



Αυτό το φυλλάδιο αποτελεί υλικό το οποίο έχει δημιουργηθεί από πολλές πηγές και έχει διαμορφωθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για **προσωπική χρήση και μελέτη από μαθητές Γυμνασίου και μόνο. Ο σκοπός του είναι να απαντηθούν ερωτήματα που δεν καλύπτονται από το σχολικό βιβλίο.**

Περιεχόμενα

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΓΗΣ	2
ΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΩΝ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ	4
Α. ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ Η ΟΡΙΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	7
Β. ΌΡΙΑ ΣΥΓΚΛΙΣΗΣ-ΣΥΓΚΡΟΥΣΗΣ ΛΙΘΟΣΦΑΙΡΙΚΩΝ ΠΛΑΚΩΝ	9
1) Σύγκρουση ωκεάνιου με ωκεάνιο φλοιό	9
2) Σύγκρουση ηπειρωτικού με ηπειρωτικό φλοιό	11
3) Σύγκρουση ωκεάνιου με ηπειρωτικό φλοιό.	12
Γ. ΡΗΓΜΑΤΑ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ Η ΟΡΙΖΟΝΤΙΑΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ	17
Δ. ΘΕΡΜΕΣ ΚΗΛΙΔΕΣ (HOT SPOTS)	19
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	21
ΟΔΗΓΟΣ ΕΠΑΝΑΛΗΨΗΣ – ΣΥΝΤΟΜΕΣ ΕΡΩΤΟ-ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ	23



Τραπέζι που δημιουργεί έναν θύλακα με αέρα που μπορεί να οδηγήσει στην επιβίωση ανθρώπου μετά την πτώση κτιρίου



Δομή και Σύσταση της Γης

Η Γη αποτελείται από **τρία** διαφορετικά ομόκεντρα στρώματα, που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την σύσταση και την πυκνότητα, **το φλοιό, το μανδύα και τον πυρήνα**, συνολικού πάχους 6.371 km περίπου. Όλα τα τμήματα του εσωτερικού της Γης είναι σε στερεή κατάσταση εκτός του εξωτερικού πυρήνα. Πιο αναλυτικά:

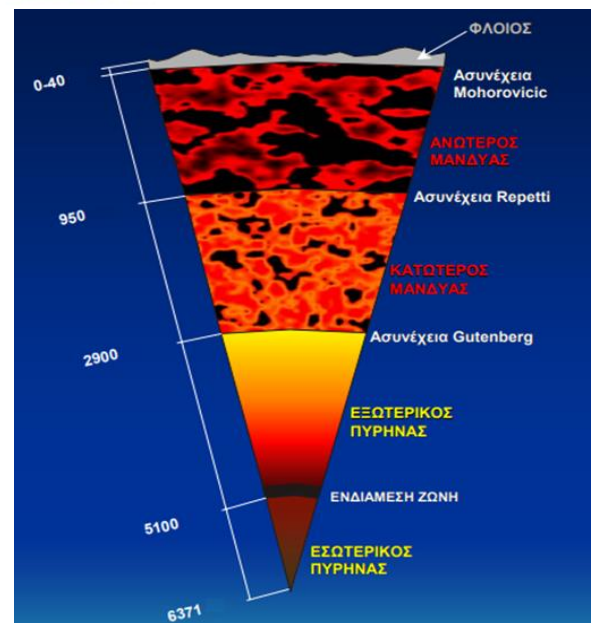
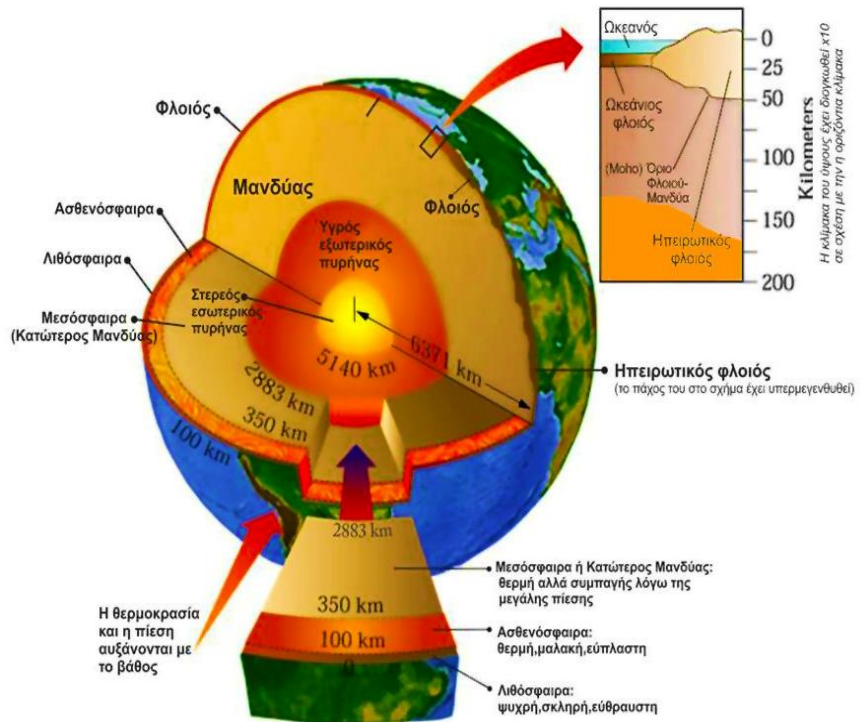
Η πυκνότητα των στρωμάτων της Γης σε g/cm^3

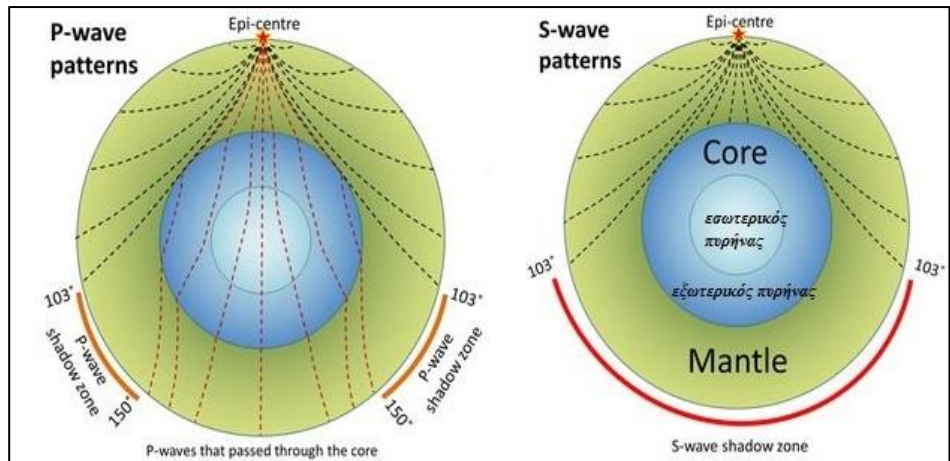
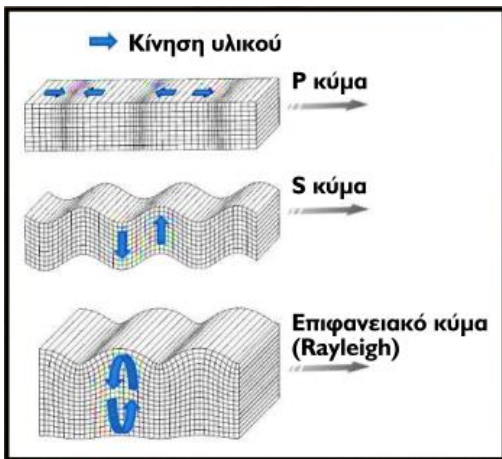
Ηπειρωτικός Φλοιός:	2,7 με 3,0
Ωκεάνιος Φλοιός:	3,0 με 3,3
Μανδύας:	3,3 με 5,7
Εξωτερικός Πυρήνας (υγρός):	9,9 με 12,2
Εσωτερικός Πυρήνας (στερεός):	12,6 με 13,0
Μέση Πυκνότητα Γης:	5,2

1) Ο φλοιός αποτελεί την εξωτερική στοιβάδα της Γης. Εκτείνεται από την επιφάνεια της μέχρι την ασυνέχεια Mohorovicic (Moho). Υπάρχουν δύο είδη φλοιού, **ο ηπειρωτικός και ο ωκεάνιος** που διαφοροποιούνται μεταξύ τους τόσο ως προς το πάχος τους όσο και στη σύστασή τους αλλά και την ηλικία τους. **Το μέσο πάχος του ηπειρωτικού φλοιού είναι περίπου 35 km, κάτω όμως από τις μεγάλες οροσειρές ενώ μπορεί να φτάσει τα 60 – 70 km. Το μέσο πάχος του ωκεάνιου φλοιού είναι 8 km.** Από τον παραπάνω πίνακα με την πυκνότητα των στρωμάτων βλέπουμε ότι ο ηπειρωτικός φλοιός είναι ο λιγότερο πυκνός και σε αυτόν επικρατούν κυρίως το πυρίτιο (Si) και το Αργίλιο (Al) (**γραντιτική σύσταση**) ενώ στον ωκεάνιο το πυρίτιο και το Μαγνήσιο Mg (**βασαλτική σύσταση**). Επιπρόσθετα παρατηρούμε πως η πυκνότητα στο εσωτερικό της Γης συνεχώς αυξάνει συναρτήσει του βάθους. Ο ωκεάνιος φλοιός καταστραφείται στις ζώνες της κατάδυσης όπου η σύγκρουση πλακών οδηγεί σε υποβύθιση του και διάλυση του μέσα στην ασθενόσφαιρα για αυτό και η ηλικία του φθάνει μόλις τα 200 εκατομμύρια χρόνια μετά τη δημιουργία του.

2) Η επιφάνεια που χωρίζει το φλοιό από τον μανδύα είναι η ασυνέχεια Mohorovicic. Ο μανδύας είναι το αμέσως επόμενο στρώμα και φτάνει μέχρι το βάθος των 2.900 km. Ο άνω μανδύας συνίσταται κυρίως από ενώσεις του πυριτίου με βαρέα μέταλλα. Ο κάτω μανδύας συγκροτείται από θειούχες και οξυγονούχες αλλά και πυριτικές ενώσεις του σιδήρου του μαγνησίου και άλλων βαρέων μετάλλων. Το όριο μεταξύ άνω και κάτω μανδύα είναι η ασυνέχεια Repetti ενώ η ασυνέχεια Gutenberg σηματοδοτεί τέλος το διαχωρισμό του μανδύα από τον πυρήνα.

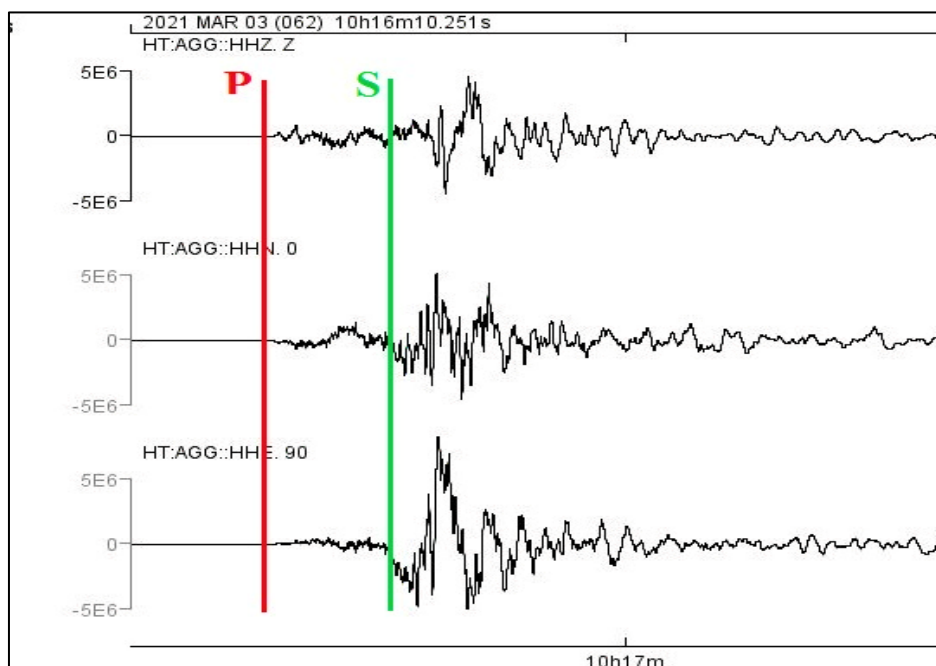
3) Ο πυρήνας διακρίνεται σε εξωτερικό (υγρή/ρευστή κατάσταση κυρίως από σίδηρο) και σε εσωτερικό (στερεή κατάσταση). Χωρίζεται από τον μανδύα με την ασυνέχεια Gutenberg. Την απόδειξη ότι ο εξωτερικός





πυρήνας είναι υγρός έδωσε ο κλάδος της σεισμολογίας που ασχολείται με τη διάδοση των σεισμικών κυμάτων στο εσωτερικό του πλανήτη. Πιο συγκεκριμένα παρατηρήθηκε **η μη διάδοση** των εγκαρσίων κυμάτων S (secondary) δηλαδή των κυμάτων που φθάνουν δεύτερα και που έχουν μεγαλύτερο πλάτος σε μια κυματομορφή όπως αυτή που καταγράφεται από ένα σεισμόμετρο. Τα κύματα S επειδή δεν διαδίδονται στο εξωτερικό πυρήνα η σεισμική σκιά ξεκινά στις 103° εκατέρωθεν του επικέντρου του σεισμού. Μεταξύ 103° και περίπου 150° μοιρών τα κύματα P δεν καταγράφονται και η περιοχή θεωρείται ως σεισμική σκιά. Αντιδιαμετρικά του επικέντρου καταγράφονται κύματα P που διαπέρασαν τον πυρήνα (P-wave Pattern) και σημειώνονται στο σχήμα με κόκκινες διακεκομμένες γραμμές.

Στην παρακάτω εικόνα έχουμε την καταγραφή ενός από τους σεισμούς που συνέβησαν στη Θεσσαλία στις 3 Μαρτίου 2021 με μέγεθος M 6.3 όπως καταγράφηκε από το σταθμό τριών συνιστωσών του ελληνικού σειсмоγραφικού δικτύου AGG (Αγ. Γεώργιος Φθιώτιδας) που βρίσκεται σε απόσταση 77 km νοτιοδυτικά του επικέντρου. Με κόκκινη γραμμή σημειώνεται η άφιξη των επιμήκων κυμάτων (P) (primary) και με πράσινη των εγκαρσίων (S) (secondary). Ο λόγος που παρουσιάζονται 3 κυματομορφές στον ίδιο σταθμό είναι γιατί τα σεισμόμετρα καταγράφουν σεισμική ταχύτητα στις 2 οριζόντιες (HHN, HHE) συνιστώσες αλλά και στην κατακόρυφη συνιστώσα HHZ.

