγματα αχατών που βρίσκονται στη φύση είναι χρώματος γκρι. Ορισμένα άμορφα και κρυσταλλικά οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου (αιματίτης και γκαιτίτης) ευθύνονται κυρίως για τον συχνό κόκκινο και επίσης κίτρινο χρωματισμό των αχατών.

Οι διαφορετικές αποχρώσεις προκαλούνται από διαφορετικά είδη ενώσεων σιδήρου, ποικίλης ποσότητας ή μεγέθους κόκκων. Μείγματα διαφορετικών ενώσεων έχουν ως αποτέλεσμα ποικίλες χρωματικές αποχρώσεις. Ο χρωματισμός του αχάτη οφείλεται στην ύπαρξη υψηλού πορώδους στο ορυκτό που διευκολύνει την μετακίνηση διάφορων διαλυμάτων καθώς και σε κάποιες χημικές αντικαταστάσεις ιόντων στις ζώνες του αχάτη που γίνονται λόγω της μετακίνησης του νερού. Οι χρωματισμένοι αδρόκοκκοι κρύσταλλοι χαλαζία μέσω της διάχυσης των ιόντων κατευθύνουν τον χρωματισμό. Επίσης, άλλες αιτίες χρωματισμού είναι η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία καθώς και η ολοκληρωμένη αποσάθρωση που οδηγεί στη μετατροπή της εξωτερικής επιφάνειας του ορυκτού.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα στους αχάτες είναι το γεγονός ότι η απόκτηση του τελικού φυσικού τους χρώματος δεν γίνεται κατά το στάδιο της δημιουργίας τους αλλά σε μετέπειτα στάδια που επηρεάζονται από τους παραπάνω παράγοντες (Michalski and Foord, 2005). Μέχρι πρόσφατα θεωρούνταν ότι η απόχρωση λεβάντας στον αχάτη οφειλόταν στα εγκλείσματα μαγγανίου. Πλέον αυτό έχει διασαφηνιστεί ότι επηρεάζεται από την παρουσία ιόντων σιδήρου. Στη μελέτη του Lentz (1999), περιγράφεται ο μηχανισμός κατά τον οποίο η παρουσία κοκκινωπών εγκλεισμάτων σιδήρου στις κυανές περιοχές του αχάτη, έχει σαν αποτέλεσμα το ανθρώπινο μάτι να βλέπει μωβ χρώμα. Το ίδιο συμβαίνει και με τα πορτοκαλί ή κόκκινα εγκλείσματα στις γκρι περιοχές του αχάτη με το τελικό χρώμα να είναι πιο σκούρο. Υπάρχουν ενδείξεις ότι οι ιώδεις αχάτες της Αριζόνας έχουν κοινό μηχανισμό χρωματισμού με τον φυσικό κρύσταλλο αμέθυστου. Τέλος, το μαύρο χρώμα οφείλεται σε εγκλείσματα αιματίτη. Ο διαχωρισμός του αχάτη σε χρώματα είναι ο ακόλουθος:

Μωβ Αχάτης (Purple Agate)

Ο μωβ αχάτης (σχ. 1) είναι ένας τύπος μικροκρυσταλλικού χαλαζία που ονομάζεται χαλκηδόνιος. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει λίθους όπως ο ίασπις, ο όνυχας, ο κορνεόλιος και ο αχάτης. Οι χαλκηδόνιοι βρίσκονται συνήθως σε ρωγμές και κοιλότητες όπου έχει σημειωθεί ηφαιστειακή δραστηριότητα. Οπτικά, εμφανίζεται με διάφορες αποχρώσεις του μωβ που αναμειγνύονται με λευκές λωρίδες και είναι εύκολο να καταλάβει κανείς γιατί αυτή η πέτρα είναι πολυπόθητη για τη χρήση της σε κοσμήματα, σκαλίσματα και φυλαχτά.

Ο μωβ αχάτης μπορεί να βρεθεί σε χώρες όπως το Μεξικό, η Βραζιλία, οι Ηνωμένες Πολιτείες, η Αυστραλία και το Μαρόκο. Τα αρχαιολογικά ευρήματα έδειξαν ότι ο κρύσταλλος αυτός χρησιμοποιήθηκε ως προστατευτικό φυλαχτό από τους αυτόχθονες πληθυσμούς αυτών των περιοχών.



Σχήμα 1: Μωβ Αχάτης (www.wallpaperflare.com).

Φούξια Αγάτης (Fuchsia Agate) (σχ. 2)



Σχήμα 2: Φούξια Αγάτης (www.amazon.com).

Μπλε Αγάτης (Blue Agate)

Ο μπλε αχάτης (σχ. 3) υπάρχει στη φύση και είναι μία ποικιλόμορφη μορφή χαλκηδόνιου. Αναγνωρίζεται από τα μπλε ανοιχτά στρώματα, τα οποία περιλαμβάνουν φωτεινές μπλε, λευκές και καφέ αποχρώσεις. Ο αχάτης σχηματίζεται ως οξείδιο σε ηφαιστειακά πετρώματα ή σε φλέβες και ρωγμές του ηφαιστειακού πετρώματος. Το χρώμα που αποκτά ίσως οφείλεται σε κάποια οξείδια σιδήρου. Ο αχάτης βρίσκεται σε κοιτάσματα σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Μιανμάρ (Βιρμανία), της Βραζιλίας, της Ουρουγουάης, της Μποτσουάνα, της Ινδίας, της Αυστραλίας και των Ηνωμένων Πολιτειών.



Σχήμα 3: Μπλε Αγάτης (www.dreamstime.com).

Αγάτης Leopard

Ο αγάτης leopard (σχ. 4) παίρνει το χρώμα του από την παρουσία του ορυκτού ίασπι. Υπάρχουν πολλές ποικιλίες όσον αφορά τα χρώματα, ακόμη και με χρώματα όπως το ροζ και το κόκκινο. Ο leopard αγάτης βρίσκεται σε διάφορα μέρη σε όλο τον κόσμο, συμπεριλαμβανομένης της Αφρικής, της Βραζιλίας και του Μεξικού.



Σχήμα 4: Αγάτης leopard-shell(www.rikoo.com).

Πράσινος Αγάτης (Green Agate)

Ο πράσινος αγάτης (σχ. 5) οφείλει το χρώμα του στην παρουσία χρωμίου.



Σχήμα 5: Πράσινος Αχάτης (www.google.com).

Ο Πορτοκαλί Αχάτης (Orange Agate)

Ο πορτοκαλί αχάτης (σχ. 6) είναι μία ποικιλία που είναι ευρέως γνωστή και έχει βρεθεί σε πολλά μέρη.



Σχήμα 6: Πορτοκαλί Αχάτης (www.piqsels.com).

Ο Γκρι Αχάτης (Grey Agate)

Ο γκρι αχάτης (σχ.7) είναι ένας κοινός κρύσταλλος που βρίσκεται σε πολλές τοποθεσίες σε όλο τον κόσμο. Συχνά αποτίθεται σε παραλίες ή μπορεί να βρεθεί σε κοίτες ποταμών, όπου το νερό ρέει φυσικά και αποθέτει. Μερικοί από τους αχάτες θα είναι μονόχρωμοι, πιθανώς ημιδιαφανείς ανάλογα με το πάχος της πέτρας, ενώ άλλοι έχουν λεπτές λωρίδες ανοιχτού και σκούρου γκρι χρώματος. Αυτοί οι γκρι αχάτες εξορύσσονταν από μια δευτερογενή αλλουβιακή απόθεση. Σχηματίστηκαν στα ανάντι του ποταμού και μέσω φυσικής διάβρωσης κατέληξαν στην κοίτη του.

Ο γκρι αχάτης βρίσκεται στην Αργεντινή, την Αυστραλία, την Μποτσουάνα, τη Βραζιλία, τον Καναδά, την Τσεχία, τη Γερμανία, την Ουγγαρία, την Ινδία, το Ιράν, το Ιράκ, το Μεξικό, τη Μογγολία, το Μαρόκο, την Πολωνία, τη Σκωτία και τις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής.



Σχήμα 7: Γκρι Αχάτης (www.google.com).

Κίτρινος Αχάτης (Yellow Agate)

Ο κίτρινος αχάτης (σχ. 8) είναι μια ποικιλία από χαλκηδόνιο, ένας μικροκρυσταλλικός χαλαζίας. Παίρνει το κίτρινο χρώμα του από τις εναποθέσεις οξειδίου του σιδήρου στην πέτρα. Ο κίτρινος αχάτης βρίσκεται σε πολλά μέρη του κόσμου, συμπεριλαμβανομένης της Βραζιλίας, της Ινδίας, της Ρωσίας και των Ηνωμένων Πολιτειών.



Σχήμα 8: Κίτρινος Αχάτης (https://peaceisofbianca.com).

Ροζ - Ροζ-πορτοκαλί Αγάτης (Pink – Pink Orange Agate) (σχ. 9)



Σχήμα 9: Ροζ-πορτοκαλί Αγάτης (<https://fineartamerica.com>).

Κόκκινος Αγάτης (Red Agate)

Ο αιματίτης και ο γκαιτίτης ευθύνονται για το χρώμα του κόκκινου αγάτη (σχ. 10).



Σχήμα 10: Κόκκινος Αγάτης (<https://en.wikipedia.org>).

Δαντελοειδής Μπλε Αγάτης (Blue Lace Agate)

Ο δαντελοειδής μπλε αγάτης (σχ. 11) ανακαλύφθηκε στη Ναμίμπια, αρχικά στη Νοτιοδυτική Αφρική. Μικρές ποσότητες έχουν επίσης βρεθεί στη Βραζιλία, την Κίνα, την Ινδία και σε διάφορα μέρη στις Ηνωμένες Πολιτείες.