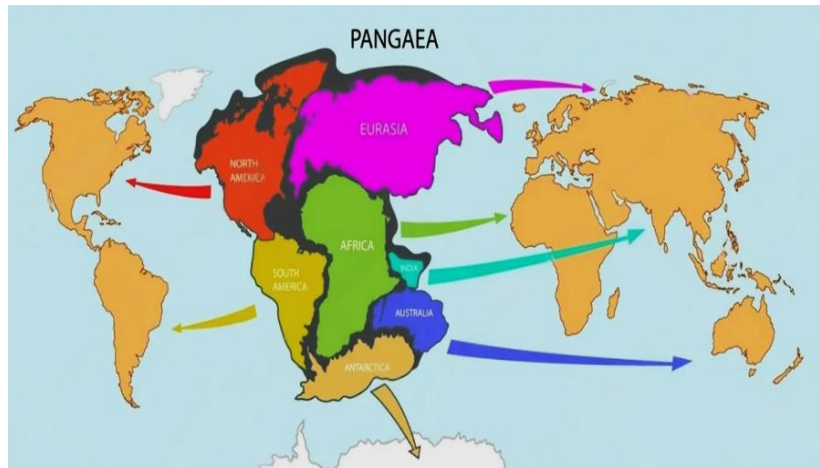




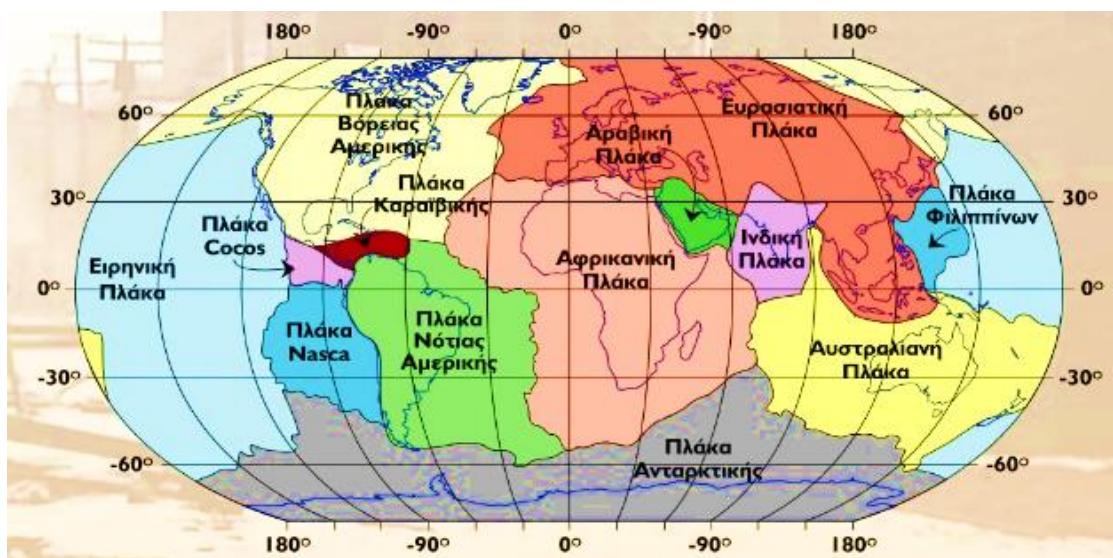
Τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών

Η μορφή της Γης αλλάζει συνεχώς. Ουσιαστικά είναι μια αέναη διαδικασία δημιουργίας και καταστροφής ωκεάνιου φλοιού (για αυτό δεν υπάρχει ωκεάνιος φλοιός ηλικίας αντίστοιχης των ηπείρων, η μέγιστη ηλικία του μπορεί να φθάσει είναι τα 200 εκ. έτη) αλλά και ανόδου μαγματικού υλικού από την ασθενόσφαιρα. Πριν 335 εκατ. χρόνια άρχισε να δημιουργείται μια ενιαία ήπειρος η Παν-γαία ή Παγγαία που αποτελείτο από όλες τις γνωστές μας σημερινές ηπείρους. Το γεγονός αυτό της μάζωσης όλων των ηπείρων και τη δημιουργία μιας ενιαίας υπερ-ηπείρου και μετά τον διαχωρισμό της και την απομάκρυνση των επιμέρους ηπείρων έχει επαναληφθεί τουλάχιστον άλλες 2 φορές στο παρελθόν.

Παρατηρείστε την εικόνα δεξιά όπου φαίνεται πως σταδιακά αποδομήθηκε αυτή η ενιαία ήπειρος και οι ήπειροι που την αποτελούσαν απομακρύνθηκαν σταδιακά μεταξύ τους και χωρίστηκαν σε τμήματα που κινούνται ξεχωριστά. Τι είναι όμως τελικά αυτές οι λιθοσφαιρικές πλάκες και γιατί κινούνται; Μήπως αυτή η κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών δημιουργεί όρη, νησιά, τα ηφαίστεια αλλά γεννά και σεισμούς;



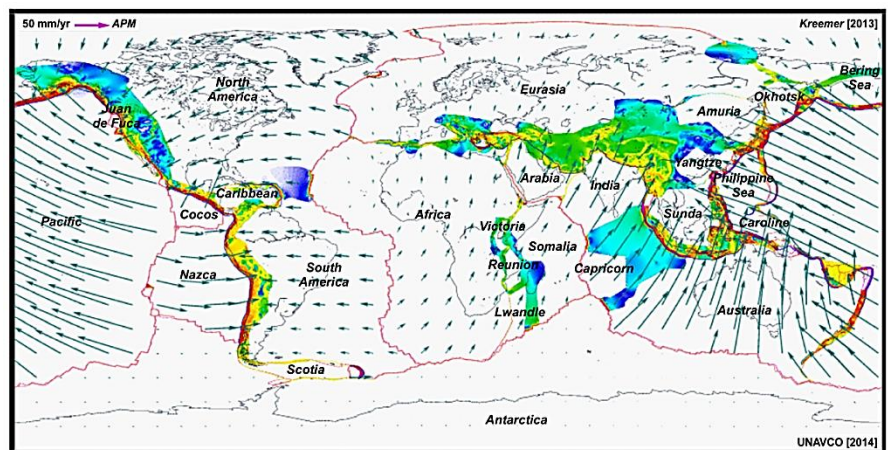
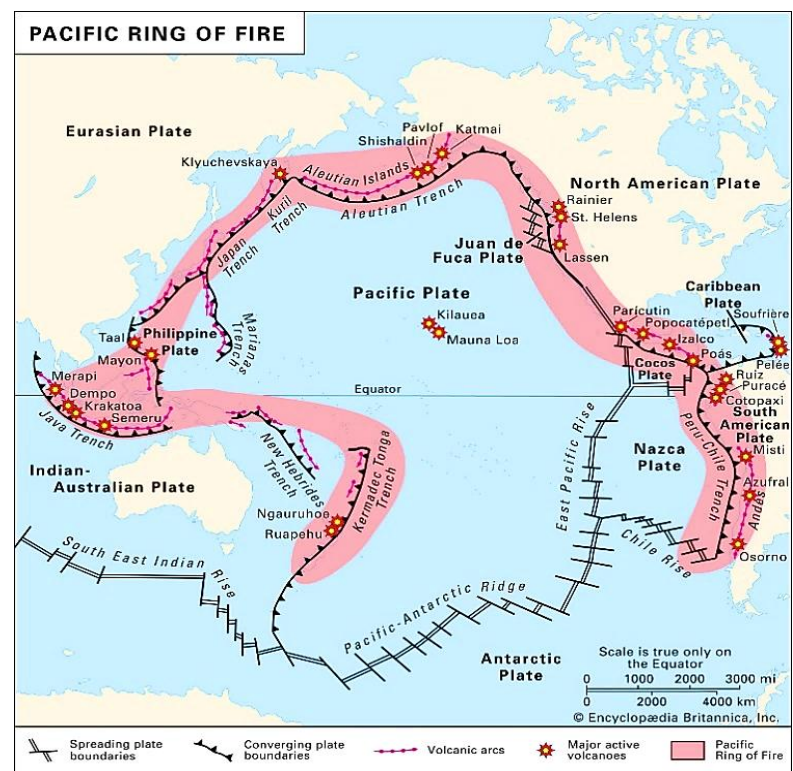
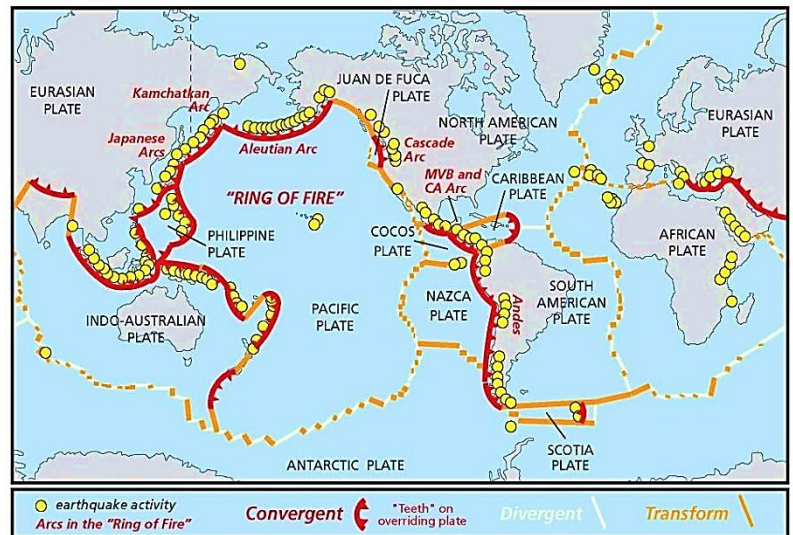
Ως λιθόσφαιρα χαρακτηρίζεται το εξωτερικό δύσκαμπτο περίβλημα της Γης, με μεγάλη διατμητική αντοχή. Περιλαμβάνει το φλοιό και μέρος του στερεού ανώτερου μανδύα. Το πάχος της λιθόσφαιρας κυμαίνεται ανάλογα το πάχος του φλοιού. Στις ωκεάνιες περιοχές το πάχος της λιθόσφαιρας είναι περίπου 80 km, ενώ στις ηπειρωτικές κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150 km. Η λιθόσφαιρα δεν είναι ενιαία αλλά απαρτίζεται από ορισμένες κύριες πλάκες (Αφρικανική, Ευρασιατική, Ινδική, Αυστραλιανή, Ανταρκτική, πλάκα του Ειρηνικού, Βορειο-Αμερικανική, Νοτιο-Αμερικανική, Cocos, Nazca, Καραϊβικής, Sunda) και από πολλές άλλες μικρότερες (π.χ. Scotia, Juan de Fuca, Okhotsk, Σομαλίας, Amur κτλ.), που ολισθαίνουν πάνω στο υποκείμενο παχύρρευστο μανδυακό υλικό την ασθενόσφαιρα, πραγματοποιώντας σχετικές μεταξύ τους κινήσεις. Οι πλάκες αυτές ονομάζονται λιθοσφαιρικές πλάκες.





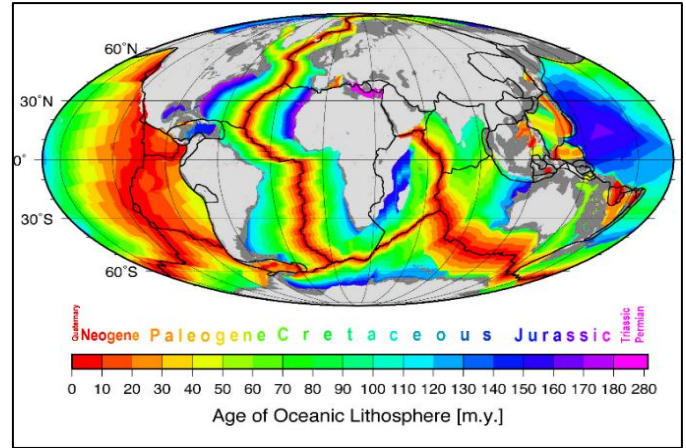
Με γραμμές διαφορετικού χρώματος σημειώνονται τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών ενώ με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι ζώνες υποβύθισης, με λευκό οι περιοχές που οι πλάκες αποκλίνουν (απομακρύνονται, π.χ. οι μεσοωκεάνιες ράχες) και με πορτοκαλί τα ρήγματα μετασχηματισμού. **Εδώ πρέπει να επισημανθεί πως οι πλάκες έχουν όρια τα οποία δεν ταυτίζονται με τα γεωγραφικά όρια των Ηπείρων.** Σαν παράδειγμα θα αναφέρουμε πως η Αφρικανική πλάκα αποτελείται εκτός από ηπειρωτικό φλοιό (που είναι ουσιαστικά η ξηρά που αποκαλούμε ως η ήπειρος της Αφρικής) αλλά και από ωκεάνιο φλοιό. Ο δεύτερος γεννήθηκε από το υλικό της ασθενόσφαιρας που ανήλθε να καλύψει το κενό καθώς οι πλάκες της Ν. Αμερικής και της Αφρικής απομακρύνονται, στη συγκεκριμένη περίπτωση στη ράχη στη μέση του Ατλαντικού Ωκεανού. **Ο ωκεάνιος φλοιός καταστρέφεται στις ζώνες σύγκλισης όπου υποβυθίζεται είτε κάτω από ηπειρωτικό είτε κάτω από άλλο ωκεάνιο φλοιό.** Στην άνω εικόνα παρατηρούμε διάφορες περιοχές όπου οι πλάκες συγκλίνουν όπως στο δυτικό τμήμα του Ειρηνικού ωκεανού (Ιαπωνία, Φιλιππίνες, αλλά και στην Ευρώπη (σύγκρουση Αφρικανικής με Ευρασιατική πλάκα) ή με τη σύγκρουση της πλάκας Νάζκα με την πλάκα της Νοτίου Αμερικής που δημιούργησε την οροσειρά των Άνδεων.

Η τεράστια αυτή ζώνη υποβύθισης που ξεκινά από τη Νέα Ζηλανδία, περνάει στα νησιά του Σολομώντα, μετά στις Φιλιππίνες, στα νησιά της Ιαπωνίας, στις νήσους Κουρίλες, στις Νήσους Αλεούτιες και στον Καναδά, συνεχίζεται ανατολικά στο Μεξικό και τη Νότια Αμερική ονομάζεται και ως δαχτυλίδι της φωτιάς εξαιτίας των δεκάδων ηφαιστειών που τροφοδοτούνται με υλικό από την υποβύθιση και καταστροφή που συντελείται του ωκεάνιου φλοιού.