Σχήμα 11: Δαντελοειδής μπλε Αχάτης (<https://www.piqsels.com>).

Μαύρος Αχάτης (Black Agate)

Ο μαύρος αχάτης (σχ. 12) είναι μια μορφή χαλκηδόνιου. Κοιτώντας κανείς τον συγκεκριμένο αχάτη μοιάζει με συμπαγή βράχο, αλλά ψηλά στο φως, παρατηρείται ότι είναι στην πραγματικότητα ημιδιαφανής. Ο μαύρος αχάτης βρίσκεται σε όλο τον κόσμο με τα μεγαλύτερα ορυχεία στη Βραζιλία, το Μεξικό, τις Ηνωμένες Πολιτείες, την Ουρουγουάη και τη Μαδαγασκάρη.



Σχήμα 12: Μαύρος Αχάτης (<https://pixels.com>).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΧΑΤΗ

2.1 Ορυκτολογία - Κρυσταλλογραφία Αχάτη

Πολυάριθμες ορυκτολογικές έρευνες έχουν δείξει ότι οι περισσότεροι αχάτες αποτελούνται από διάφορες μορφές του πυριτίου. Η κοινή μορφή διοξειδίου του πυριτίου στον αχάτη είναι ο τριγωνικός α-χαλαζίας (Heany, 1993, Graetsch, 1994, Götze et al, 1998, Moxon and Rios, 2004). Υπάρχει και η μακροκρυσταλλική και η μικροκρυσταλλική ποικιλία, καθώς και η ινώδης μορφή. Ο χαλκηδόνιος είναι η κοινή και κυρίαρχη μορφή πυριτίου στους αχάτες. Ένα από τα πιο εμφανή χαρακτηριστικά κάτω από το πολωτικό μικροσκόπιο είναι η παρουσία χαρακτηριστικών «ινών» χαλκηδόνιου (Brewster, 1844). Οι έρευνες με περίθλαση ακτίνων Χ επιβεβαίωσαν την υπόθεση, ότι αυτές οι δομές αποτελούνται από α-χαλαζία και μετρήθηκαν οι διαστάσεις των «ινών» διαμέτρου 0,1–1 μm και μήκη έως αρκετά mm (Braitsch, 1957). Ο χαλαζίνης σπάνια εμφανίζεται στους αχάτες και εμφανίζεται μόνο στο εξωτερικό άκρο ή ως ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ χαλκηδόνιου και χαλαζία.

Η παρουσία και η χωρική κατανομή διαφορετικών φάσεων πυριτίου δεν είναι μόνο αποτέλεσμα πρωτογενών διαδικασιών κρυστάλλωσης, αλλά μπορεί επίσης να οφείλεται σε δευτερογενείς διαδικασίες όπως η ωρίμανση, η μεταμόρφωση και η θερμοκρασία. Αυτές οι δευτερεύουσες διαδικασίες μπορούν να αλλάξουν σημαντικά την πρωτογενή φάση, ειδικά λόγω της μετατροπής ασταθών ή σταθερών φάσεων πυριτίου. Ένα από τα πιο εμφανή χαρακτηριστικά σχεδόν όλων των αχατών είναι η τυπική λωρίδα αχάτη. Για το χαρακτηρισμό της γενικής μικροδομής των αχατών, πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον δύο τύποι ζωνών αχάτη. Οι αχάτες «οχύρωσης» (fortification agates), με ταινίες αχάτη που είναι περισσότερες ή λιγότερες, σύμφωνα με το περίγραμμα της κοιλότητας του ξενιστή και οι οριζόντια στρωματοποιημένοι αχάτες. Υπάρχουν ορισμένες ενδιάμεσες καταστάσεις και συνδυασμοί αυτών των δύο κύριων τύπων αχάτη. Η γενική δομή των αχατών «οχύρωσης» αποτελείται συχνά από τρία κύρια μέρη/ζώνες. α) Η εξωτερική ζώνη όπου υπάρχει μικροκρυσταλλικός, κοκκώδης χαλαζίας ή σφαιρολιθικός χαλκηδόνιος (ή μερικές φορές χαλαζίνης), ενώ σε πολλές περιπτώσεις, εμφανίζονται κι άλλα ορυκτά όπως π.χ., ασβεστίτης και αιματίτης, β) η κύρια ζώνη με τον ινώδη χαλκηδόνιο, που αναπτύσσεται από σφαιρολιθικό χαλκηδόνιο και γ) η κεντρική ζώνη, όπου ο χαλκηδόνιος δίνει την θέση του στον μακροκρυσταλλικό χαλαζία, που μερικές φορές περιέχει ένα κοίλο κέντρο.

Είναι πιθανό να έχουμε επαναλαμβανόμενες στρώσεις με ποικίλο μέγεθος κρυστάλλων και παρεμβολές ινώδους χαλκηδόνιου ή και κοκκώδους χαλαζία. Ο χαλκηδόνιος, ο χαλαζίνης και ο χαλαζίας είναι οι πιο συχνές μορφές SiO_2 στους αχάτες. Παρά τις διαφορές στις δομές τους, εμφανίζονται και τα τρία είδη. Έχουν την ίδια βασική κρυσταλλική δομή τριγωνικού συστήματος, χαμηλής θερμοκρασίας α-χαλαζία που αποτελείται αποκλειστικά από τετράεδρα $[\text{SiO}_4]$, όπου όλα τα οξυγόνα ενώνονται σε ένα τρισδιάστατο δίκτυο. Διαφορετικοί παράγοντες (π.χ. συγκέντρωση του SiO_2 , προσμείξεις ανόργανου υλικού στο διάλυμα, θερμοκρασία, ταχύτητα ανάπτυξης κ.λπ.) μπορεί να προκαλέσουν διαταραχές και ατέλειες στο πλέγμα του χαλαζία κατά την κρυστάλλωση. Ακόμη, στον κρύσταλλο του χαλαζία μπορεί να υπάρχουν ρευστά εγκλείσματα ή εγκλείσματα ορυκτών, διαστροφές ή διαταραχές του πλέγματος, ελαττώματα στην ατομική κλίμακα του υπάρχουν και στα κρυσταλλικά πλέγματα (ελαττώματα σημείου μηδενικών διαστάσεων) (Weil, 1984, 1993, Götze, 2009, Stevens-Kalceff, 2009).

2.2 Παρουσία χαλαζίνη στον αχάτη

Ο χαλαζίνης είναι σπάνιος στους αχάτες και εμφανίζεται μόνο στο εξωτερικό άκρο των γεωδών ή ως ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ χαλκηδόνιου και μακροκρυσταλλικού χαλαζία. Οι Folk και Pittmann (1971) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η παρουσία χαλαζίνη μπορεί να υποδηλώνει απόθεση από διαλύματα πλούσια σε θειικά ή σε συνθήκες εξάτμισης. Ωστόσο, μέχρι τώρα οι συγκεκριμένες συνθήκες που οδηγούν στο σχηματισμό του χαλαζίνη δεν είναι πλήρως κατανοητές. Οι χαρακτηριστικές ταινίες αχάτη, μπορούν να προσφέρουν επιπλέον πληροφορίες σχετικά με τις φυσικοχημικές συνθήκες σχηματισμού. Για παράδειγμα, πρωτογενής ανάπτυξη υφών όπως κολλοειδείς ή βοτρυοειδείς υφές υποδεικνύουν καθίζηση πυριτικής γέλης σε ελεύθερο χώρο. Οι υφές που μοιάζουν με χτένα, κρουστανοειδείς ή ζωνικές υφές σε κρυστάλλους χαλαζία δείχνουν μια άμεση κρυστάλλωση από υδροθερμικά ρευστά..

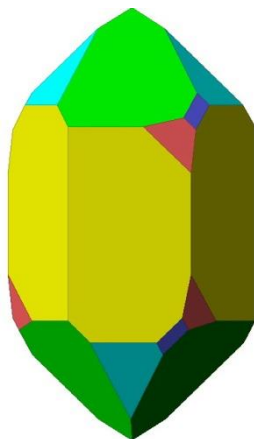
2.3 Ζώνωση Αχάτη

Ένα χαρακτηριστικό στους αχάτες είναι η χρωματική ζώνωση (Michalski and Foord, 2005). Άλλες φορές διακρίνεται μακροσκοπικά και άλλες με τη χρήση μικροσκοπίου. Η ιδιότητα διαύγειας του κρυστάλλου διαφέρει από ζώνη σε

ζώνη. Αυτή η ανάπτυξη ζωνών είναι υπεύθυνη για διάφορα οπτικά μακροσκοπικά φαινόμενα του ορυκτού, π.χ. αχάτης με μορφή ουράνιου τόξου (rainbow agate). Όταν στους φυσικούς αχάτες οι χρωματικές ζώνες δεν έχουν αρκετά έντονη παρουσία, χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι τεχνητού εμπλουτισμού του χρώματος. Στην περίπτωση που οι διάφορες χρωματικές ζώνες δημιουργούν κύκλους σε ομόκεντρο σχήμα, τότε έχουμε την δημιουργία του δαχτυλιοειδούς αχάτη (ring agate) και αν το κέντρο του γεώδους αποτελείται από μαύρο χρώμα έχουμε τον οφθαλμοειδή αχάτη (eye – agate). Ένας απλός χαλκηδόνιος, μπορεί να μετατραπεί σε ring ή eye-agate. Σε πολλές περιπτώσεις δεν υπάρχει παράλληλη διάταξη των χρωματικών ζωνών αλλά είναι κάπως πτυχωμένες δημιουργώντας τον ζωνώδη αχάτη ή αχάτη οχύρωσης (fortification agate). Όταν οι ζώνες διατάσσονται χαοτικά και σε κάποια σημεία υπάρχει θολή λάμψη, τότε έχουμε τον νεφελώδη αχάτη (cloudy agate). Ακόμη έχουμε μορφές σαν αστέρι (star agate) ή με τη μορφή απολιθώματος (shell-coral agate).