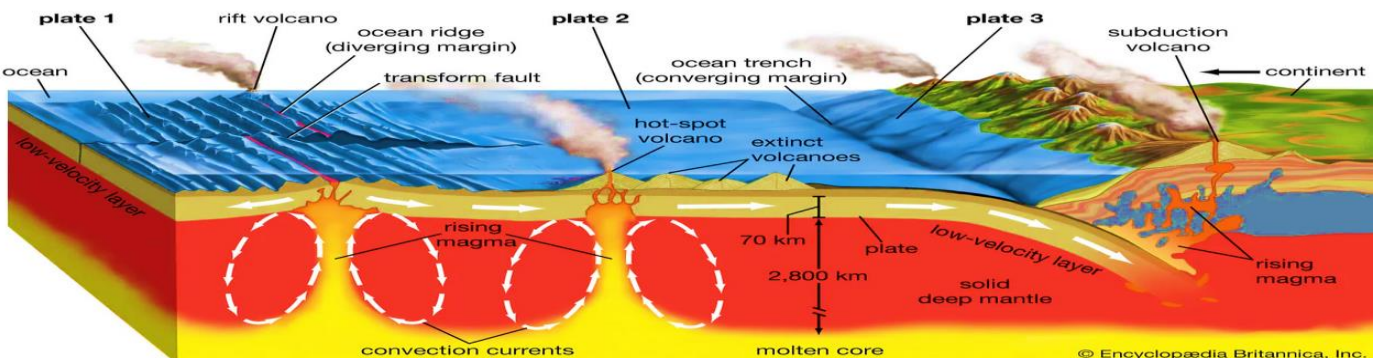
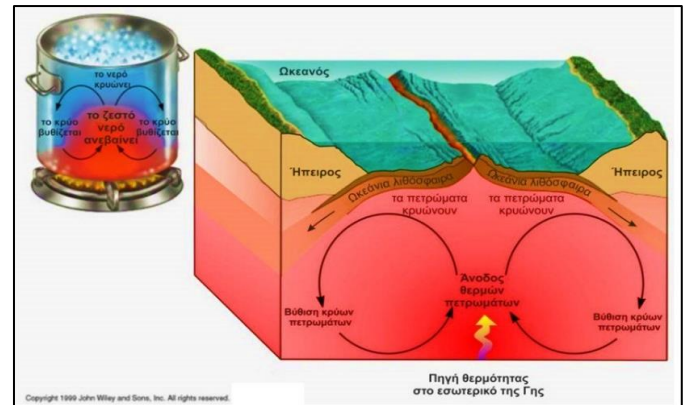


Η ηλικία του ωκεάνιου φλοιού όπως αναμένεται (εξαιτίας των κινήσεων των πλακών που αλλάζουν και καταστρέφουν τον φλοιό που κάποτε δημιουργήσαν) είναι σχετικά πρόσφατη κυμαίνεται κυρίως μεταξύ **0-200 εκατ. έτη** όπου με μηδενική ηλικία νοείται το υλικό που βγαίνει τώρα από τις μεσο-ωκεάνιες ράχεις. Γενικά είναι πολύ πιο νέος αν αναλογιστούμε ότι οι ήπειροι έχουν ηλικία μερικών δισεκατομμυρίων. Στο επόμενο δεξιά με κόκκινο χρώμα απεικονίζονται οι περιοχές που δημιουργείται τώρα νέος ωκεάνιος φλοιός και με μπλε ή μωβ οι περιοχές με τον παλαιότερο ωκεάνιο φλοιό.



Ως ασθενόσφαιρα χαρακτηρίζεται το στρώμα που αρχίζει αμέσως κάτω από τη λιθόσφαιρα και εκτείνεται μέχρι το βάθος των 700 km. Η ασθενόσφαιρα αποτελείται από υλικό αρκετά θερμό, ώστε να παραμορφώνεται εύκολα και να είναι σε θέση να παρουσιάζει εσωτερική ροή. Η υψηλή κινητικότητα του υλικού της ασθενόσφαιρας επιτρέπει στις λιθοσφαιρικές πλάκες να κινούνται υπό την επίδραση των θερμικών ρευμάτων μεταφοράς τα οποία δημιουργούνται στον ασθενόσφαιρικό μανδύα εξαιτίας της διαφοράς σε θερμοκρασίας στο μάγμα μεταξύ των βαθύτερων και ρηχότερων τμημάτων του.

Τα ρεύματα μεταφοράς και οι κινήσεις αυτές μοιάζουν πολύ με τις κινήσεις που παρατηρούμε όταν έχουμε ένα μεταλλικό δοχείο με νερό το οποίο βράζει. Σε αυτό παρατηρούμε ότι στο πάνω τμήμα του δοχείου το νερό κρύνει εξαιτίας της επαφής του με την ατμόσφαιρα ενώ εκείνο που είναι πιο κοντά στην πηγή θέρμανσης είναι πιο ζεστό και έχει την τάση να ανέβει προς τα επάνω. Αυτή η αέναη κίνηση των κυκλικών θερμικών ρευμάτων είναι απολύτως ικανή να κινήσει τις λιθοσφαιρικές πλάκες και αυτό συμβαίνει λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους του πλανήτη καθότι σε έναν μεγαλύτερο πλανήτη το βαρυτικό πεδίο θα ήταν τόσο δυνατό που θα συμπιέζε τις πλάκες σε μεγάλο βαθμό και αυτές με τη σειρά τους δεν θα ήταν δυνατό να μετακινηθούν από τα ρεύματα μεταφοράς καθώς αυτά δεν θα μπορούσαν να υπερνικήσουν τις δυνάμεις του βαρυτικού πεδίου. **Οι λιθοσφαιρικές πλάκες αλλού αποκλίνουν, αλλού συγκλίνουν και αλλού η μία κινείται παράλληλα-εφαπτομενικά σε σχέση με τη διπλανή της (ρήγματα μετασχηματισμού).** Επομένως τριών ειδών κινήσεις μπορούν να συμβούν στα όρια μεταξύ πλακών και όταν αυτές συγκλίνουν κανείς πρέπει να δει το είδος του φλοιού (ωκεάνιου ή ηπειρωτικού) που έρχεται σε επαφή με το φλοιό της άλλη λιθοσφαιρικής πλάκας για να δει αν θα προκύψει ορογένεση και ηφαιστειότητα.





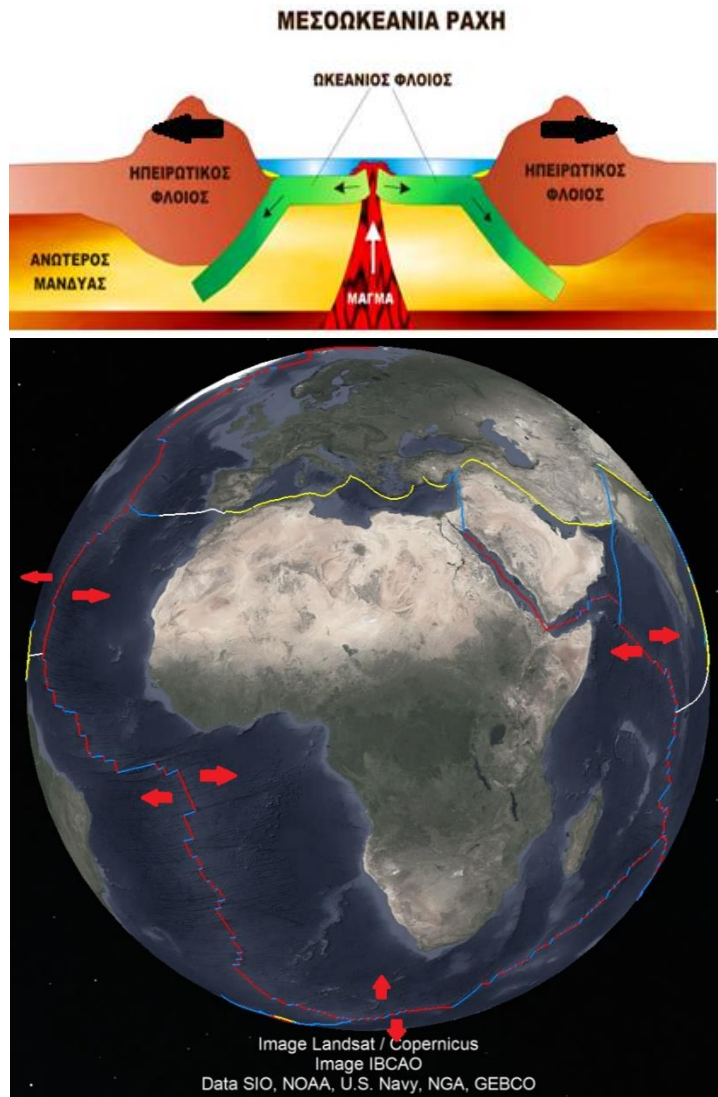
Α. Περιοχές απόκλισης λιθοσφαιρικών πλακών ή όρια εφελκυσμού

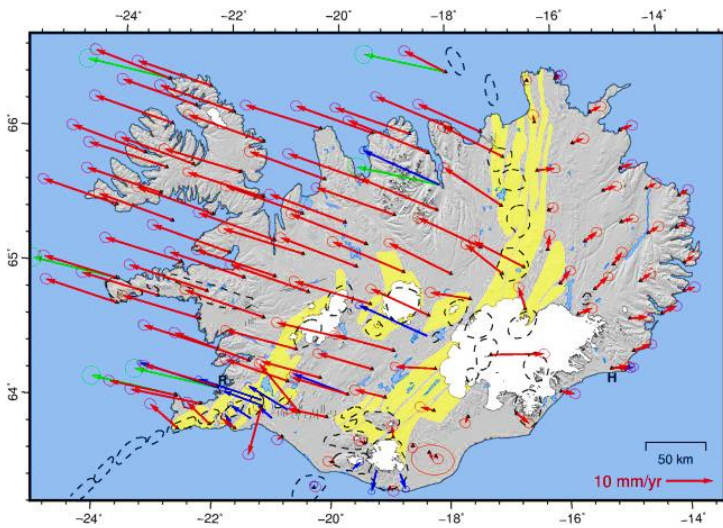
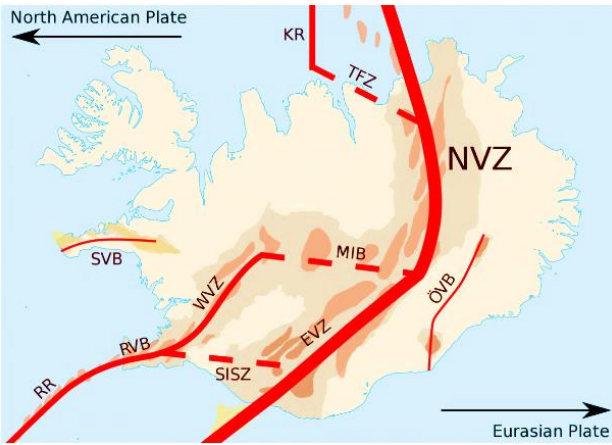
Η διαδικασία αυτή συντελείται στις μεσοωκεάνιες ράχες των μεγάλων ωκεανών και οδηγεί σε σταδιακή απομάκρυνση των πλακών κατά μερικά cm/year εξαιτίας της ανόδου ασθενοσφαιρικού - μαγματικού υλικού, το οποίο στη συνέχεια ψύχεται καθώς απομακρύνεται από τη ράχη και έτσι **δημιουργείται νέα λιθόσφαιρα** ή καλύτερα νέος ωκεάνιος φλοιός κατά μήκος των δύο πλευρών των ράχων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα μεσο-ωκεάνιας ράχης είναι αυτή που εντοπίζεται στην μέση του Ατλαντικού ωκεανού όπου συντελείται η απομάκρυνση της Νοτιο-Αμερικανικής από την Αφρικανική πλάκα (κόκκινα βέλη). Γεωφυσικές έρευνες έδειξαν ότι τα υποθαλάσσια αυτά «βουνά» μπορούν να φθάσουν σε ύψος μέχρι 3.000 m. Το σύστημα αυτό των ζωνών διάρρηξης διασχίζει τον Ατλαντικό ωκεανό από βορρά προς νότο διαγράφοντας μία μορφή S (μεσο - ατλαντική ράχη). Στο νότιο τμήμα στρέφεται προς τα νοτιοανατολικά περνάει μεταξύ Αφρικής και Ανταρκτικής και εισχωρεί στον Ινδικό ωκεανό. Ανατολικά της Μαδαγασκάρης διχάζεται. Ο ένας κλάδος ακολουθώντας βόρεια διεύθυνση, φθάνει στη Αραβική θάλασσα και ενώνεται στον κόλπο του Άντεν με το σύστημα διάρρηξης του βυθίσματος της ανατολικής Αφρικής. Ο άλλος κλάδος ακολουθεί νοτιο- ανατολική διεύθυνση και περνώντας μεταξύ Αυστραλίας και Ανταρκτικής μπαίνει στον Ειρηνικό ωκεανό. Στη συνέχεια κάμπτεται προς βορρά και φθάνει μέχρι το δυτικό μέρος της βόρειας Αμερικής.

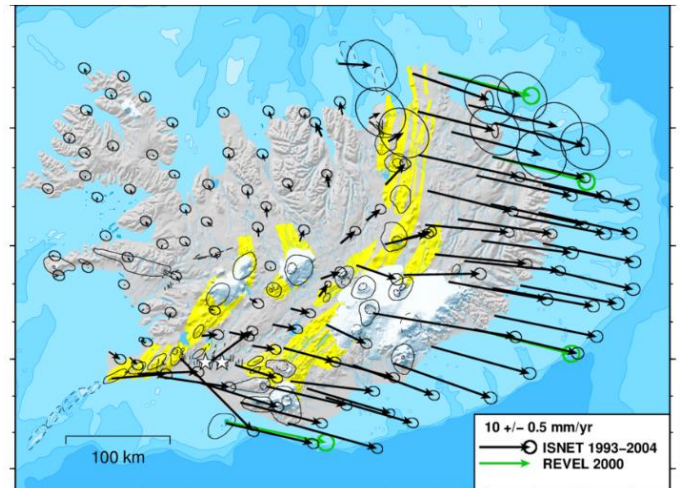
Με την έξοδο του νέου υλικού από τη ράχη, που θα αποτελέσει το νέο ωκεάνιο φλοιό, αυτό σταδιακά ψύχεται και τα μαγνητικά του υλικά προσανατολίζονται ανάλογα με τον προσανατολισμό του εκάστοτε μαγνητικού πεδίου την εποχή εκείνη. Καθώς το γεωμαγνητικό πεδίο αλλάζει φορά περίπου κάθε 1×10^6 έτη μπορούν οι επιστήμονες να εντοπίσουν στρώματα (στην άκρη της ράχης) με εναλλασσόμενη μαγνήτιση (θετική ή αρνητική) τα οποία βοηθούν στον υπολογισμό της χρονικής έναρξης της απομάκρυνσης των δυο πλακών. Μια περιοχή στην οποία μπορούμε να μελετήσουμε το άνοιγμα και την απομάκρυνση 2 λιθοσφαιρικών πλακών είναι το νησί της **Ισλανδίας** στην ΒΔ Ευρώπη. Εκεί παρατηρούμε πλούσια **ηφαιστειακή** δράση εξαιτίας του υλικού που ανέρχεται από την ασθενοσφαιρα και οδηγεί στην απομάκρυνση των πλακών της Βορείας Αμερικής και της Ευρασιατικής περίπου κατά 2 cm/year (όπως αποτυπώνεται από τις κινήσεις που καταγράφουν τα GPS) ενώ οι τάσεις που συσσωρεύονται οδηγούν σε **σεισμούς** ανα περίπου 10 έτη. Καθώς το ένα μέρος του νησιού κινείται δυτικά και το άλλο ανατολικά σε πολλά σημεία του νησιού υπάρχουν κοιλάδες που μαρτυρούν την πλευρική επέκταση του νησιού.

Υ.Γ. Για πολλούς ερευνητές η Ισλανδία δεν είναι απλά ένα νησί που βρίσκεται ανάμεσα σε 2 λιθοσφαιρικές πλάκες αλλά θεωρείται και ότι μπορεί ταυτόχρονα να είναι και ένα θερμό σημείο (hot spot).





Οι κινήσεις του δυτικού τμήματος της Ισλανδίας θεωρώντας την Ευρώπη ακίνητη.



Οι κινήσεις του ανατολικού τμήματος της Ισλανδίας θεωρώντας την Αμερική ακίνητη.



B. Όρια Σύγκλισης-Σύγκρουσης λιθοσφαιρικών πλάκων

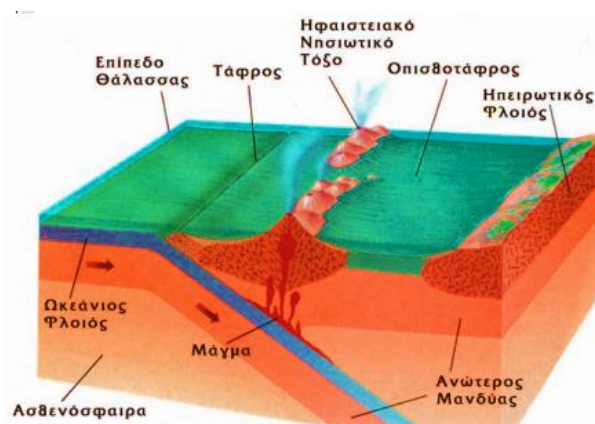
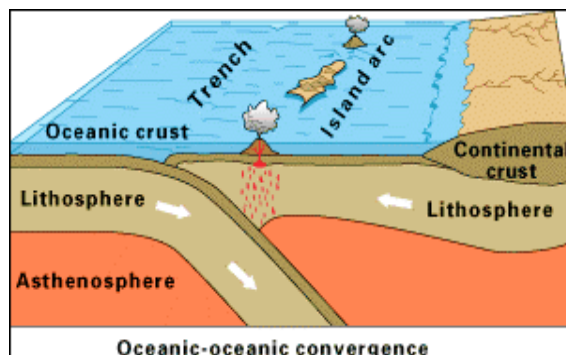
Στην περίπτωση της σύγκλισης των πλακών η πυκνότερη από τις δύο είναι αυτή που βυθίζεται κάτω από την άλλη, έως ότου αυτή να λιώσει υπο-βυθιζόμενη μέσα στο θερμό μανδυακό υλικό κι έτσι καταστρέφεται λιθοσφαιρικό υλικό. Η δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού στις μεσο-ωκεάνιες ράχεις αντισταθμίζεται λοιπόν με την καταστροφή αντίστοιχης ποσότητας στις περιοχές σύγκλισης πλακών, οπότε η συνολική επιφάνεια της Γης παραμένει "σταθερή". Οι εστίες των σεισμών ενδιαμέσου και μεγάλου βάθους δεν κατανέμονται τυχαία στις πλάκες που βυθίζονται, αλλά βρίσκονται σε μία επιφάνεια (στο πάνω μέρος της βυθιζόμενης πλάκας), που κλίνει από το εξωτερικό προς το εσωτερικό μέρος των τόξων. Οι κεκλιμένες αυτές ζώνες πάνω στις οποίες βρίσκονται οι εστίες των σεισμών ενδιαμέσου και μεγάλου βάθους λέγονται ζώνες Benioff προς τιμή του επιστήμονα που προσδιόρισε τις επιφάνειες αυτές και μελέτησε τις ιδιότητές τους. Οι κλίσεις των ζωνών αυτών υπολογίζεται ότι φθάνουν για τα μικρά βάθη τις 30°, ενώ για τα μεγαλύτερα προσεγγίζουν τις 60°. Στη σύγκλιση που οδηγεί σε σύγκρουση των λιθοσφαιρικών πλακών συναντάμε τρεις περιπτώσεις ανάλογα με το είδος του φλοιού που έρχεται σε επαφή καθώς οι πλάκες συγκλίνουν:

1) σύγκλιση ωκεάνιου με ωκεάνιο φλοιό, 2) σύγκλιση ηπειρωτικού με ηπειρωτικό φλοιό και τέλος

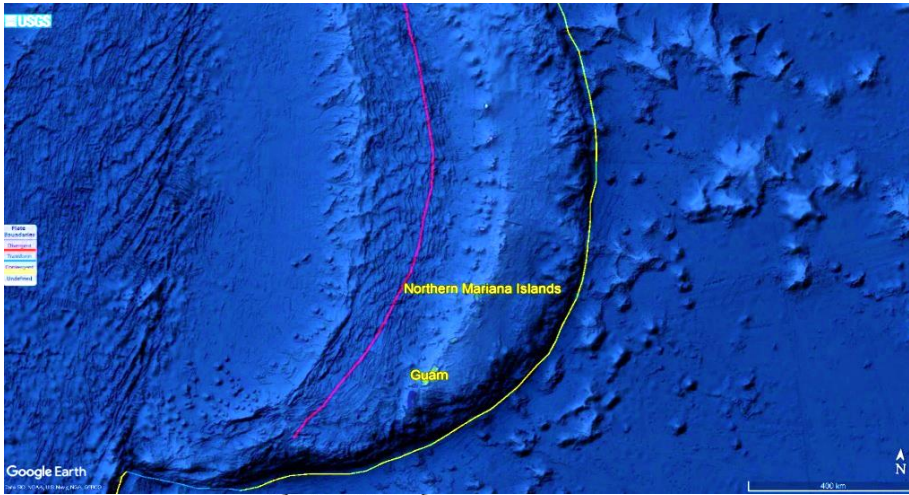
3) σύγκλιση ηπειρωτικού φλοιού με ωκεάνιο όπως συμβαίνει στον ελληνικό χώρο κατά μήκος της τάφρου του νοτίου Αιγαίου. Ξεκινάμε της ανάλυση κάθε περίπτωσης σύγκλισης:

1) Σύγκρουση ωκεάνιου με ωκεάνιο φλοιό

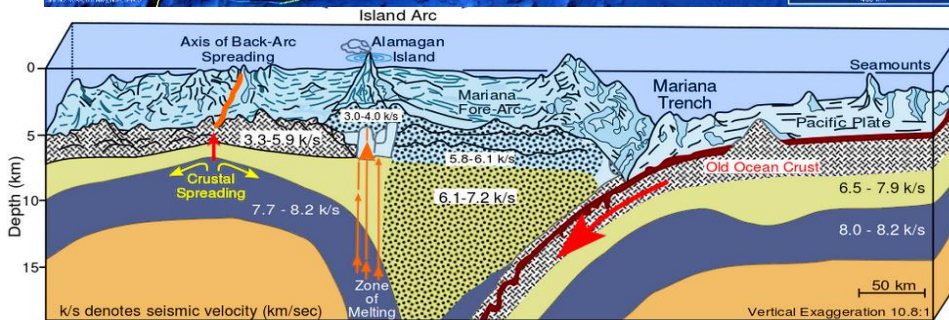
Όταν ο φλοιός και των δύο συγκρουόμενων πλακών είναι ωκεάνιος τότε ο μηχανισμός αυτός δημιουργεί ηφαιστειακά - νησιωτικά τόξα (island arc) πάνω στην ωκεάνια πλάκα που δεν υπο-βυθίζεται ενώ δημιουργούνται και τάφροι σε μεγάλα βάθη της θάλασσας ενώ η κίνηση της πλάκας συνοδεύεται τόσο από επιφανειακούς όσο και από βαθείς **σεισμούς**. Τέτοιες περιπτώσεις σύγκλισης πλακών μεταξύ ωκεάνιων φλοιών, όπου ο ψυχρότερος αλλά και πιο πυκνός και πιο συχνά ο παλαιότερος είναι που πάντα υποβυθίζεται, συναντάμε στη τάφρο των Φιλιππίνων, στη τάφρο των νήσων Μαριανών, αλλά και στην τάφρο της Καραϊβικής πχ με το τόξο των νήσων όπως η Γουατεμάλα, η Μαρτινίκα, η Αγία Ελένη και άλλες. Στα νησιωτικά τόξα, έχει παρατηρηθεί, ότι το τμήμα της βυθιζόμενης πλάκας μπορεί να φθάσει μέχρι και το βάθος των 700 km περίπου. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες σχετιζόμενες με την τάφρο των Μαριανών όπου ο ωκεάνιος φλοιός του Ειρηνικού υποβυθίζεται και δημιουργεί ένα νησιωτικό και ηφαιστειακό τόξο στο οποίο ανήκουν οι Βόρειες Μαριάνες νήσοι το Guam και το νησί Alamagan.



Η τάφρος στις νήσους Μαριάνες

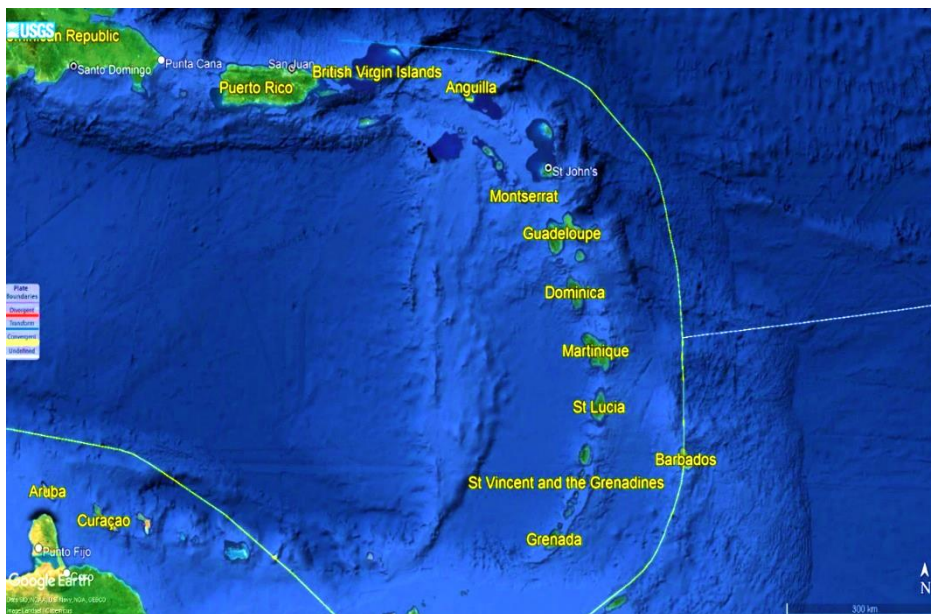


Η ζώνη σύγκρουσης με κίτρινη γραμμή μεταξύ 2 ωκεάνιων πλακών στον Ειρηνικό που οδηγεί στη δημιουργία νησιωτικού τόξου (Νήσοι Μαριάνες, Γκουάμ, Alamagan).



- Island arc crust, including rocks from contemporary volcanism and from older, rifted, volcanic arcs.
- Basaltic crust, including old crust on the Pacific Plate and young crust formed in the back-arc.

Cross-Section Sketch of Mariana Arc
(After Hussong and Fryer, 1981)

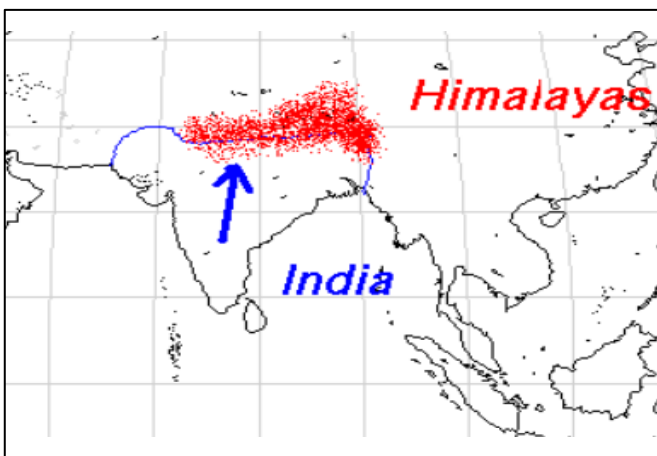


Η τάφρος του Πουέρτο Ρίκο και των μικρών Αντιλλών. Στην τάφρο του Πουέρτο Ρίκο γίνεται η υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Β. Αμερικής κάτω από την πλάκα της Καραϊβικής και της Ν. Αμερικής κάτω από την πλάκα της Καραϊβικής εξαιτίας της κίνησης της πλάκας της Καραϊβικής προς τα ανατολικά.

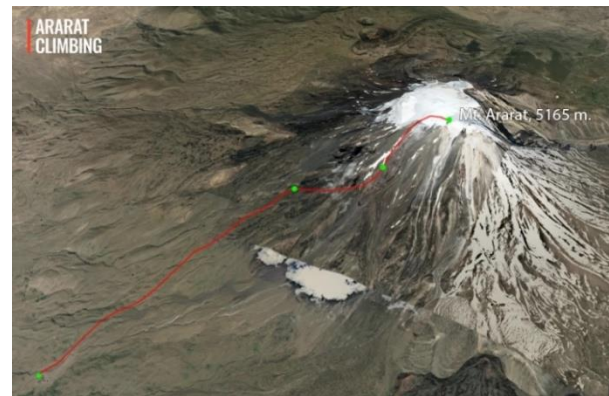
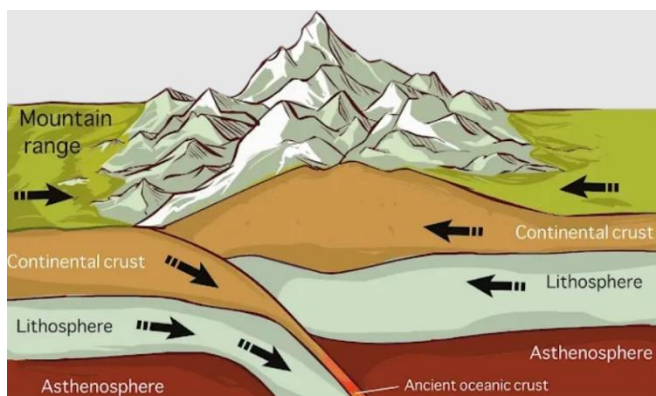


2) Σύγκρουση ηπειρωτικού με ηπειρωτικό φλοιό

Στην ειδική περίπτωση που έχουμε σύγκλιση μεταξύ δύο **ηπειρωτικών ορίων**, επειδή ο «ελαφρύς» και παχύς ηπειρωτικός φλοιός δεν μπορεί να βυθιστεί εύκολα μέσα στον μανδύα όπως ο ωκεάνιος, έχουμε θραύση και πτύχωση των πετρωμάτων και **ανύψωση μεγάλων οροσειρών** που ονομάζεται και ορογένεση (παραδείγμα, όπως φαίνεται στην εικόνα παρακάτω, τα Ιμαλαία δημιουργήθηκαν εξαιτίας της σύγκλισης της Ινδικής με την Ευρασιατική πλάκα που ξεκίνησε πριν 25 εκατ. έτη περίπου. Στην ηπειρωτική σύγκρουση τα πυκνότερα υλικά κινούνται προς το εσωτερικό της Γης ενώ αυτά με την μικρότερη πυκνότητα κινούνται ανοδικά και γεννούν τις οροσειρές. Στη σύγκρουση αυτή οφείλεται και πολύ έντονη **σεισμικότητα** στην ευρύτερη περιοχή των Ιμαλαίων, σημειώνονται με κόκκινο χρώμα στον παρακάτω χάρτη. Να θυμίσουμε ότι η Ινδία βρισκόταν Νότια και Ανατολικά της Αφρικής και έκανε ένα πολύ μεγάλο ταξίδι για δεκάδες εκατομμύρια έτη κινούμενη προς τα Βόρεια και Ανατολικά για να συγκρουστεί με την πλάκα της Ευρασίας. Δηλαδή μπορεί οι κινήσεις των πλακών να είναι της τάξης 2-10 cm/yr αλλά σε βάθος εκατομμυρίων ετών οι πλάκες μετακινούνται κατά εκατοντάδες ή και χιλιάδες χιλιόμετρα.