Το ορατό χρωματικό εύρος των αχατών μπορεί να ποικίλει δραστικά. Από τη μία πλευρά, δείγματα αχάτη μπορούν να εμφανίζονται περισσότερο ή λιγότερο με ένα κυρίαρχο χρώμα, ενώ σε άλλους αχάτες οι φάσεις SiO_2 εμφανίζουν πολλαπλά χρώματα με διαφορετικές αποχρώσεις του μπλε, βιολετί, πράσινου, κίτρινου και κόκκινου. Τα ορατά χρώματα σχετίζονται με διάφορα δομικά ελαττώματα (π.χ. κενές θέσεις οξυγόνου/πυριτίου ή σπασμένους δεσμούς) και ιχνοστοιχεία (π.χ. Al, Li, Fe) στο πλέγμα. Επιπλέον, τα διάφορα χρώματα μπορούν να βοηθήσουν στην οπτικοποίηση διαφορετικών γενιών SiO_2 ή δευτερογενών φαινομένων αλλοίωσης, όπως επίδραση από ακτινοβολία. Αυτές οι χαρακτηριστικές ιδιότητες μπορούν συχνά να χρησιμοποιηθούν για την ανακατασκευή συγκεκριμένων γεωλογικών διεργασιών. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι ο αχάτης έχει σκληρότητα 7 σύμφωνα με την κλίμακα Mohs που το καθιστά κατάλληλο για την κατασκευή όλων των τύπων κοσμημάτων. Οι λίθοι καλύτερης ποιότητας παρουσιάζουν λιγότερο από 10% εγκλείσματα, μεσαίας ποιότητας 10%-25% εγκλείσματα, ενώ οι πέτρες χαμηλότερης ποιότητας έχουν περισσότερο από 25% εγκλείσματα και στρώσεις.

Ανήκει στο Τριγωνικό Κρυσταλλικό Σύστημα (σχ. 13). Όσον αφορά το μοντέλο του τριγωνικού συστήματος αυτό αποτελείται από τους παρακάτω 4 άξονες a_1 , a_2 , a_3 και c , όπου ο τελευταίος είναι κατακόρυφος και κάθετος στους υπόλοιπους. Οι a_1 , a_2 , a_3 είναι ίσοι και τέμνονται υπό γωνία 120° . Στο τριγωνικό σύστημα ανήκουν 7 κρυσταλλικές τάξεις. Ο αχάτης βρίσκεται σε αυτή της ολαξονικής ημιεδρίας (<https://el.wikipedia.org>).



Σχήμα 13: Τριγωνικό σύστημα αχάτη (<http://www.geo.auth.gr>).

2.4 Ποικιλίες Αχάτη

Στις μέρες μας έχει γίνει ομαδοποίηση των διάφορων ποικιλιών του αχάτη σε κατηγορίες (<https://idress-el.techinfus.com>):

Τέρι: Τον συναντάμε στην Ινδία, την Αφρική και την Ρωσία. Η χημική του σύσταση εμπεριέχει υπολείμματα από μαγνήσιο και σίδηρο. Δεν έχει συγκεκριμένο χρώμα. Χαρακτηριστικό είναι το σχήμα που μοιάζει με δάσος (σχ.14).



Σχήμα 14: Αχάτης Τέρι (<https://idress-el.techinfus.com>).

Φρούριο ή προπύργιο: Χαρακτηριστικό είναι το σχήμα που αποτελείται από γωνίες, απότομες γραμμές που μοιάζουν με χάρτες, τείχη (σχ. 15).



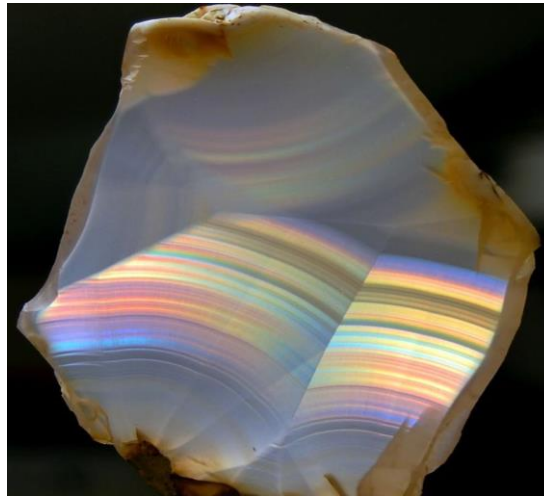
Σχήμα 15: Αχάτης Φρούριο ή Προπύργιο (<https://idress-el.techinfus.com>).

Stellate: Βρίσκεται στις νοτιοδυτικές ακτές της Αγγλίας. Δημιουργείται ένα κόσμημα με σπάνια υφή, όπου τα κοράλλια αντικαθίστανται από τον αχάτη. Είναι ανοιχτού καφέ χρώματος με εντυπωσιακό μοτίβο με την παρουσία αστέρων (σχ. 16).



Σχήμα 16: Αχάτης Stellate (<https://idress-el.techinfus.com>).

Ιριδίζουσα ή ουράνιο τόξο: Με την έκθεσή του στο φως, το αποτέλεσμα είναι εντυπωσιακό, έχοντας μία ιριδίζουσα λάμψη (σχ. 17).



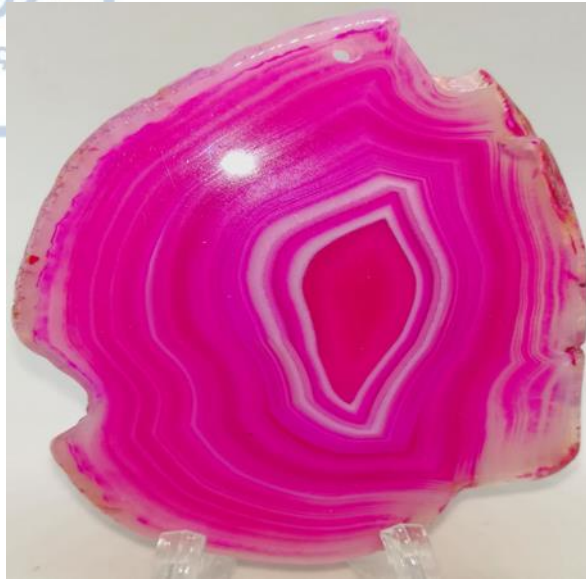
Σχήμα 17: Ιριδίζουσα ποικιλία (<https://idress-el.techinfus.com>).

"Κουκουβάγια" ή αχάτης ματιών: Εδώ τα δείγματα αχάτη παίρνουν το κυκλικό σχήμα ματιού (σχ. 18).



Σχήμα 18: Αχάτης ματιών (<https://idress-el.techinfus.com>).

Ροζ: Είναι από τις πιο σπάνιες ποικιλίες αχάτη. Η παρουσία μαγγανίου, σε συνδυασμό με την παρουσία υδροξειδίου σιδήρου σε μεγάλο ποσοστό δίνουν στο πέτρωμα μία αστραφτερή λάμψη και ωραία χρώματα με εύρος από ροζ έως κόκκινο, με πινελιές μοβ αποχρώσεων (σχ. 19).



Σχήμα 19: Ροζ Αχάτης (<https://idress-el.techinfus.com>).

Fiery: Τον συναντάμε στο Μεξικό και την Αριζόνα. Έχει πολλές πολύχρωμες λωρίδες από τα χρώματα του ουράνιου τόξου (σχ. 20). Μερικές εμφανίσεις γκαϊτίτη, δίνουν στο πέτρωμα μία απόχρωση φλόγας που καίει. Το γεγονός ότι είναι εύθραυστο και δύσκολα επεξεργάσιμο πέτρωμα, το βάζει στα σπάνια κοσμήματα.



Σχήμα 20: Αχάτης Fiery (<https://idress-el.techinfus.com>).

Χελώνα: Ο αχάτης είναι στον πυρήνα του πετρώματος έχει γκρι και καφέ χρώμα. Διάφορα χημικά στοιχεία δημιουργούν σχηματισμούς σαν αυτούς που υπάρχουν στο κέλυφος χελώνας (σχ. 21).



Σχήμα 21: Αχάτης χελώνα (<https://idress-el.techinfus.com>).

Γαλακτώδης-(Milky): Πρόκειται για λευκό αχάτη, όπου υπάρχει εναλλαγή διαφανών και ημιδιαφανών στρωμάτων (σχ. 22).



Σχήμα 22: Γαλακτώδης-Milkyαχάτης(<https://idress-el.techinfus.com>).

Γεώδης-(Geode): Πρόκειται για αχάτη με στρογγυλό σχήμα με τη μορφή γεώδους. Ίσως περιέχει άλλα ορυκτά όπως αμέθυστο και άχρωμο χαλαζία (σχ. 23).



Σχήμα 23: Γεώδης αχάτης (<https://idress-el.techinfus.com>).

Δενδρίτης ή βρυώδης αχάτης (Dendrite, Moss agate): Ονομάζεται έτσι καθώς εμπεριέχει εγκλείσματα δημιουργώντας σχηματισμούς που μοιάζουν είτε με βρύα (moss) είτε με φυτικά ίχνη (σχ. 24).



Σχήμα 24: Βρυώδης αχάτης (<https://idress-el.techinfus.com>).

Turritella agate: Πήρε το όνομα του από τα ομώνυμα απολιθώματα οστράκου που εμπεριέχει, σχηματίζοντας όμορφα σχέδια (σχ. 25).



Σχήμα 25: Ποικιλία Turritella(www.canstockphoto.com).

Οφθαλμαχάτης (Eye Agate): Ο αχάτης αυτός έχει σχήμα ομόκεντρων κυκλικών (σχ. 26).