Σε αυτό το είδος σύγκρουσης συνήθως **δεν έχουμε εκδήλωση ηφαιστειότητας** λόγω της δυσκολίας του ηπειρωτικού φλοιού να υποβυθιστεί. Ωστόσο σε μερικές **σπάνιες** περιπτώσεις δημιουργήθηκαν ηφαίστεια που δεν συνδέονται με υλικό που υποβυθίστηκε και έλιωσε μέσα στην ασθενόσφαιρα. Τέτοια ηφαίστεια είναι το Αραράτ στην Τουρκία κοντά στα σύνορα με την Αρμενία, παρακάτω εικόνα, (σύγκρουση αραβικής με ευρασιατική πλάκα) ή τα ηφαίστεια Sahand και Sabalan στο Ιράν. Η άνοδος της λάβας στα παραπάνω μέρη ευνοήθηκε από τις ζώνες τοπικών ρηγμάτων και προκλήθηκε από την αυξημένη θερμότητα και την πίεση που ασκείται στα πετρώματα του μανδύα κάτω από τον φλοιό της σύγκρουσης.





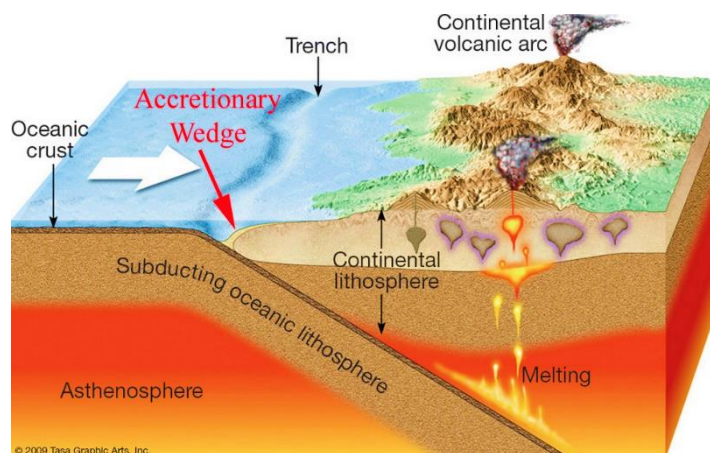
3) Σύγκρουση ωκεάνιου με ηπειρωτικό φλοιό.

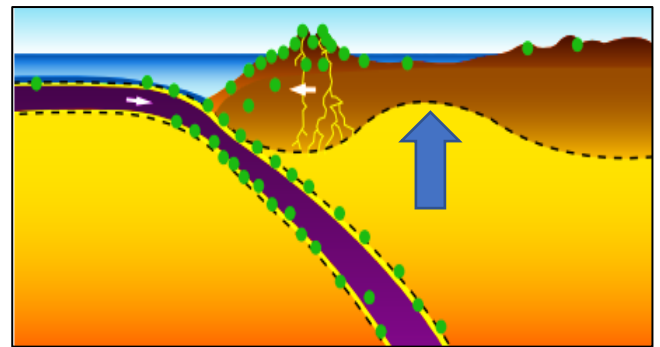
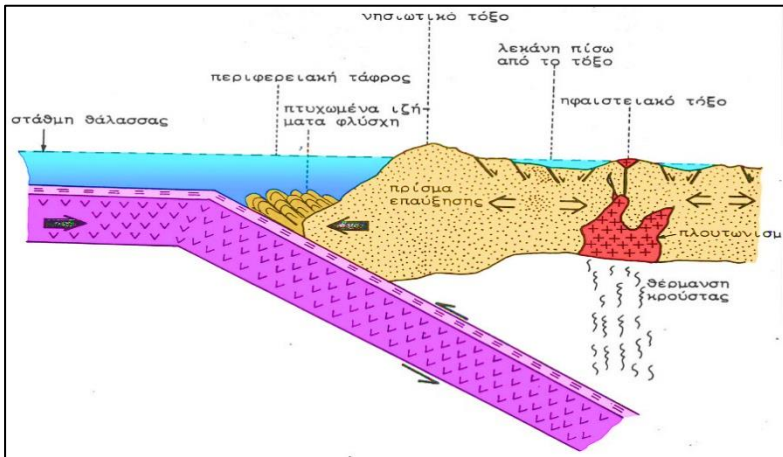
Ο μηχανισμός σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών σε αυτήν την περίπτωση πραγματοποιείται με την υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού κάτω από τον ηπειρωτικό, δημιουργώντας τάφρους σε μεγάλα βάθη της θάλασσας, **επιφανειακούς και βαθείς σεισμούς**, ηφαιστειότητα αλλά ακόμα και παρακείμενες οροσειρές. Η περιοχή της σύγκρουσης των πλακών ονομάζεται και τόξο και στην Ελλάδα έχει μήκος περίπου 1000 km. Το πρότυπο αυτό ακολουθεί και η σύγκλιση της Αφρικανικής πλάκας με την πλάκα του Αιγαίου που

ξεκίνησε πριν 65 εκατ. έτη (Αλπική ορογένεση) και δημιουργεί την μεγάλη **σεισμικότητα** που παρουσιάζει η Ελλάδα στην ευρύτερη περιοχή του τόξου του νοτίου Αιγαίου αλλά και τροφοδοτεί με ρευστό υλικό τα δεκάδες ηφαίστεια στον ελληνικό χώρο (ηφαιστειακό τόξο, Σαντορίνη, υποθαλάσσιο ηφαίστειο Κολούμπο, Χριστιανά Θήρας, Νίσυρος, Κως, Γυαλί, Μέθανα, Σουσάκι, Μήλος κ.τ.λ.). Το ηφαιστειακό τόξο τροφοδοτείται με υλικό εξαιτίας του λιώσιμου της υποβυθιζόμενης πλάκας και βρίσκεται πάντα προς την ίδια μεριά της ζώνης κατάδυσης εκεί που βρίσκονται και οι σεισμοί βάθους. Μπροστά από το νησιωτικό τόξο που δημιουργείται λόγω της ορογένεσης (περιφερειακή τάφρος) σημειώνονται τα μεγαλύτερα βάθη στο θαλάσσιο χώρο. Πίσω από το νησιωτικό τόξο, στην περιοχή που αποκαλείται, οπισθοτάφρος σχηματίζονται πλέον δυνάμεις εφελκυσμού (κίτρινα βέλη στο χάρτη της Ελλάδος) στην κάτω επιφάνεια της λιθοσφαιρας που συνδέονται με κανονικά ρήγματα, π.χ. τα ρήγματα στον Κορινθιακό Κόλπο, είτε βόρεια της Κρήτης που δίνουν πολύ συχνά **επιφανειακούς σεισμούς**.

Επομένως πρέπει να γίνει αντιληπτό πως:

- 1)** πέρα από τους σεισμούς που συνδέονται άμεσα με τη ζώνη υποβύθισης (κόκκινα βέλη στο χάρτη δείχνουν τις Σ1, Σ2 περιοχές συμπίεσης λόγω των συγκρούσεων των πλακών που εκδηλώνονται με ανάστροφα ρήγματα στην τάφρο του Αιγαίου) οι οποίοι μπορεί να είναι είτε ρηχοί πριν τη ζώνη υποβύθισης, είτε ενδιάμεσου βάθους, είτε βαθείς στη ζώνη υποβύθισης λόγω της κλίσης που έχει η υποβυθιζόμενη πλάκα, έχουμε και
- 2)** εκείνους που συμβαίνουν στον ηπειρωτικό φλοιό στην οπισθοτάφρο σε κανονικά ρήγματα λόγω των εφελκυστικών κινήσεων (slab rollback theory) (π.χ. σεισμός Αθήνας 1999, σεισμός Καλαμάτας 1986, σεισμός Σπάρτης 464 π.Χ., σεισμοί στις Αλκυονίδες 1981, σεισμός στο Βόλο 1980, σεισμός Θεσσαλονίκης 1978) και
- 3)** σεισμούς στο Β. Αιγαίο εξαιτίας της κίνησης προς τα δυτικά της Τουρκικής πλάκας (η οποία σπρώχνεται προς τα δυτικά από την κίνηση της Αραβικής προς Βορρά με ταχύτητα 20mm/yr), που έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση του δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης της Βόρειας Ανατολίας στο χώρο του Αιγαίου αλλά και τη διακλάδωση του δημιουργώντας σύνθετες δομές όπως η λεκάνη του Β. Αιγαίου με σημαντικά ρήγματα βόρεια των Σποράδων ή Βόρεια της Λέσβου.

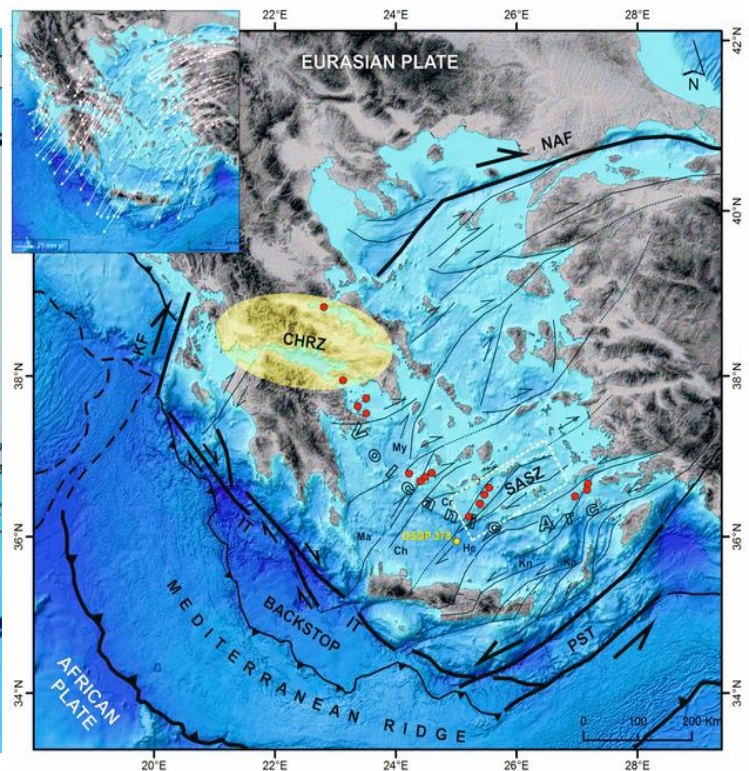




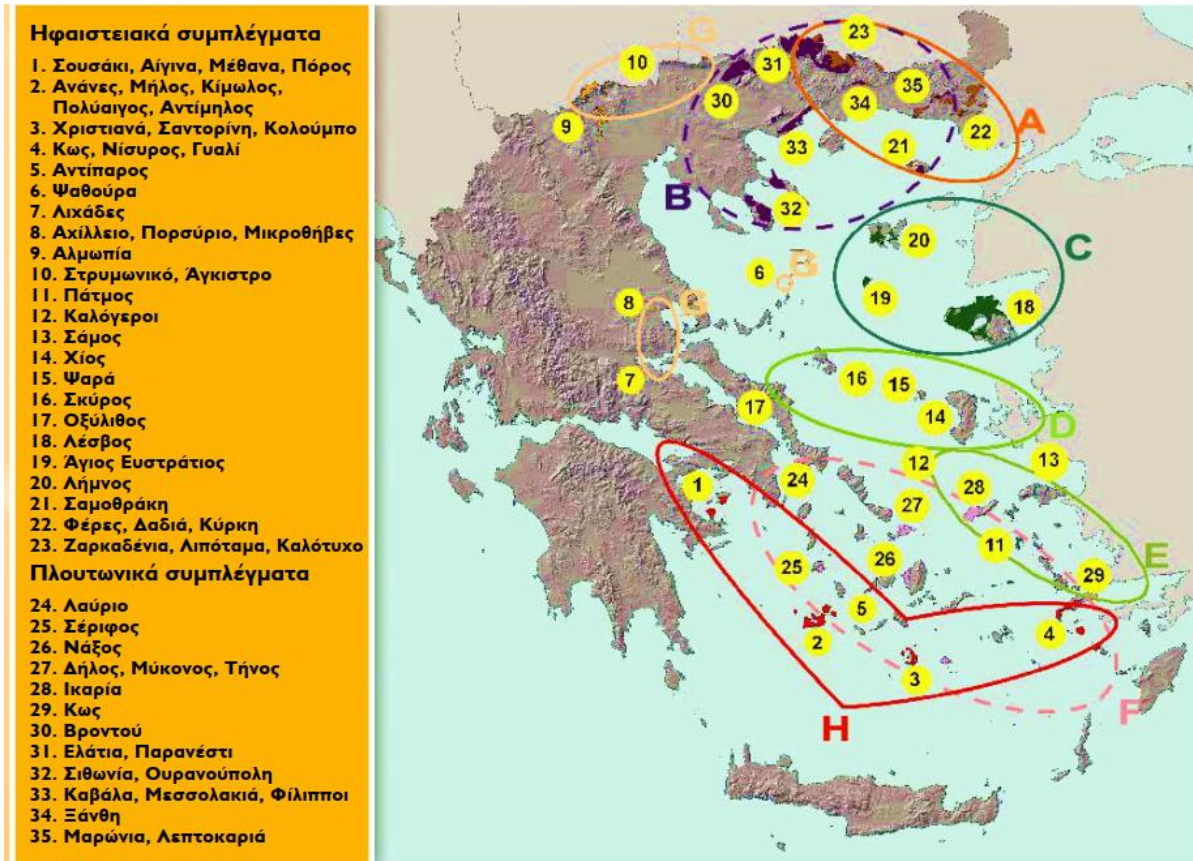
Νησιωτικό τόξο, οπισθοτάφρος και ηφαιστειακό τόξο.

Η κατανομή των επικέντρων (με πράσινο χρώμα) σε μια περιοχή σύγκλισης

Η ταχύτητα κίνησης της Ευρασιατικής πλάκας προς Νότο φθάνει τα 35 mm/yr (3.5 cm ή 0,035 m) ανά έτος δηλαδή θα έχει διανύσει 350 km (όσο η απόσταση από την Αίγυπτο) σε 10 με 12 εκατομμύρια έτη από σήμερα. Η ταχύτητα κίνησης της Αφρικανικής πλάκας προς τα βόρεια έχει ταχύτητα 20 mm/yr. Η ηφαιστειότητα θα προχωρήσει σταδιακά νοτιότερα στην περιοχή της Κρήτης και θα ολοκληρωθεί με τη ολική σύγκρουση της Αφρικανικής με την Ευρασιατική πλάκα ανυψώνοντας νέες περιοχές και καταργώντας το σημερινό θαλάσσιο χώρο νότια της Κρήτης. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το πόσο δυνατοί είναι οι σεισμοί που έχουν συμβεί στο παρελθόν να αναφέρουμε ενδεικτικά ότι ο σεισμός στην Κρήτη το 365 μ.Χ. (M 8.4) ανύψωσε τη δυτική Κρήτη έως και 9 μέτρα.



Konstantina Tsampouraki-Kraounaki et al. 2021 Geosciences Vol. 11 issue 5.



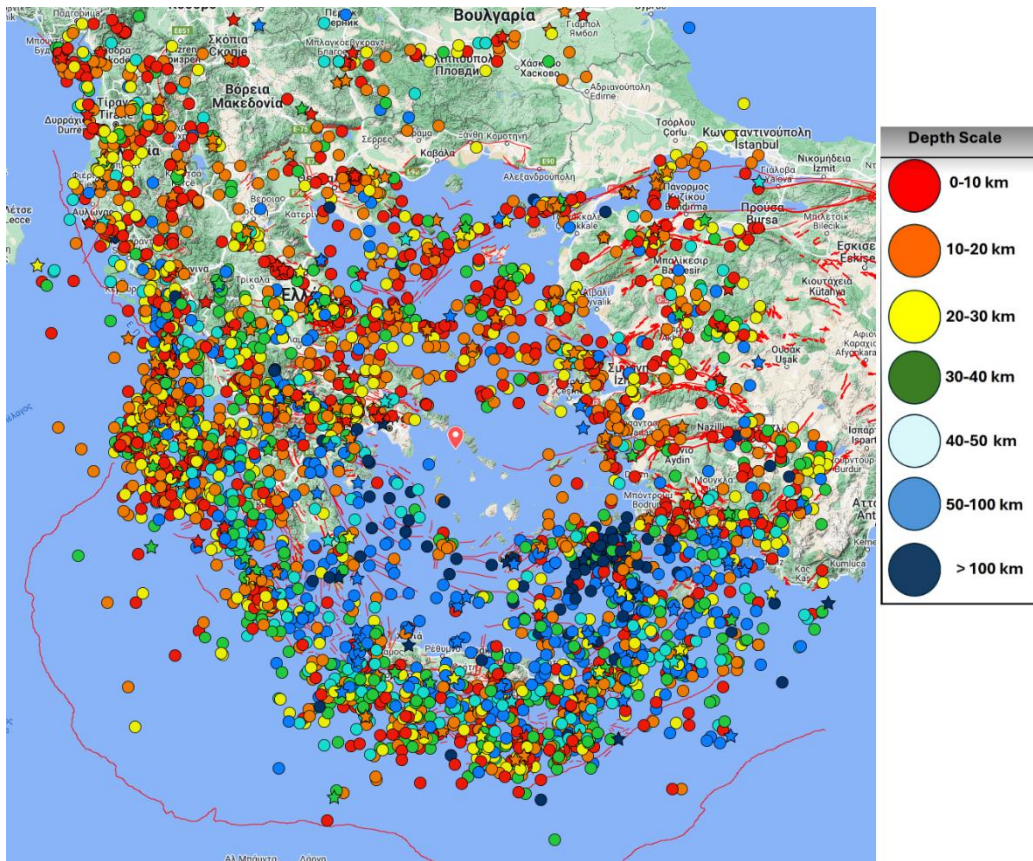
Με το πέρασμα των εκατομμυρίων ετών το ηφαιστειακό τόξο της Ελλάδος μεταφέρεται σταδιακά προς Νότο. Παλαιότερα η ηφαιστειότητα εκδηλωνόταν στον Έβρο και στη Ροδόπη, αργότερα στην Λέσβο και τη Λήμνο, πιο μετά στη Χίο.



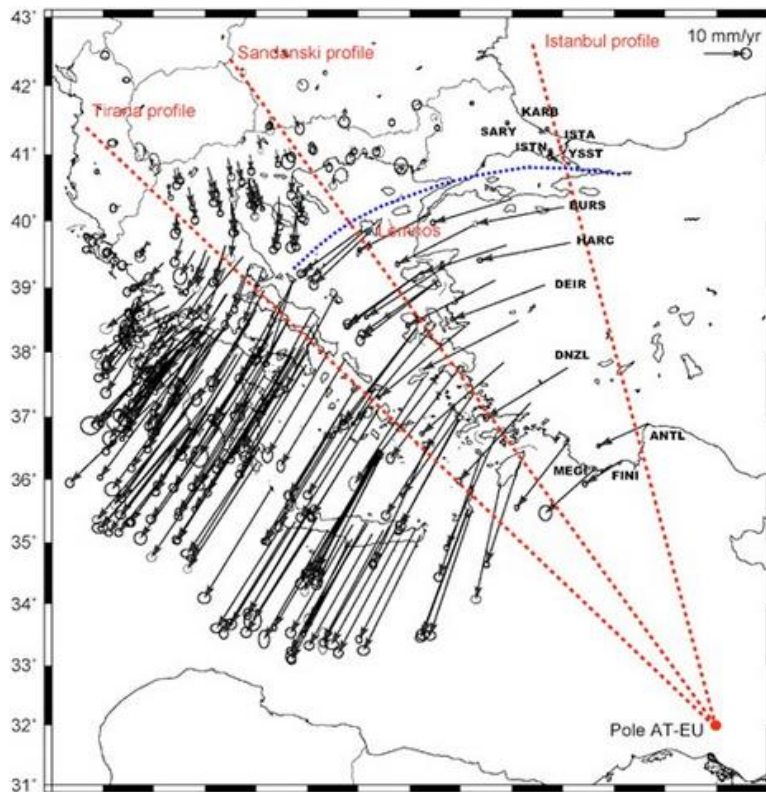
Στρώματα ηφαιστειακής στάχτης σχηματίζουν εντυπωσιακό ανάγλυφο στη Μήλο.



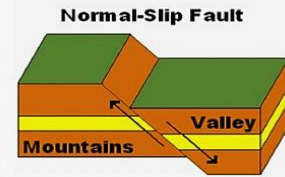
Εικόνα από την περιοχή του ηφαιστείου του Σουσακίου στην περιοχή Άγιοι Θεόδωροι



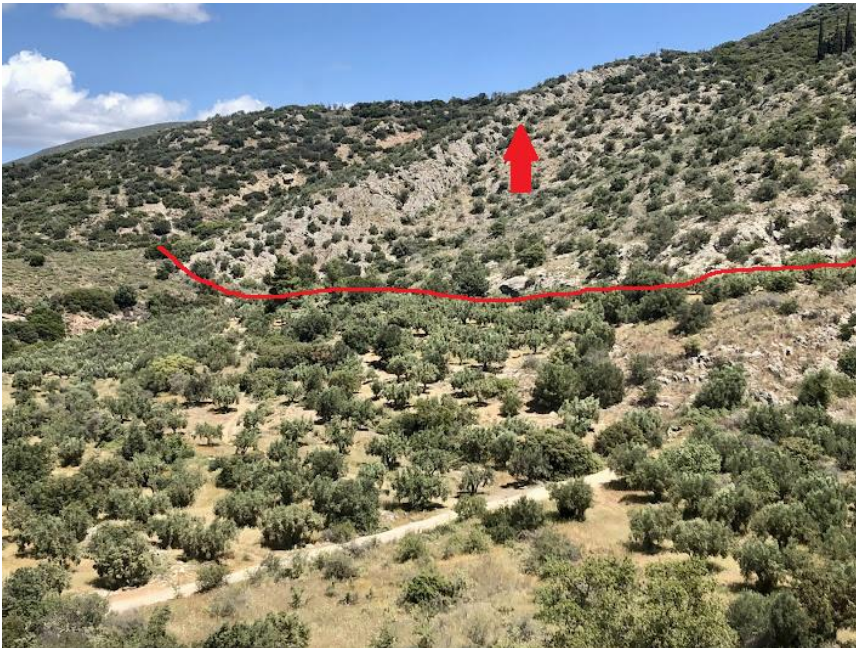
Σεισμοί Ελλάδος, 1896-2023 $M > 4.4$. Με σκούρο μπλε χρώμα οι βαθύτεροι σεισμοί που σημειώνονται μεταξύ Κυκλάδων και Δωδεκανήσων και προδίδουν ότι ο ωκεάνιος φλοιός της Αφρικής εκεί μπορεί να έχει φθάσει σε βάθη που ξεπερνούν τα 120 χλμ.



Οι κινήσεις προς Νότο της Ελλάδος με βάση τις μετρήσεις των GPS.



Κανονικό Ρήγμα στην οπισθοτάφρο στην περιοχή του Γερολιμένα της Μάνης. Η κατοπτρική επιφάνεια του ρήγματος συνεχίζεται υποθαλάσσια φθάνοντας σε μεγάλο βάθος.



Κανονικά ρήγμα στις Μυκήνες

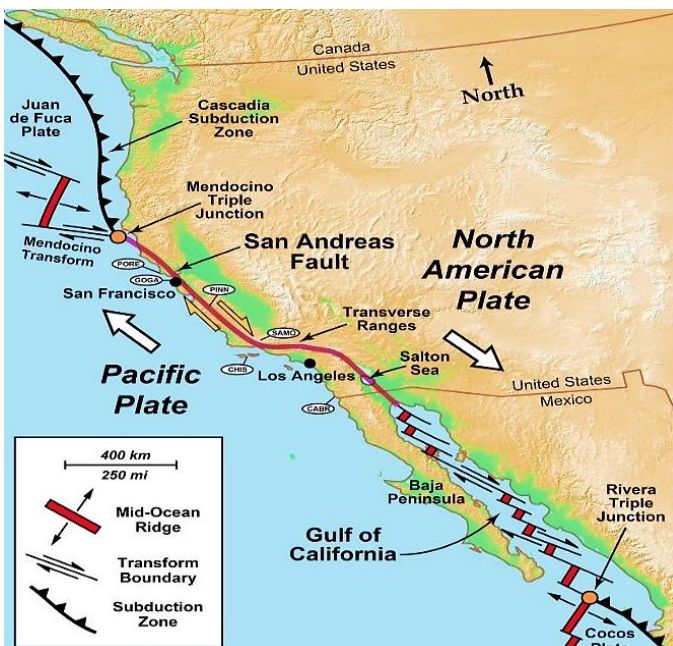
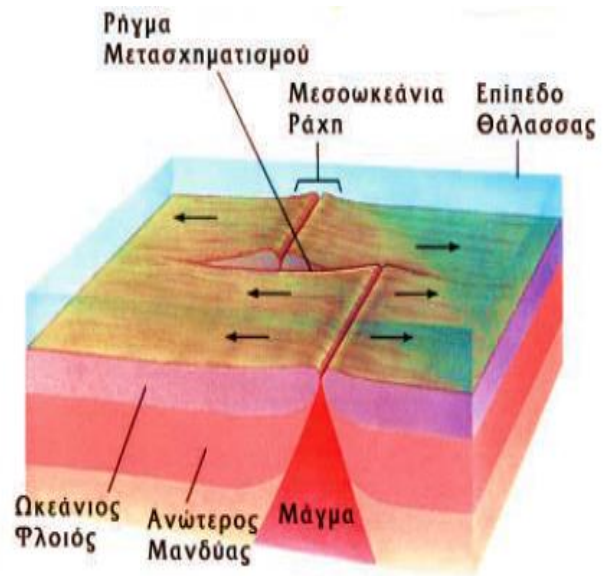


Εικόνα από το αρχαίο λιμάνι στα Φαλάσαρνα που βρίσκεται σε υψόμετρο 6μ μετά το σεισμό του 365 μ.Χ.



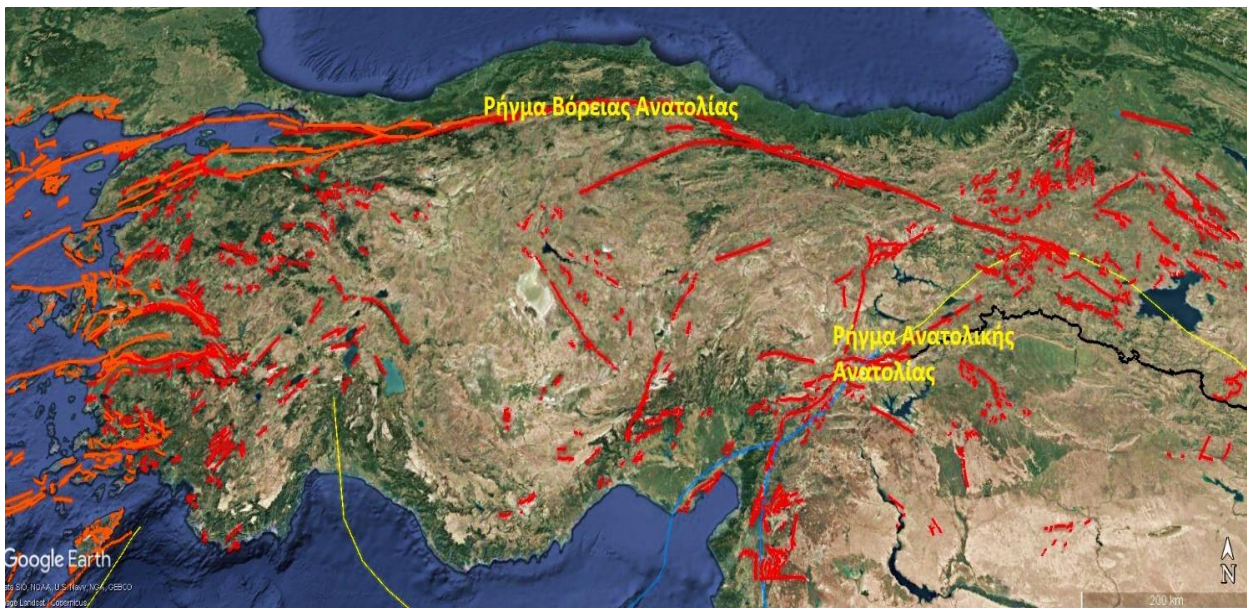
Γ. Ρήγματα μετασχηματισμού ή οριζόντιας ολίσθησης

Στις περιοχές που ολισθαίνουν οριζόντια η μία πλάκα σε σχέση με την άλλη χωρίς να συγκρούονται ή να αποχωρίζονται (χωρίς δημιουργία ή καταστροφή λιθόσφαιρας), η κίνηση γίνεται κατά μήκος κατακόρυφων ρηγμάτων μετασχηματισμού. Τα ρήγματα μετασχηματισμού όπως βλέπουμε και από το σχήμα στα δεξιά έχουν διεύθυνση η οποία είναι κάθετη στις ζώνες διάνοιξης (μεσο-ωκεάνια ράχες). Εκεί οι **σεισμοί** είναι συχνό φαινόμενο λόγω της τριβής ανάμεσα στα όρια των πλακών. Από την οριζόντια σχετική μετακίνηση των πλακών **δημιουργούνται επιφανειακοί σεισμοί**. Το γνωστό ρήγμα της Βόρειας Ανατολίας αλλά και του Αγίου Ανδρέα (San Andreas) στην Καλιφόρνια, μήκους 1200 km που εμφανίζεται κατά μήκος της επαφής της πλάκας του Ειρηνικού με τη Βορειο-Αμερικανική, αποτελούν χαρακτηριστικά τέτοια παραδείγματα. Η επαφή χαρακτηρίζεται από διαφορετικές γεωλογικές συνθήκες εκατέρωθεν αυτής και από ισχυρότατους επιφανειακούς σεισμούς π.χ. Los Angeles 1857, San Francisco 1906, Loma Prieta 1989, Northridge 1984. Η πλάκα του Ειρηνικού κινείται προς τα βορειοδυτικά και η Βορειο-Αμερικανική προς τα νοτιοδυτικά. Το ρήγμα τερματίζει βόρεια στην περιοχή του τριπλού σημείου Mendocino και νότια στον κόλπο της Καλιφόρνιας.