Σχήμα 26: Οφθαλμαχάτης (www.indiamart.com).

Αχάτης Βραζιλίας (Brazilian Agate): Εδώ έχουμε μία έντονη διάκριση των στρώσεων του αχάτη. Επειδή είναι τόσο ευκρινείς και σαφείς, προσφέρονται ώστε να βαφτούν με τεχνητά μέσα για πολύ όμορφα αποτελέσματα (σχ. 27).



Αχάτης Μποτσουάνας (Botswana Agate): Είναι ο αχάτης που προέρχεται από τη Μποτσουάνα (σχ. 28).



Σχήμα 28: Αχάτης Μποτσουάνας (www.barlowsgems.net).

Λουλούδι του Αχάτη (Agate flower): Όπως προδίδει και το όνομα, σε αυτή την ποικιλία έχουμε ένα σχήμα σαν λουλούδι όπου μέσα συναντάμε μικρούς κρυστάλλους χαλαζία που λαμπυρίζουν. Η συνηθισμένη απόχρωση του αχάτη είναι γκρι (σχ. 29).



Σχήμα 29: Λουλούδι του αχάτη (thecrystalcouncil.com).

Αχάτης της φωτιάς (Fire agate): Ο συγκεκριμένος βρέθηκε πρόσφατα στις νοτιοδυτικές πολιτείες των Η.Π.Α., καθώς και στο Μεξικό. Πρόκειται πλέον για τον πιο περιζήτητο αχάτη αναφορικά με την κατασκευή κοσμημάτων. Έχουμε την εμφάνιση ενός εντυπωσιακού ιριδισμού από διάφορες αποχρώσεις στη βοτρυοειδή επιφάνειά του. Αυτό οφείλεται στη διάταξη των κρυστάλλων κάτω από την επιφάνεια του αχάτη. Σχηματίζονται επίπεδες πλάκες από τους κρυστάλλους, μέσα από τις οποίες περνάει το φως, διαθλάται και ιριδίζει. Ο ακριβότερος μαύρος οπάλιος συγκρίνεται με μία καλής ποιότητας ποικιλίας αχάτη της φωτιάς (σχ. 30).



Σχήμα 30: Αχάτης της φωτιάς (www.rockseeker.com).

Ένυδρος αχάτης (Enhydro agate): Περιέχονται ρευστά εγκλείσματα με φυσαλίδες αερίου, ή σταγόνες νερού (σχ. 31).



Σχήμα 31: Ένυδρος αχάτης (pristine-gems.com).

Phantom agate: Πρόκειται για ποικιλία αρκετά διάφανη με περιοχές σκούρου χρώματος (σχ. 32).



Σχήμα 32: Αχάτης φάντασμα (www.amazon.com).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΓΕΝΕΣΗ ΑΧΑΤΗ

3.1 Διεργασίες Σχηματισμού Αχάτη

Τόσο στην ιστορική όσο και στην πρόσφατη εποχή, έχουν γίνει πολλές εικασίες για τις διεργασίες που οδηγούν στο σχηματισμό αχατών. Οι πρώτες περιγραφικές αναφορές και συζητήσεις για τους αχάτες είναι γνωστές από τον 18ο αιώνα (Brückmann, 1773 και Collini, 1776). Σοβαρές επιστημονικές έρευνες σχετικά με τη χημική σύσταση, τις ιδιότητες και τη γένεση του αχάτη ξεκίνησαν στα μέσα του 19ου αιώνα (Noeggerath, 1850). Ως αποτέλεσμα αυτών των πολυάριθμων μελετών, υπάρχει σήμερα ένα ευρύ φάσμα θεωριών σχετικά με τον σχηματισμό των αχατών.

Ένα βασικό σημείο των επιστημονικών συζητήσεων σχετικά με τη γένεση του αχάτη είναι η θερμοκρασία του σχηματισμού. Δεν υπάρχει αμφιβολία σχετικά με την υδροθερμική φύση των περισσότερων φλεβών αχάτη. Ο σχηματισμός σε ιζήματα γίνεται σε σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες κάτω από την επιφάνεια ή σε συνθήκες διαγένεσης. Ωστόσο, τα επιχειρήματα για το σχηματισμό αχατών σε ηφαιστειακά πετρώματα είναι εξαιρετικά διαδεδομένα. Υπάρχουν θεωρίες για σχηματισμό αχάτη και σε υψηλές θερμοκρασίες ($>400\text{ }^{\circ}\text{C}$) και απόψεις για τη γένεση του αχάτη σε χαμηλές θερμοκρασίες ($20\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$) σε ιζηματογενές περιβάλλον διαγένεσης.

3.1.1 Αχάτης σε ηφαιστειακά πετρώματα

Πρώιμες θεωρίες που υποθέτουν σχηματισμό αχατών σε ηφαιστειακά πετρώματα από κυκλοφορούντα διαλύματα πλούσια σε SiO_2 , υποθέτουν ότι η χαρακτηριστική ζώνη αχάτη είναι το αποτέλεσμα της ρυθμικής παροχής δοξειδίου του πυριτίου σε φυσικά κενά και κοιλότητες («εξωτερικός ρυθμός») (Noeggerath, 1850). Αρκετά χρόνια αργότερα (Daubrée, 1880), δημοσίευσε ενδιαφέροντα πειράματα σχετικά με την αλλοίωση των πυριτικών γυαλιών από αλκαλικά διαλύματα ($>400\text{ }^{\circ}\text{C}$, 1000 atm). Αυτές οι αντιδράσεις οδήγησαν σε ομόκεντρα στρώματα χαλκηδόνιου, παρόμοια με τις παρατηρούμενες δομές σε φυσικούς αχάτες. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που δημοσιεύθηκαν αργότερα από τον Nacken (1948), ο Liesegang (1910, 1915), παρουσίασε τα θεμελιώδη αποτελέσματά του σχετικά με το σχηματισμό ρυθμικών χρωματικών ζωνών λόγω των διεργασιών διάχυσης μεταλλικών ιόντων σε ρευστά πυριτίου. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι μια ζώνωση μπορεί να δημιουργηθεί από «εσωτερικές διεργασίες», όπως μια απλή

χημική αντίδραση. Ωστόσο, μεταγενέστερες μελέτες αποκάλυψαν ότι οι ζώνες και η κατανομή χρώματος στους αχάτες δεν είναι πάντα όμοιες (Landmesser, 1984). Η χαρακτηριστική χρωματική λωρίδα στους αχάτες φαίνεται να σχετίζεται περισσότερο με τη μικροδομή και την κατανομή των λεπτών διασκορπισμένων χρωμοφώρων στοιχείων εντός του αρχικού SiO_2 .

Οι πρόσφατες ορυκτολογικές και γεωχημικές έρευνες κατά τις τελευταίες δεκαετίες αύξησαν σημαντικά τις γνώσεις μας για την ορυκτολογία και τη γένεση των αχατών. Η χημική σύσταση των αχατών καθώς και η παρουσία ορισμένων ορυκτών στην παραγένεση (ανθρακικά, αργίλικά ορυκτά, ζεόλιθοι, ενώσεις σιδήρου) δείχνουν ότι ο σχηματισμός ηφαιστειακών αχατών φαίνεται να είναι σχετικός με διεργασίες ηφαιστειακής ή μετα-ηφαιστειακής αλλοίωσης εντός των πετρωμάτων ξενιστών. Αν και υπάρχουν γενικές απόψεις σχετικά με το σχηματισμό του αχάτη, η προέλευσή του παραμένει χωρίς ακριβή εξακρίβωση. Οι συζητήσεις είναι αμφιλεγόμενες κυρίως λόγω του γεγονότος ότι κανείς δεν έχει τεκμηριώσει πλήρως τον σχηματισμό αχάτη σε πραγματικό χρόνο και οι αχάτες δεν ήταν ποτέ εύκολοι ως προς την ανάλυση στο εργαστήριο. Μόνο κάποια ανοργανοποίηση πυριτίου σε ενεργές γεωθερμικές περιοχές ή στον πυθμένα της θάλασσας (λευκές καμινάδες = whitesmokers) είναι συγκρίσιμη με τους αχάτες (Hopkinson et al, 1998). Μια πιο προσεκτική ματιά αποκαλύπτει ότι οι εμφανίσεις αχάτη συνδέονται με γεωλογικές περιόδους όπου είχαμε ισχυρή ηφαιστειακή δραστηριότητα, όπως τεράστιες ροές βασαλτικής λάβας ή εκρήξεις όξινης λάβας κατά την περίοδο του Περμίου. Οι χημικές και ορυκτολογικές αναλύσεις των πετρωμάτων ξενιστών δείχνουν ότι οι περισσότεροι παγκόσμιοι αχάτες σχετίζονται τόσο με φτωχά σε SiO_2 ηφαιστειακά πετρώματα (ανδεσίτες, βασάλτες) όσο και με πλούσια σε SiO_2 (ρυόλιθοι, ρυοδακίτες). Στα όξινα ηφαιστειακά, οι αχάτες προέρχονται από την πλήρωση κοιλοτήτων με σφαιροειδή συσσωματώματα οξειδίου του πυριτίου, ενώ ο σχηματισμός αχάτη σε βασικά ηφαιστειακά πετρώματα συμβαίνει σε προϋπάρχουσες κοιλότητες φυσαλίδων. Σχηματίζονται κυρίως στα περιθωριακά μέρη των ηφαιστειακών πετρωμάτων και σε στρώματα ιγκνιμβρίτη, τα οποία είναι εμπλουτισμένα σε νερό και άλλα πτητικά συστατικά. Είναι πολύ πιθανό η διαδικασία σχηματισμού του αχάτη σε πολλές περιπτώσεις να έχει ήδη ξεκινήσει κατά τη διάρκεια της ηφαιστειακής δραστηριότητας.