Εικόνες καταστροφών μετά το σεισμό του 1906 στην Καλιφόρνια που συνέβη στο Ρήγμα του Αγίου Ανδρέα.



Το δεξιόστροφο ρήγμα μήκους εκατοντάδων χιλιομέτρων της Βόρειας Ανατολίας που εισέρχεται στον Ελληνικό χώρο και προξενεί ισχυρούς σεισμούς στη Χαλκιδική και στις Β. Σποράδες.



Μετατόπιση τουλάχιστον 2 μέτρα της σιδηροδρομικής τροχιάς μετά το σεισμό του 1999 (Ιζμίτ) στην Τουρκία σε τμήμα του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης της Βόρειας Ανατολίας.

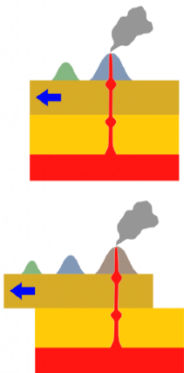
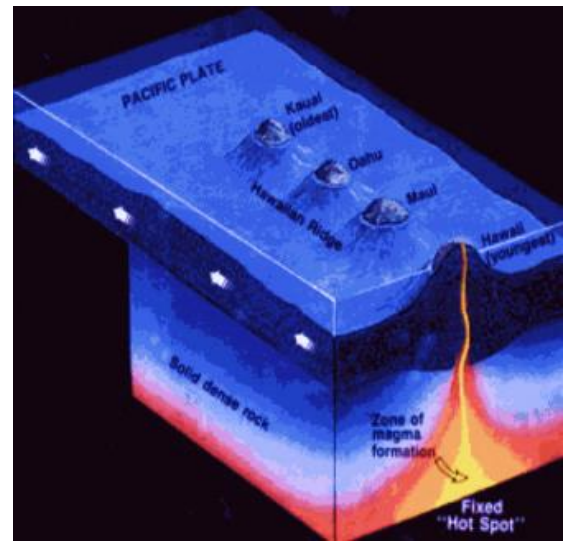
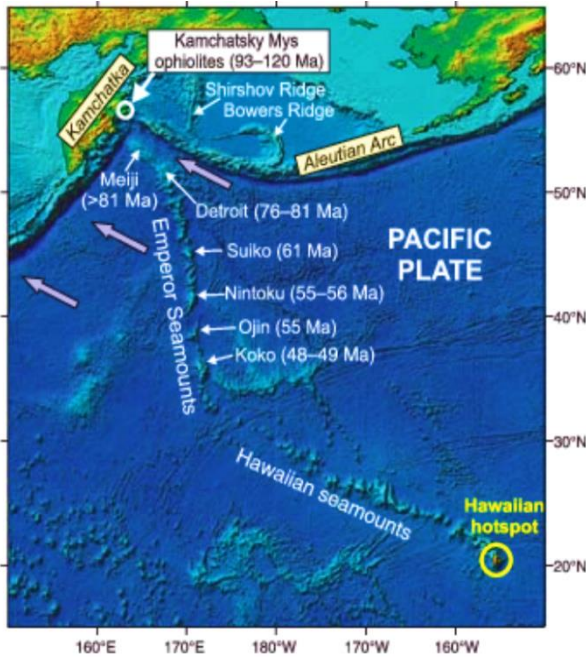


Μετατόπιση τουλάχιστον 2 μέτρα της σιδηροδρομικής τροχιάς μετά το σεισμό του 2023 M7.8 στην Τουρκία σε τμήμα του ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης της Ανατολικής Ανατολίας.

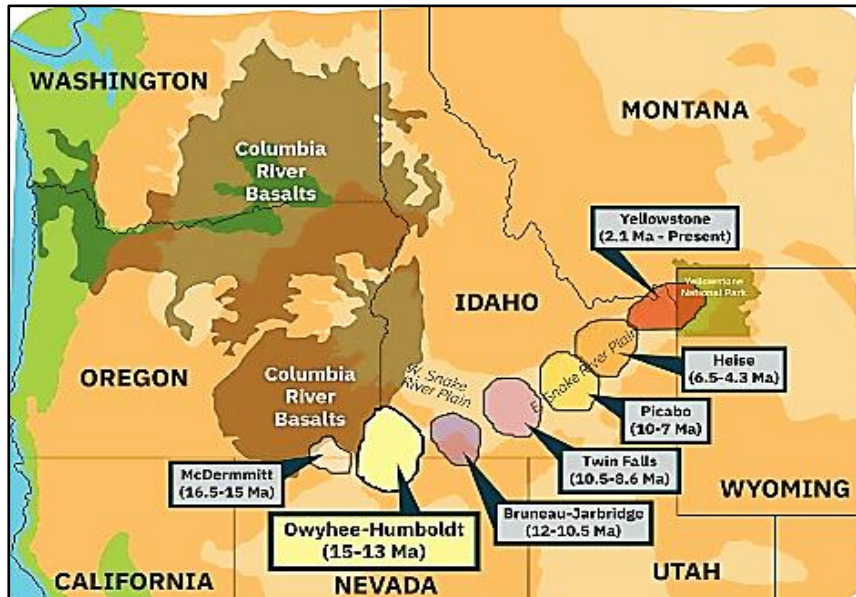
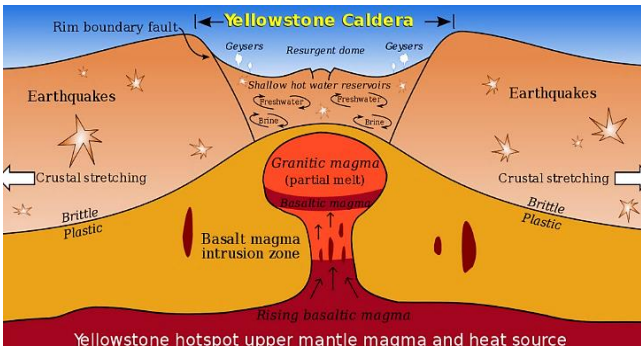


Δ. Θερμές κηλίδες (Hot Spots)

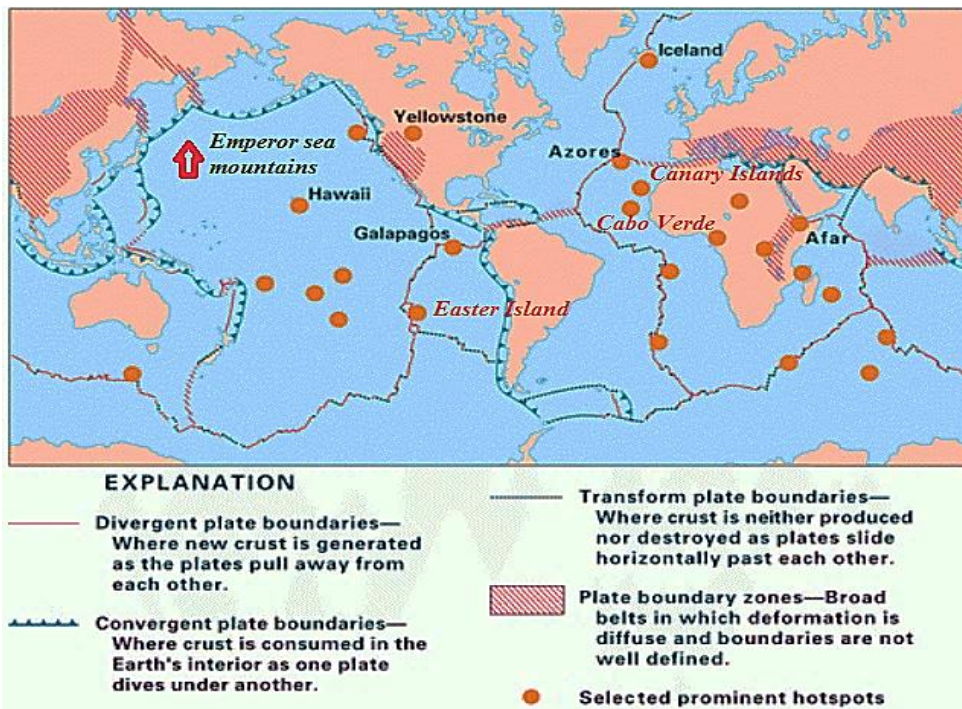
Το μεγαλύτερο πλήθος ηφαιστειακών φαινομένων παρατηρείται στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών (συγκλίνουσες και αποκλίνουσες πλάκες). Υπάρχουν όμως περιοχές της Γης όπως τα νησιά της Χαβάης που απέχουν απόσταση μεγαλύτερη από 3.000 Km από το πλησιέστερο λιθοσφαιρικό όριο. Για να εξηγηθούν αυτά τα ηφαιστειακά νησιά αλλά και να εξηγηθεί η σχεδόν ευθύγραμμη χωροθέτησή τους στο



εσωτερικό μιας πλάκας, διατυπώθηκε η άποψη ότι αυτό συμβαίνει αν στη περιοχή υπάρχουν σχετικά μικρά, μεγάλης διάρκειας και εξαιρετικά υψηλής θερμοκρασίας «σημεία» που τα ονόμασε «hot spots», τα οποία υπάρχουν κάτω από τις πλάκες και μπορούν να παρέχουν μία τοπική πηγή μεγάλης θερμικής ενέργειας που μπορεί να συντηρεί ηφαιστειότητα. Οι περισσότερες θερμές κηλίδες θεωρούνται ότι βρίσκονται πάνω από μεγάλα μανδυακά διάπειρα από ασυνήθιστα θερμό μανδυακό υλικό. Η ευθύγραμμη σχεδόν διάταξη των νησιών της Χαβάης είναι αποτέλεσμα της κίνησης της Ειρηνικής πλάκας πάνω από μία σταθερή και σε βάθος ευρισκόμενη θερμή κηλίδα που είναι μέσα στον μανδύα και βρίσκεται στην σημερινή θέση του νησιού της Χαβάης. Η θερμότητα που παράγεται από την θερμή αυτή κηλίδα σχηματίζει μια συνεχή πηγή θερμότητας που λιώνει την Ειρηνική πλάκα που περνάει από πάνω της. Επομένως στις θερμές κηλίδες καθώς κινείται η λιθοσφαιρική πλάκα το υλικό που αναδύεται από την ασθενόσφαιρα δημιουργεί ηφαιστεια στο εσωτερικό της πλάκας και αυτά χρονικά μεταφέρονται όπως κινείται η πλάκα και τα παλαιότερα αδρανοποιούνται καθώς απομακρύνονται από το σημείο ανόδου του μάγματος ενώ συνεχώς δημιουργούνται νέα πίσω από τα παλαιότερα. Άλλες περιοχές που συναντάμε θερμές κηλίδες που έχουν απομακρυνθεί μέσα στο χρόνο από το θερμό σημείο είναι η υποθαλάσσια οροσειρά Emperor στον ΒΔ Ειρηνικό ωκεανό και το Yellowstone στις Η.Π.Α (παρακάτω εικόνες).



Καθώς το θερμό σημείο παραμένει σταθερό αλλά ο φλοιός κινείται στο σχήμα παρατηρείται η θέση του Yellowstone σε σχέση με το χρόνο. Η σημερινή θέση είναι πιο ανατολικά από τις προηγούμενες.



Οι θερμές Κηλίδες ανά τον κόσμο



Συμπεράσματα

Οι τεκτονικές πλάκες κινούνται εξαιτίας της ύπαρξης των θερμικών ρευμάτων μεταφοράς που ενεργοποιούνται λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας που εμφανίζονται στο εσωτερικό του ανώτερου μανδύα μέχρι και τα 700 km βάθος. Κατά την κίνηση των λιθοσφαιρικών πλακών αλλού εμφανίζεται οι πλάκες να αποκλίνουν, αλλού να συγκλίνουν και αλλού η μία κινείται παράλληλα-εφαπτομενικά σε σχέση με τη διπλανή της (ρήγματα μετασχηματισμού). Στην απόκλιση έχουμε δημιουργία νέου ωκεάνιου φλοιού στις μεσο-ωκεάνιες ράχεις και τέλος έχουμε την καταστροφή του στις ζώνες σύγκλισης. Οι κύριες σεισμικές ζώνες στον πλανήτη ταυτίζονται με τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών. Και στα τρία είδη κίνησης εμφανίζεται σεισμικότητα η οποία έχει διαφορετικό αίτιο εκδήλωσης. Οι ζώνες σύγκλισης είναι η μόνη περίπτωση στην οποία έχουμε την εμφάνιση σεισμών βάθους. Επιφανειακούς συναντάμε και στις ζώνες απόκλισης των πλακών και στα ρήγματα μετασχηματισμού αλλά και στις ζώνες σύγκλισης. Όσον αφορά την ηφαιστειότητα είδαμε ότι αυτή πάντα σηματοδοτείται από την άνοδο μαγματικού υλικού από την ασθενόσφαιρα που συμβαίνει είτε στις μεσο-ωκεάνιες ράχεις με υλικό που απομακρύνει τις πλάκες εκατέρωθεν της ράχης είτε στις ζώνες σύγκλισης (σύγκρουση ωκεάνιου-ωκεάνιου φλοιού είτε ωκεάνιου-ηπειρωτικού) με μαγματικό υλικό που τροφοδοτείται από το λιώσιμο της ωκεάνιου φλοιού που υποβυθίζεται.