Οι αχάτες μπορούν επίσης να σχηματιστούν με άλλες διεργασίες και σε άλλους τύπους πετρωμάτων. Σε διαφορετικά πετρώματα-ξενιστές, οι φλεβικοί αχάτες

και οι δομές που μοιάζουν με αχάτη εμφανίζονται μέσα σε σπασίματα και ρωγμές, οι οποίες συχνά ορυκτοποιούνται από υδροθερμικά διαλύματα. Ο σχηματισμός των σωματιδίων του κολλοειδούς διαλύματος από το οποίο προέρχεται ο αχάτης, απαιτεί υψηλή συγκέντρωση διοξειδίου του πυριτίου και ως εκ τούτου, οι αχάτες αναπτύσσονται σε οριζόντιες στιβάδες. Ο Walger το 1954 ανέφερε ότι οριζόντια στρώματα αχατών σε ηφαιστειακά πετρώματα του Περμίου στη Γερμανία είναι αυστηρώς παράλληλα με την επιφάνεια και ως εκ τούτου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γεωλογικό στρώμα. Ο υπολογισμός των θερμοκρασιών σχηματισμού αχάτη κυμαίνεται ίσως σε χαμηλές θερμοκρασίες μεταξύ 20°C και 230°C, ανάλογα με την ισοτοπική σύσταση των εμπλεκόμενων υδάτων. Αυτές οι θερμοκρασίες καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα μεταξύ ιζηματογενούς προέλευσης και υδροθερμικού σχηματισμού.

3.1.2 Υδροθερμικός Αχάτης

Οι υδροθερμικοί αχάτες αντιπροσωπεύουν έναν εντελώς διαφορετικό γενετικό τύπο αχατών. Αυτοί οι αχάτες σχηματίζονται απευθείας μέσα σε φλέβες και σχισμές σε διαφορετικά πετρώματα-ξενιστές, που έχουν σχηματιστεί από τεκτονικές διεργασίες. Οι φλέβες συνδέονται συχνά με βαθιά ρήγματα απ' όπου ανέρχονται υδροθερμικά διαλύματα. Συχνά εμφανίζονται φλεβικοί αχάτες και ανόργανο πυρίτιο που μοιάζει με φλέβα μαζί με ανόργανα μεταλλικά στοιχεία σε υδροθερμικά συστήματα, π.χ. με ανθρακικά, θειικά, σουλφίδια ή ορισμένα κοιτάσματα χρυσού παγκοσμίως. Σε περίπτωση επαρκούς παροχής πυριτίου, οι ρηξιγενείς δομές μπορούν να γεμίσουν πλήρως με αχάτη και χαλαζία. Το σφράγισμα των φλεβών είναι συνεχές. Η υδροθερμική δραστηριότητα μπορεί να προκαλέσει αύξηση της πίεσης σε βαθύτερα επίπεδα και θραύση της πρωταρχικής δομής της φλέβας. Αυτά τα σπασίματα είναι συχνά γεμάτα με μια δευτερεύουσα γενιά αχάτη ή χαλαζία. Αρκετές έρευνες έδειξαν τη συμμετοχή υπολειμματικών μαγματικών υγρών στο σχηματισμό αχάτη και θέρμανση μετεωρικών ρευστών, που είναι απαραίτητα για την αλλοίωση των πετρωμάτων και την απελευθέρωση πυριτίου και άλλων χημικών στοιχείων που σχηματίζουν δευτερεύοντα ορυκτά (Holzhey, 1993, Pabian και Zarins, 1994, Götze et al., 2006). Οι φλεβικοί αχάτες σχετίζονται συχνά με υδροθερμικά κοιτάσματα. Ο σχηματισμός φλεβικών αχατών δεν περιορίζεται σε ηφαιστειακά, αλλά μπορεί επίσης να βρεθεί σε πυριγενή και μεταμορφωμένα πετρώματα.

3.1.3 Ιζηματογενής αχάτης

Στα ιζηματογενή πετρώματα, οι αχάτες σχηματίζονται κυρίως από πυριτίωση ιζημάτων ή ψευδομορφισμό λόγω αντικατάστασης ορυκτών που διαλύονται, όπως θειικά άλατα (π.χ. ανυδρίτης) ή ανθρακικά (ασβεστίτης, δολομίτης), από διοξείδιο του πυριτίου. Υπολείμματα φυτών και ζώων μπορούν επίσης να αντικατασταθούν από αχάτη. Το πυρίτιο προέρχεται από το νερό που κυκλοφορεί στους πόρους, το οποίο μπορεί να καθιζήσει υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Τα γεωχημικά δεδομένα δείχνουν μια προτιμώμενη πυριτίωση σε ρηχά ιζήματα, ειδικά σε περιοχές αυξημένης αλατότητας (λιμνοθάλασσες) κοντά στην επιφάνεια, σε συνθήκες και θερμοκρασίες κάτω από 40°C. Ο σχηματισμός αχατών σε ιζηματογενή περιβάλλοντα είναι σχετικά σπάνιος σε σύγκριση με αυτόν στα ηφαιστειακά πετρώματα. Οι ιζηματογενείς αχάτες έχουν βρεθεί ιδιαίτερα ως ακανόνιστες μορφές σε αλληλουχία με ανθρακικά και κλαστικά πετρώματα. Επιπλέον, η πυριτίωση των ζωικών και φυτικών υπολειμμάτων είναι συνηθισμένη στην επιφάνεια ορισμένων ιζημάτων και ηφαιστειο-ιζηματογενών σχηματισμών. Οι δομές του αχάτη είναι πολύ γνωστές σε υπολείμματα πυριτιωμένου ξύλου παγκοσμίως και από πυριτωμένα οστά δεινσαύρων από τη Γιούτα των ΗΠΑ ή πυριτωμένα κοράλλια από τη Φλόριντα, (Lund, 1960, Rössler, 2001, Rich et al, 2020). Ένα άλλο κοινό χαρακτηριστικό είναι η δευτερογενής εναπόθεση και ανακατανομή αχατών από πρωτογενείς αποθέσεις. Αχάτες σε κλαστικά ιζήματα (χαλίκια ποταμού και θαλάσσια ιζήματα) είναι γνωστοί από πολλές εμφανίσεις στον κόσμο.

3.2 Ιχνοστοιχεία

Οι συγκεντρώσεις ιχνοστοιχείων είναι χαμηλές και η περιεκτικότητα σε μακροκρυσταλλικό χαλαζία είναι χαμηλότερη από αυτή του χαλκηδόνιου. Οι αχάτες είναι σχετικά εμπλουτισμένοι σε ορισμένα στοιχεία. Αυτά είναι Al, Ca, Fe, K και Na, τα οποία πιθανώς κινητοποιούνται και μεταφέρονται μαζί με SiO₂ από το πέτρωμα ξενιστή κατά τον σχηματισμό του αχάτη. Επιπλέον, αυξημένες συγκεντρώσεις αλογόνων (έως 380 ppm F και έως 154 ppm Cl) δείχνουν ότι αυτά τα δύο στοιχεία παίζουν σημαντικό ρόλο σε διαλύματα που παίρνουν μέρος σε διαδικασίες αλλοίωσης και μεταφοράς. Αντίθετα, Sc, Nb, Ta, Th, Ti και άλλα δυσκίνητα στοιχεία

υπάρχουν σε πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις, συχνά κάτω από το όριο ανίχνευσης του ιχνοστοιχείου.

Τα μετρημένα προφίλ ιχνοστοιχείων δείχνουν ότι μπορεί να υπάρχει μεγάλη διασπορά συγκεντρώσεων για ορισμένα ιχνοστοιχεία, ενώ άλλα είναι σχετικά σταθερά στη χωρική κατανομή τους (Götze et al, 2015). Για παράδειγμα, συγκεντρώσεις σε χαμηλό επίπεδο καταγράφηκαν για τα στοιχεία Li, Rb, Ba, Sr, Ga ή Ti. Συγκεντρώσεις Fe που σχετίζονται κυρίως με το χρώμα του αχάτη μπορούν να ανιχνευθούν. Οι έντονα χρωματισμένες (ιδιαίτερα κοκκινωπές και κίτρινες) ζώνες χαλκηδόνιου έχουν υψηλότερη περιεκτικότητα σε Fe, λόγω της ύπαρξης μικρο-εγκλεισμάτων ορισμένων ενώσεων Fe (π.χ. αιματίτης, γκαιτίτης). Αυτές οι ζώνες μπορούν επίσης να περιέχουν υψηλές συγκεντρώσεις άλλων μεταβατικών στοιχείων όπως Mn, Ni ή Cr (Blankenburg, 1988, Götze et al, 2001). Η γενική τάση της πλευρικής κατανομής ιχνοστοιχείων από το πέτρωμα ξενιστή προς το κέντρο του αχάτη δείχνει μια ελαφρά μείωση στις συγκεντρώσεις των στοιχείων μέσα στο χαλκηδόνιο χωρίς άμεση σχέση ανάμεσα στην περιεκτικότητα των ιχνοστοιχείων και στις ζώνες, και με τη χαμηλότερη περιεκτικότητα των περισσότερων ιχνοστοιχείων στο μακροκρυσταλλικό χαλαζία. Αυτές οι παραλλαγές μπορούν πιθανώς να εξηγηθούν από μια διαδικασία «αυτοκαθαρισμού» κατά τη διάρκεια του σχηματισμού του αχάτη. Ορισμένα χημικά στοιχεία καταβυθίζονται πρώτα μαζί με το πρωτογενές άμορφο διοξείδιο του πυριτίου και συνεπώς διασπείρονται στις ζώνες του αχάτη. Οι ίνες χαλκηδόνιου στους αχάτες μπορεί να είναι το αποτέλεσμα μεταμόρφωσης. Η μείωση των ιχνοστοιχείων κατά την κρυστάλλωση μπορεί να προκαλέσει τελικά το σχηματισμό αδρόκοκκου χαλαζία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ ΑΧΑΤΗ

Η χημική σύσταση των πετρωμάτων ξενιστών του αχάτη ερευνήθηκε με συνδυασμό περιθλασιμετρίας ακτίνων X (XRD) και φασματοσκοπία φθορισμού ακτίνων X (XRF) (Taut et al., 1998, Götze et al., 2016). Πραγματοποιήθηκαν μελέτες ισοτόπων και ρευστών εγκλεισμάτων σε δείγματα χαλαζία και χαλκηδόνιου για να ληφθούν πληροφορίες για τις θερμοκρασίες σχηματισμού των αχατών. Αναλύθηκαν τα ιχνοστοιχεία και η ισοτοπική σύσταση του ασβεστίτη που βρίσκεται στην ίδια παραγένεση με ορισμένους αχάτες.

4.1 Μέθοδοι ανάλυσης

Η μικροσκοπία και η φασματοσκοπία φωταύγειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποκάλυψη διαφορών στη μικροδομή του μακροκρυσταλλικού χαλαζία και του χαλκηδόνιου στους αχάτες (Götze και Kempe, 2008). Η μικροσκοπία επιτρέπει την οπτικοποίηση της ζώνωσης και άλλων εσωτερικών δομών σε αχάτες και χαλαζία. Μπορούν να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με τις ατέλειες του πλέγματος που προκαλούν τα διαφορετικά χρώματα φωταύγειας με φασματικές μετρήσεις. Με βάση το γεγονός ότι οι ατέλειες που προκαλούν τις διαφορετικές εκπομπές αντικατοπτρίζονται στις μεταβλητές φυσικοχημικές συνθήκες σχηματισμού, τα φάσματα χρωμάτων των αχατών συχνά διαφέρουν από αυτά του χαλαζία από κρυσταλλικά πετρώματα (Götze et al., 1999, 2001, Götze και Hanchar, 2018). Σε αυτά μπορούν να ανιχνευθούν τρεις ευρείες ζώνες εκπομπών: Μια κυρίαρχη κόκκινη ζώνη στα 650 nm, μια κίτρινη ζώνη στα 570 nm περίπου και μια μπλε ζώνη κυρίως χαμηλής έντασης.

4.2 Ισοτοπική σύσταση

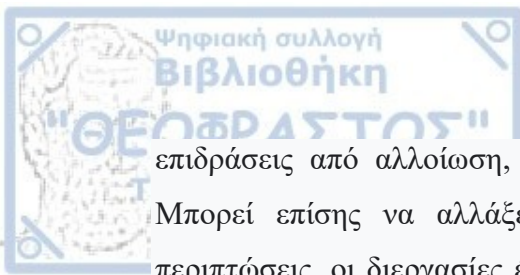
Τα δεδομένα ισοτόπων των φάσεων SiO₂ στους αχάτες μπορεί να παρέχουν πληροφορίες για την ισοτοπική σύσταση των ρευστών από τα οποία σχηματίστηκαν οι αχάτες και επιτρέπουν μια πρώτη εκτίμηση των θερμοκρασιών σχηματισμού. Η σύσταση των ισοτόπων οξυγόνου σε αχάτες από διάφορες τοποθεσίες και διαφορετικούς τύπους αποκαλύπτει ένα μάλλον ευρύ φάσμα από 13 έως 33%. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο χαλαζίας έχει ελαφρώς χαμηλότερες τιμές από το χαλκηδόνιο του ίδιου δείγματος και ταιριάζει περισσότερο με τις τιμές του υδροθερμικού χαλαζίνη που κατακρημνίζεται από μαγματικά υγρά (Hoefs, 1997). Η

διαφορά μεταξύ των τιμών του χαλκηδόνιου και του χαλαζία μπορούν ενδεχομένως να εξηγηθούν από τις χαμηλότερες σταθερές ισορροπίας στο σύστημα χαλαζία-νερού σε σύγκριση με τα συστήματα τριδυμίτη-νερού και χριστοβαλίτη-νερού (Ingerson και Weshow, 1965, Matsuhisa et al., 1979). Αντίστοιχα, το άμορφο SiO_2 , ο χαλκηδόνης, ο χριστοβαλίτης και ο τριδυμίτης μπορεί να έχουν υψηλότερες τιμές από τον χαλαζία που σχηματίζεται κάτω από τις ίδιες συνθήκες θερμοκρασίας. Η εξάρτηση αυτής της κλασματοποίησης από τη θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό των αναλογιών ισοτόπων της θερμοκρασίας σχηματισμού με βάση την ισοτοπική σύσταση οξυγόνου του ρευστού. Ωστόσο, κανένα στοιχείο δεν υπάρχει σχετικά με τη σύστασή τους στο ισότοπο οξυγόνου, αφού η άμεση ανάλυση ως επί το πλείστον δεν είναι δυνατή, λόγω της εξαιρετικά μικρής ποσότητας υγρών εγκλεισμάτων. Επομένως, οι θερμοκρασίες κλασματοποίησης ισοτόπων υπολογίστηκαν υποθέτοντας διαφορετικές ρευστές συστάεις μετεωρικού νερού (-10%), ωκεάνιου νερού (0%) και μαγματικού νερού (+8%).

4.3 Άλλες μελέτες

Σύγχρονες αναλυτικές μέθοδοι όπως μελέτες ρευστών, αναλύσεις ισοτόπων ή ιχνοστοιχείων παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την εκτίμηση των θερμοκρασιών των διεργασιών σχηματισμού ορυκτών. Σε περίπτωση μελέτης ρευστών εγκλεισμάτων σε αχάτες, πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί περιορισμοί. Άμεσα ο προσδιορισμός της θερμοκρασίας στον αχάτη (χαλκηδόνης) ως επί το πλείστον δεν είναι δυνατός λόγω της έλλειψης μετρήσιμων ρευστών εγκλεισμάτων. Τα δεδομένα παρέχονται μόνο από μελέτες ρευστών εγκλεισμάτων του μακροκρυσταλλικού στρώματος χαλαζία.

Η παρουσία οξειδίων του σιδήρου είναι αποτέλεσμα της υψηλής ενεργότητας του σιδήρου στο αρχικό ανόργανο πυριτικό μέσο. Η συσσώρευση λεπτών χρωματισμένων στρωμάτων κατά μήκος της ζώνης του χαλκηδόνιου, παράλληλα με τις σφαιρικές δομές, είναι πιθανότατα αποτέλεσμα «καθαρισμού» των φάσεων κρυστάλλωσης SiO_2 . Η ενσωμάτωση του σιδήρου στη δομή του χαλαζία είναι περιορισμένη και επομένως ο σίδηρος απορρίπτεται από τους σχηματιζόμενους κρυστάλλους χαλαζία. Κατά συνέπεια, μεταφέρεται με την κρυστάλλωση και συσσωρεύεται κατά μήκος της ζώνης του χαλκηδόνιου. Εάν δεν υπάρχει διακριτή ζώνωση στους αχάτες, τα χρώματα μπορούν να κατανεμηθούν τυχαία, έχοντας ως αποτέλεσμα μια ακανόνιστη κατανομή χρώματος. Υπάρχουν ακόμη δευτερεύουσες



επιδράσεις από αλλοίωση, διάβρωση ή διείδυση ρευστών κατά μήκος ρωγμών. Μπορεί επίσης να αλλάξει το πρωτεύον χρώμα στους αχάτες. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι διεργασίες έκπλυσης ή οξείδωσης καταλήγουν στο σχηματισμό των ζωνών χρωματισμού ή αποχρωματισμού κατά μήκος των οξειδίων ή κατά μήκος δευτερευουσών ρωγμών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΜΦΑΝΙΣΕΙΣ ΑΧΑΤΗ

Ο σχηματισμός των αχατών έχει γίνει πολύ νωρίς στην ιστορία της γης. Γενικά, οι εμφανίσεις του αχάτη κατανέμονται σε όλο τον κόσμο σε όλες τις ηπείρους. Οι περισσότεροι από αυτούς λευκοί, γκρι ή καφέ. Η παλαιότερη γνωστή εμφάνιση βρέθηκε στη Warrawoona στη Δυτική Αυστραλία, και χρονολογήθηκε ότι σχηματίστηκε 3,48 Ga πριν σε παλιούς μεταμορφωμένους ρυολιθικούς τόφους (Moxon et al., 2008).

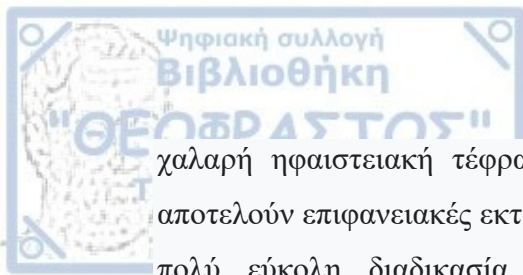
Οι αχάτες ενός δισεκατομμυρίου ετών είναι επίσης γνωστοί από τους βασάλτες της περιοχής Lake Superior στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Οι εμφανίσεις ηφαιστειακών αχατών είναι κυρίως αποτέλεσμα αλλοίωσης από τις διεργασίες των ηφαιστειακών πετρωμάτων ξενιστών. Υδροθερμικοί φλεβικοί αχάτες μπορεί να βρεθούν σε φλέβες μεγέθους χιλιοστών και εκατοστών αλλά μπορεί επίσης να φτάσουν και σε πάχος αρκετών μέτρων ή πολλών εκατοντάδων μέτρων.

5.1 Ευρώπη

Η πιο γνωστή πηγή αχάτη ήταν στη Γερμανία στο Ίνταρ Όμπερσταϊν όπου έχουμε εύρεση αχάτη από το 1548. Παρά το γεγονός της εξάντλησης των αποθεμάτων, εκεί συνεχίζει να υφίσταται το κυριότερο εργοστάσιο σκαλίσματος και στίλβωσης του αχάτη. Οι πρώτες ύλες πάνε πλέον από τα μεγάλα κοιτάσματα που ανακαλύφθηκαν στην Ουρουγουάη και την Βραζιλία. Στη Μεγάλη Βρετανία οι αχάτες είναι από τους πιο ποικίλους και όμορφους βρετανικούς πολύτιμους λίθους. Σχηματίστηκαν στις θέσεις πρώην κοιλοτήτων αερίων σε ανδесиτική και βασαλτική λάβα, και σπανιότερα, σε ανοιχτές ρωγμές και σχισμές σε αυτά τα πετρώματα. Ο αχάτης καλύτερης ποιότητας βρίσκεται στην ανατολική ακτή της Σκωτίας μεταξύ του Perth και του Stonehaven, στο βόρειο Fife και στο Ayrshire. Εμφανίζονται επίσης στο Cheviot Hills και μπορούν να βρεθούν στα παράλια σε πολλά μέρη της Βρετανίας, συμπεριλαμβανομένου του Isle of Man και των ακτών Northumberland και Yorkshire. Επίσης στην Τσεχία, την Γερμανία, την Ουγγαρία, την Ιταλία, την Πολωνία και την Σλοβακία έχουν βρεθεί όμορφα δείγματα.

5.2 Αμερική

Τον αχάτη τον συναντάμε κυρίως στο Rio Grande do Sul καθώς και στη Santa Catarina, Panama, Minas Gerais και Sao Paulo της Βραζιλίας. Τον συναντάμε σε



χαλαρή ηφαιστειακή τέφρα. Στην περιοχή του Rio Grande do Sul, τα ορυχεία αποτελούν επιφανειακές εκτάσεις που οργώνονται και συλλέγεται ο αχάτης. Είναι μία πολύ εύκολη διαδικασία, καθώς οι πέτρες εντοπίζονται εύκολα λόγω της σκληρότητας τους και της γυαλιστερής εμφάνισης που έχουν. Λόγω της ιδιομορφίας που έχει ο αχάτης Βραζιλίας, όπως αναλύθηκε παραπάνω, προσφέρεται για χρωματισμό και έτσι τον συναντάμε με διάφορα χρώματα. Στην Ουρουγουάη και συγκεκριμένα στην περιοχή Artigas υπάρχουν περίπου 50 λατομεία εξόρυξης, όπου σήμερα λειτουργούν τα 20. Ο αχάτης είναι πολύτιμος καθώς συναντάται μαζί με αμέθυστο. Από οικονομικής και κοινωνικής άποψης, η παρουσία αχάτη είναι σημαντική στην περιοχή καθώς δημιουργεί πολλές θέσεις εργασίας, από τα πρώιμα στάδια της εξόρυξης και στην συνέχεια από την επεξεργασία και το εμπόριο. Επίσης είναι μέρος της ταυτότητας της περιοχής. Ο σχηματισμός οριζόντια στρωμένων «αχατών της Ουρουγουάης» μπορεί να εξηγηθεί από τη βαρυτική καθίζηση σε συνθήκες γρήγορης ψύξης (κροκίδωση) μεγάλων σωματιδίων SiO_2 . Ακόμη έχουν βρεθεί στην Αργεντινή και ο Μεξικό.

5.3 Αφρική

Παρά το γεγονός ότι τα πυριγενή πετρώματα της Μποτσουάνας ξεκίνησαν σαν ηφαιστειακή ροή, δεν προήλθαν από ηφαίστεια. 187 εκατομμύρια χρόνια πριν ξεκίνησε αυτή η δράση. Ίσως ευθύνονται τα ρήγματα της περιοχής και η κύλιση της λάβας ανάμεσα σε αυτά, εναποθέτοντας πυρίτιο με τη μορφή χαλαζία δίνοντας αυτή την ιδιαίτερη μορφή στον αχάτη. Υψηλής ποιότητας αχάτης εξορύσσεται απευθείας από τα ορυχεία αχάτη Agate Norcross-Madagascar (NMG) που βρίσκονται στο Ambarijebby της Μαδαγασκάρης. Ακόμη έχει βρεθεί στο Μαρόκο και στη Ναμίμπια.

5.4 Υπόλοιπος κόσμος

Άλλες χώρες εξόρυξης αχάτη είναι η Ινδία, η Αυστραλία, η Μογγολία, η Κίνα, η Γεωργία, η Αρμενία, το Αζερμπαϊτζάν, το Τουρκμενιστάν, η Ρωσία. Στις ΗΠΑ και συγκεκριμένα στο απολιθωμένο δάσος της Αριζόνα έχουμε το διάσημο ξύλο Αχάτη.



Σχήμα 33: Χερσόνησος Kola, Ρωσία (<https://idress-el.techinfus.com>).



Σχήμα 34: Yakutia, Άπω Ανατολή (<https://idress-el.techinfus.com>).

5.5 Χρήσεις αχάτη

Έχει χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία γλυπτών και για εργαλεία και οικιακά σκεύη. Ακόμη σαν πολύτιμος λίθος χρησιμοποιείται για διάφορα κοσμήματα. Άλλες χρήσεις



περιλαμβάνουν λαβές, κουτιά και άλλα αντικείμενα για προσωπική φροντίδα και διακόσμηση σπιτιού.

5.6 Εκμετάλλευση Αχάτη

Οι αχάτες είναι κοινά ορυκτά που δεν είναι αρκετά πολύτιμα ώστε να είναι το κύριο επίκεντρο οποιασδήποτε επιχείρησης εξόρυξης μεγάλης κλίμακας. Οι περισσότερες ποικιλίες εξορύσσονται στο κύριο κοίτασμα τους σε συνδυασμό με άλλα πολύτιμα μέταλλα και ορυκτά σε μικρής κλίμακας και βιοτεχνικά ορυχεία, ειδικά εάν οι πέτρες είναι ιδιαίτερα πολύχρωμες.

Η διαδικασία εκβιομηχάνισης του αχάτη έχει χαμηλή απόδοση 65%, δημιουργώντας υψηλή παραγωγή υπολειμμάτων που αποτελείται βασικά από λεπτόκοκκη σκόνη. Η σκόνη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά στη γεωργία ως πηγή θρεπτικών συστατικών για το έδαφος των φυτών.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Blankenburg, H.-J. Achat; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie: Leipzig, Germany, 1988; 203p

Braitsch, O. Über die natürlichen Faser- und Aggregationstypen beim SiO₂, ihre Verwachsungsformen, Richtungsstatistik und Doppelbrechung. Heidelb. Beiträge Mineral. Petrogr. 1957, 5, 331–372.

Brewster, D. Über die Ursachen der Farben des irisierenden Achats. Ann. Phys. und Chem. 1844, 137, 134–138.

Brückmann, U.F.B. Abhandlung von Edelsteinen; Waisenhaus-Buchhandlung: Braunschweig, Germany, 1773.

Collini, C. Tagebuch Einer Reise, Welches Verschiedene Mineralogische Beobachtungen, Besonders Über Die Achate und Den. Basalt Enthält; C.F. Schwan: Mannheim, Germany, 1776; 582p

Daubrée, A. Synthetische Studien zur Experimental-Geologie; Vieweg-Verlag: Braunschweig, Germany, 1880; 122p.

Folk, R.L. and Pittman, J.S. Length-slow chalcedony; A new testament for vanished evaporates. J. Sediment. Petrol. 1971, 41, 1045–1058.

Götze, J.; Nasdala, L.; Kleeberg, R.; Wenzel, M. Occurrence and distribution of “moganite” in agate/chalcedony: A combined micro-Raman, Rietveld, and cathodoluminescence study. Contrib. Mineral. Petrol. 1998, 133, 96–105.

Götze, J.; Plötze, M.; Fuchs, H.; Habermann, D. Defect structure and luminescence behaviour of agate—Results of electron paramagnetic resonance (EPR) and cathodoluminescence (CL) studies. Mineral. Mag. 1999, 63, 149–163.

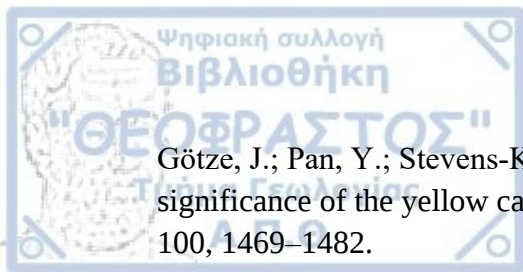
Götze, J.; Plötze, M.; Habermann, D. Cathodoluminescence (CL) of quartz: Origin, spectral characteristics and practical applications. Mineral. Petrol. 2001, 71, 225–250.

Götze, J.; Tichomirowa, M.; Fuchs, H.; Pilot, J.; Sharp, Z. Geochemistry of agates: A trace element and stable isotope study. Chem. Geol. 2001, 175, 523–541.

Götze, J.; Kempe, U. A comparison of optical microscope (OM) and scanning electron microscope (SEM) based cathodoluminescence (CL) imaging and spectroscopy applied to geosciences. Mineral. Mag. 2008, 72, 909–924.

Götze, J. Chemistry, textures and physical properties of quartz—Geological interpretation and technical application. Mineral. Mag. 2009, 73, 645–671.

Götze, J.; Möckel, R.; Kempe, U.; Kapitonov, I.; Vennemann, T. Origin and characteristics of agates in sedimentary rocks from the Dryhead area, Montana/USA. Mineral. Mag. 2009, 73, 673–690.



Götze, J.; Pan, Y.; Stevens-Kalceff, M.; Kempe, U.; Müller, A. Origin and significance of the yellow cathodoluminescence (CL) of quartz. *Am. Mineral.* 2015, 100, 1469–1482.

Götze, J.; Möckel, R.; Vennemann, T.; Müller, A. Origin and geochemistry of agates from Permian volcanic rocks of the Sub-Erzgebirge basin (Saxony, Germany). *Chem. Geol.* 2016, 428 77–91.

Götze, J.; Hanchar, J. Atlas of Cathodoluminescence (CL) Microtextures; GAC Miscellaneous Publication No. 10; Geological Association of Canada: St. John's, NL, Canada, 2018; 248p

Graetsch, H. Structural characteristics of opaline and microcrystalline silica minerals. *Silica Rev. Mineral.* 1994, 29, 209–232.

Harris, C. Oxygen-isotope zonation of agates from Karoo volcanics of the Skeleton Coast, Namibia. *Am. Mineral.* 1989, 74, 476–481.

Heany, P.J. A proposed mechanism for the growth of chalcedony. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1993, 115, 66–74

Hoefs, J. Stable Isotope Geochemistry, 4th ed.; Springer: Heidelberg, Germany, 1997; 201p.

Holzhey, G. Vorkommen und Genese der Achate und Paragenesmineralien in Rhyolithkugeln aus Rotliegendevulkaniten des Thüringer Waldes. Ph.D. Thesis, TU Bergakademie, Freiberg, Germany, 1993; 132p.

Hopkinson, L.; Roberts, S.; Herrington, R.; Wilkinson, J. Self-organization of submarine hydrothermal siliceous deposits: Evidence from the TAG hydrothermal mound, 26°N Mid-Atlantic Ridge. *Geology* 1998, 26, 347–350.

Ingerson, E.; Weshow, R.L. Oxygen isotope fractionation in the system quartz–water. *Geochem. Int.* 1965, 2, 691–707.

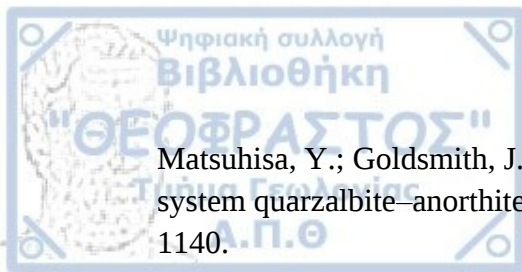
Landmesser, M. Das Problem der Achatgenese. *Mitt. Pollichia* 1984, 72, 5–137

Lentz, G. “Die Entstehung der Farben in Achaten [The origin of color in agates]”, *der Aufschluss*, 1999, v. 343-348.

Liesegang, R.E. Die Entstehung der Achate. *Zent. für Mineral.* 1910, 11, 593–597.

Liesegang, R.E. Die Achate; Verlag von Theodor Steinkopff: Dresden/Leipzig, Germany, 1915; 122p.

Lund, E.H. Chalcedony and quartz crystals in silicified coral. *Am. Mineral.* 1960, 45, 1304–1307.



Matsuhisa, Y.; Goldsmith, J.R.; Clayton, R.N. Oxygen isotopic fractionation in the system quartz-albite-anorthite-water. *Geochim. Cosmochim. Acta* 1979, 43, 1131–1140.

Michalski T.C and Foord E.E. (2005), “Seven Cause of Color in Banded Agates” Symposium on Agate and Cryptocrystalline Quartz, September 10-13, 2005, Sponsored by Friends of Mineralogy, Colorado Chapter, Colorado School of Mines Geology Museum, and U.S. Geological Survey, pp. 60-66.

Moxon, T.; Rios, S. Moganite and water content as a function of age in agate: An XRD and thermogravimetric study. *Eur. J. Mineral.* 2004, 4, 693–706.

Moxon, T.; Nelson, D.R.; Zhang, M. Agate recrystallization: Evidence from samples found in Archaean and Proterozoic host rocks, Western Australia. *Aust. J. Earth Sci.* 2008, 53, 235–248.

Nacken, R. Über die Nachbildung von Chalzedon-Mandeln. *Nat. und Volk.* 1948, 78, 2–8.

Noeggerath, M. On the porosity and colouring of agates, chalcedonies, etc. *Edinb. New Philos. J.* 1850, 58, 166–172.

Pabian, R.K.; Zarins, A. Banded Agates—Origins and Inclusions; Educational Circular No. 12; University of Nebraska: Lincoln, RI, USA, 1994; 32p.

Rich, P.V.; Rich, T.H.; Fenton, M.A.; Fenton, C.L. *The Fossil Book—A Record of Prehistoric Life*; Dover Publications: Mineola, NY, USA, 2020; 740p.

Rössler, R. *Der Versteinerte Wald Von Chemnitz*; Museum für Naturkunde Chemnitz: Chemnitz, Germany, 2001; 252p.

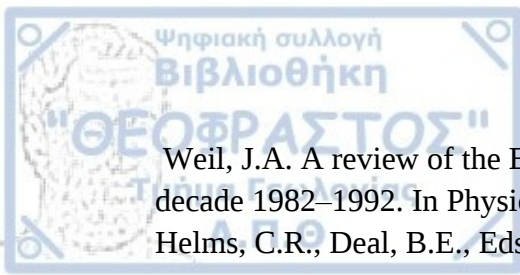
Stevens-Kalceff, M.A. Cathodoluminescence microcharacterization of point defects in α-quartz. *Mineral. Mag.* 2009, 73, 585–606.

Strauch, G.; Nitzsche, H.-M.; Holzhey, G. Isotopenuntersuchungen an Rhyolithen und Achatbildungen. *Neues Jahrb. für Mineral. Abh.* 1994, 165, 103–104.77–91.

Taut, T.; Kleeberg, R.; Bergmann, J. Seifert software: The new Seifert Rietveld program BGMN and its application to quantitative phase analysis. *Mater. Struct.* 1998, 5, 57–66.

Walger, E. Das Vorkommen von Uruguay-Achaten bei Flonheim in Rheinhessen, seine tektonische Auswertung und seine Bedeutung für die Frage nach der Achatbildung. *Jahresber. Mitt. Oberrh. Geol. Ver.* 1954, 36, 20–31.

Weil, J.A. A review of electron spin spectroscopy and its application to the study of paramagnetic defects in crystalline quartz. *Phys. Chem. Miner.* 1984, 10, 149–165.



Weil, J.A. A review of the EPR spectroscopy of the point defects in α -quartz: The decade 1982–1992. In Physics and Chemistry of SiO₂ and the Si-SiO Interface 2; Helms, C.R., Deal, B.E., Eds.; Plenum Press: New York, NY, USA, 1993; pp. 131–144.

Ιστότοποι

<https://idress-el.techinfus.com/kamni-i-minerally/agat/?fbclid=IwAR34DEIdvtXgDxyaGjT0sv--kYDjES4aCMVs3iuWlYoy4H1kUfyZYCQOi4c>

<https://www.crystalviden.com/purple-agate/>

<https://trulyexperiences.com/blog/leopard-skin-jasper/>

<https://www.firemountaingems.com/resources/encyclopedia/gem-notes/gmstnprprtsblgt>

<https://trulyexperiences.com/blog/leopard-skin-jasper/>

<https://www.crystal-life.com/orange-agate/>

<https://moonrisecrystals.com/gray-agate-meaning/>

<https://evolvemala.com/blogs/evolve-mala-blog/yellow-agate-healing-properties>

<https://www.crystalviden.com/red-agate/>

<https://aovcrystals.com/blogs/gemstone/black-agate>

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%81%CF%85%CF%83%CF%84%CE%B1%CE%BB%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%83%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1

Βιβλιογραφία εικόνων

<https://www.patrasevents.gr/article/186469-ena-panemorfo-topio-mesa-se-axati-pic>

<https://peaceisofbianca.com/pages/yellow-agate>

<https://www.wallpaperflare.com/purple-geode-agate-stone-gem-gemstone-mineral-birthstone-wallpaper-zgowy>



<https://www.rikoo.com/8-0-Agate-Geode-Carved-Crystal-Carving.html>

<https://www.pigsels.com/public-domain-photo-fmnmn>

<https://fineartamerica.com/featured/3-abstract-background-pink-and-orange-agate-slice-mineral-lukasz-szczepanski.html>

https://en.wikipedia.org/wiki/Lake_Superior_gate

<https://pixels.com/featured/blue-black-agate-with-rose-gold-glitter-1-gem-decor-art-anitas-and-bellas-art.html>

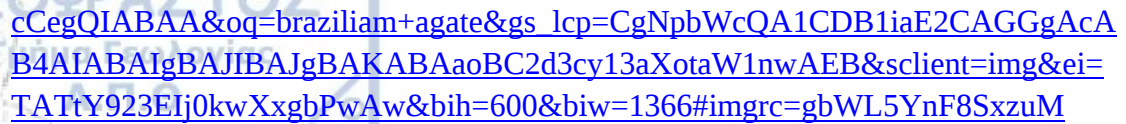
http://www.geo.auth.gr/courses/gmo/gmo104y/Part_B/crystal/system_3/Class_Olaxonikh_Hmiedria.htm

https://idress-el.techinfus.com/kamni-i-mineraly/agat/?fbclid=IwAR0UAvBVq_ThCjxPkaqCwAgoCjf9HGoDIaEVxdYvQsP1KnXEU9Tyg5GTm58

<https://www.canstockphoto.com/polished-turritella-agate-gem-stone-on-52113719.html>

<https://www.indiamart.com/proddetail/agate-natural-eye-stone-19593347062.html>

<https://www.google.com/search?q=braziliam+agate&tbm=isch&ved=2ahUKEwjddO29Zf9AhUI-qOKHfHADD4Q2->



<https://www.amazon.com/Beyonday-Labradorite-Crystals-Balancing-15mm-30mm/dp/B07MLW6895>