Θυμάμαι:

Καλαμάτα

13-9-1986 (M=6,0)

20 άνθρωποι έχασαν τη ζωής τους και 80 τραυματίστηκαν. 4 πολυκατοικίες κατέρρευσαν στην πόλη της Καλαμάτας (IX). Από τα 9.124 κτίρια της πόλης το 20% κρίθηκαν κατεδαφιστέα, το 16% έπαθαν σοβαρές βλάβες και το 36% έπαθαν ελαφρές βλάβες. Το χωριό Ελαιοχώρι καταστράφηκε ενώ σοβαρές βλάβες παρατηρήθηκαν και στα χωριά Βέργα (VIII), Πολιανή (VII+), Άρης, Αρτεμισία και Νέδουσα (VII).

Πάρνηθα

7-9-1999 (M=5,9)

143 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους και περίπου 1.600 τραυματίστηκαν. Εκτεταμένες βλάβες υπέστησαν οι περιοχές Άνω Λιοσίων, Μενιδίου, Μεταμόρφωσης και Θρακομακεδόνων της Δυτικής Αττικής καθώς και περιοχές της Αθήνας και του Πειραιά. 110 κτίρια κατέρρευσαν. 5.222 κτίρια κρίθηκαν ακατάλληλα για χρήση (κόκκινα) και 38.165 προσωρινά ακατάλληλα για χρήση (κίτρινα).

Πηγές:

[Dr. Apostolos Agalos Διδακτορική Διατριβή: «Προσδιορισμός σεισμικών παραμέτρων με την μέθοδο αντιστροφής του ταυστή της σεισμικής ροπής»](#)

<http://eyliko.minedu.gov.gr/AntiseismikiProstasia/OASP%20%20Seismos%20H%20Gnosi%20Einai%20Prostasia.pdf>

<https://bbnet.gein.noa.gr/HL/>

http://www.physics4u.gr/articles/2009/Why_does_Earth_have_plate_tectonics.html

http://www.geo.auth.gr/courses/ggp/mth1063e/pdf/10th_Chapter.pdf

<http://thegeosphere.pbworks.com/w/page/22058923/Plate%20Tectonics%20Final%20Map%20Project>

http://ekfe.kas.sch.gr/images/stories/ekfe-kas/ypostiriktiko/3c_DOMH_TOY_ESOTERIKOU_THS_GHS.pdf

<https://www.earthmagazine.org/article/when-and-how-did-plate-tectonics-begin-earth/>



[https://acadinfo.central.ntua.gr/gram/anakoin.nsf/2cbef269aa99d707c2256f1c003fc4cf/fcf47bbd9a142cd8c225754600399103/\\$FILE/Biblio__Tektonikis.pdf](https://acadinfo.central.ntua.gr/gram/anakoin.nsf/2cbef269aa99d707c2256f1c003fc4cf/fcf47bbd9a142cd8c225754600399103/$FILE/Biblio__Tektonikis.pdf)[https://acadinfo.central.ntua.gr/gram/anakoin.nsf/2cbef269aa99d707c2256f1c003fc4cf/fcf47bbd9a142cd8c225754600399103/\\$FILE/Biblio__Tektonikis.pdf](https://acadinfo.central.ntua.gr/gram/anakoin.nsf/2cbef269aa99d707c2256f1c003fc4cf/fcf47bbd9a142cd8c225754600399103/$FILE/Biblio__Tektonikis.pdf)

Racce: Raising earthquake Awareness & Coping Children's Emotions. Project Co funded by the EU, Civil Protection Financial Instrument, Grant Agreement. <http://racce.nhmc.uoc.gr>

The Santorini-Amorgos Shear Zone: Evidence for Dextral Transtension in the South Aegean Back-Arc Region, Greece, Konstantina Tsampouraki-Kraounaki et al. 2021 Geosciences Vol. 11 issue 5.

The GPS velocity field of the Aegean. New observations, contribution of the earthquakes, crustal blocks model. Briole P. et al. 2021. Geophysical Journal International, Volume 226, Issue 1, July 2021, Pages 468–492, <https://doi.org/10.1093/gji/ggab089>

<https://www.geologyin.com/2024/11/earth-supercontinents-rodinia-gondwana-pangea.html>

Corné Kreemer, Geoffrey Blewitt, Elliot C. Klein, A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model, Geochemistry, Geophysics, Geosystems, <https://doi.org/10.1002/2014GC005407>.

UNAVCO: http://jules.unavco.org/Voyager/GEM_GSRM), <https://gsrm2.unavco.org/>

Árnadóttir, Thóra & Geirsson, Halldór & Jiang, Weiping. (2008). Crustal deformation in Iceland: Plate spreading and earthquake deformation. *Jökull*. 58. 10.33799/jokull2008.58.059.

Niu, Yaoling. (2014). Geological understanding of plate tectonics: Basic concepts, illustrations, examples and new perspectives. *Global Tectonics and Metallogeny*. 10. 23-46. 10.1127/gtm/2014/0009.



Οδηγός Επανάληψης – Σύντομες ερωτο-απαντήσεις

1) Η υποβύθιση ωκεάνιου φλοιού κάτω από ωκεάνιο τι δημιουργεί;

Η υποβύθιση ωκεάνιου φλοιού κάτω από ωκεάνιο οδηγεί στην υποβύθιση εκείνου με την μεγαλύτερη πυκνότητα. Ο υποβυθιζόμενος και πυκνότερος φλοιός λιώνει σε μεγάλα βάθη 150-200 χιλιομέτρα βάθος και το λιωμένο του υλικό λόγω μικρής πλέον πυκνότητας έχει την τάση να ανέρθει. Αν ανέβει και φθάσει μέχρι τον φλοιό της από πάνω πλάκας μπορεί να δημιουργήσει ένα ηφαστειακό-νησιωτικό τόξο.

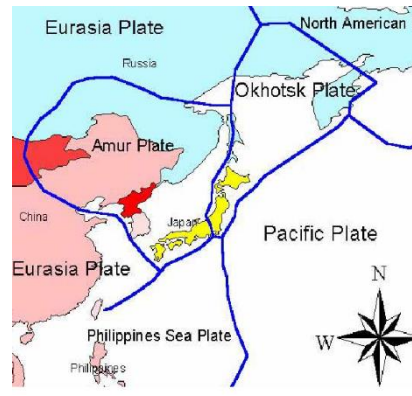
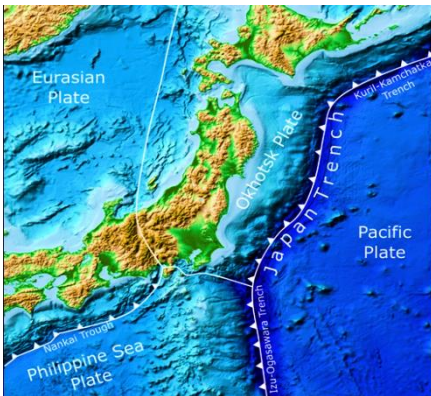
2) Περιγράψτε την έννοια του τεκτονικού σεισμού. Με ποιου είδους ενέργεια συνδέεται;

Ένα τράνταγμα, μια δόνηση, απόρροια της ενεργοποίησης ενός ρήγματος ή μιας ενεργούς ρηξιγενούς ζώνης, συνήθως πλησίον των ορίων των λιθοσφαιρικών πλακών, που σηματοδοτείται από την μετακίνηση των τεμαχών τους. Όσο μεγαλύτερη η ολισθήση (η σχετική μετακίνηση) εκατέρωθεν των τεμαχών τόσο μεγαλύτερος ο σεισμός. Συνήθως διαρκεί μερικά δευτερόλεπτα η κίνηση αυτή στη σεισμική πηγή. Οι σεισμοί με μέγεθος πάνω από M 6.5 έχουν διάρκεια σεισμικής πηγής που μπορεί να ξεπερνά τα 12 sec. Η μετακίνηση των μερών ή τεμαχών ενός ρήγματος ή μιας ζώνης είναι το αποτέλεσμα μακροχρόνιας συσσώρευσης δυναμικής ενέργειας η οποία απελευθερώνεται βίαια με την εκδήλωση του σεισμού και τη διάδοση κυμάτων χώρου. Ένας σεισμός μπορεί να ανυψώσει μια περιοχή κάποια μέτρα ή να την καταβυθίσει ή να την μετακινήσει οριζόντια κάποια μέτρα.



Ανύψωση εδάφους λόγω σεισμού.

3) Γιατί στην Ιαπωνία δαμάζονται από σεισμούς ενώ στη Ρωσία όχι;



Στην Ιαπωνία βρισκόμαστε πλησίον πολλών διαφορετικών ορίων σύγκλισης λιθοσφαιρικών πλακών. Τα νησιά της Ιαπωνίας δαμάζονται από σεισμούς καθώς ο ωκεάνιος φλοιός του Ειρηνικού βυθίζεται σε πολύ μεγάλα βάθη είτε κάτω από την μικροπλάκα Okhotsk στα βόρεια, είτε κάτω από την ωκεάνια πλάκα των Φιλιππίνων πιο νότια, είτε γιατί και η πλάκα των Φιλιππίνων βυθίζεται κάτω από την Ιαπωνία.

Τα υπόκεντρα των σεισμών μπορούν να ξεπερνούν κατά πολύ τα 200 χλμ. σε βάθος στην ευρύτερη θαλάσσιο χώρο της Ιαπωνίας. Στη Ρωσία βρισκόμαστε μακριά από τα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών που εκεί κυρίως εκδηλώνονται οι ισχυροί σεισμοί.

4) Στην Ελλάδα έχουμε σύγκλιση ή απόκλιση πλακών; Αναφέρατε πως εξηγούνται η ύπαρξη των ηφαιστειών όπως της Σαντορίνης.

Η απάντηση έχει δοθεί αναλυτικά στις σελίδες 12-15. Στην Ελλάδα έχουμε υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Αφρικής στην περιοχή της τάφρου. Η Ελλάδα κινείται προς Νότο με διαφορετικές ταχύτητες ανά περιοχές αλλά σε γενικές γραμμές η ταχύτητα μπορεί να πλησιάζει τα 3 έως 3.5 εκατοστά το χρόνο. Η εισχώρηση του ωκεάνιου φλοιού της Αφρικής που κινείται προς Βορρά κάτω από την Ελλάδα δημιουργεί τη ζώνη υποβύθισης και προκαλεί το λιώσιμο του ωκεάνιου φλοιού σε μεγάλα βάθη. Το λιωμένο μάγμα έχει τη δυνατότητα λόγω μικρότερης πυκνότητας σε σχέση με τα πετρώματα της άνω πλάκας να ανέρθει και αν βρει διέξοδο (συνήθως μέσω κανονικών ρηγμάτων) να δημιουργήσει ένα ηφαιστειο αν φθάσει μέχρι την επιφάνεια της Γης, ένα τέτοιο ενεργό ηφαιστειο είναι και η Σαντορίνη με πολλές εκρήξεις στο παρελθόν ακόμα και τον 20^ο αιώνα (1925, 1950).



5) Εξηγήστε τι είναι τα hot spots και αν αυτά εμφανίζονται κοντά στα όρια των λιθοσφαιρικών πλακών

Οι απαντήσεις βρίσκονται στη σελίδα 18. Πρόκειται για περιοχές στις οποίες έχει παρατηρηθεί ανοδική πορεία μάγματος από τον μανδύα το οποίο μπορεί να δημιουργήσει ηφαιστειακά νησιά ή ηφαίστεια ακόμα και στο εσωτερικό μιας λιθοσφαιρικής πλάκας. Επειδή το βαθύ σημείο εξόδου το μάγματος είναι σταθερό (δεν κινείται σε σχέση με το χρόνο) ενώ ο φλοιός από πάνω κινείται, αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται αλυσίδες ηφαιστείων που όταν είναι κοντά στη θερμή κηλίδα τροφοδοτούνται με λάβα ενώ όταν απομακρύνονται δεν εκδηλώνουν ηφαιστειότητα. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι τα νησιά της Χαβάης στο εσωτερικό της πλάκας του Ειρηνικού και το πάρκο Yellowstone στις Η.Π.Α το οποίο μετατοπίζεται με τη σημερινή θέση να είναι πιο ανατολικά από τις προηγούμενες.

6) Στο μέσο του Ατλαντικού τι κίνηση παρατηρούμε σε σχέση με τις λιθοσφαιρικές πλάκες; Η Ισλανδία πως συνδέεται με την τεκτονική των λιθοσφαιρικών πλακών;

Στο μέσο του Ατλαντικού υπάρχει μια δομή που συνδέεται με τη απόκλιση των λιθοσφαιρικών πλακών και ονομάζεται μεσοωκεάνια ράχη και είναι γεμάτη με υποθαλάσσια ηφαίστεια. Εκεί με την έξοδο μάγματος που πραγματοποιείται και τη στερεοποίηση του υλικού μετά την άνοδο πετυχαίνει την απομάκρυνση της Β. Αμερικής από την Ευρασία και την απομάκρυνση της Ν. Αμερικής από την Αφρική. Η Ισλανδία είναι ένα νησί το οποίο έχει την τύχη να συνδέεται με την μεσοωκεάνια ράχη η οποία διέρχεται από το μέσο περίπου του νησιού χωρίζοντας τη σε δυτικό και ανατολικό τμήμα και αυτό προκαλεί στο νησί την επέκταση του κατά 2 εκατοστά το χρόνο. Η ανοδική πορεία μάγματος προκαλεί την δημιουργία δεκάδων ηφαιστείων στην Ισλανδία.

7) Η Ελλάδα είναι η πιο σεισμογενής χώρα της Μεσογείου. Γιατί συμβαίνει αυτό;

Έχει απαντηθεί στις σελίδες 12-15. Στην Ελλάδα: **1)** πέρα από τους σεισμούς που συνδέονται άμεσα με τη ζώνη υποβύθισης λόγω των συγκρούσεων των πλακών που εκδηλώνονται με ανάστροφα ρήγματα στην τάφρο του Αιγαίου οι οποίοι μπορεί να είναι είτε ρηχοί πριν τη ζώνη υποβύθισης, είτε ενδιάμεσου βάθους είτε βαθείς στη ζώνη υποβύθισης λόγω της κλίσης που έχει η υποβυθιζόμενη πλάκα, έχουμε και **2)** εκείνους που συμβαίνουν στον ηπειρωτικό φλοιό στην οπισθοτάφρο σε κανονικά ρήγματα λόγω εφελκυστικών κινήσεων και **3)** σεισμούς στο Β. Αιγαίο εξαιτίας της κίνησης προς τα δυτικά της Τουρκικής πλάκας (η οποία σπρώχνεται προς τα δυτικά από την κίνηση της Αραβικής προς Βορρά), που έχει ως αποτέλεσμα την επέκταση του δεξιόστροφου ρήγματος οριζόντιας ολίσθησης της Βόρειας Ανατολίας στο χώρο του Αιγαίου αλλά και τη διακλάδωση του δημιουργώντας σύνθετες δομές όπως η Λεκάνη του Β. Αιγαίου με σημαντικά ρήγματα βόρεια των Σποράδων.

8) Γιατί στην περιοχή των Ιμαλαΐων έχουμε έντονη σεισμικότητα με πολύ μεγάλους σεισμούς αλλά δεν έχουμε ηφαίστεια; Εξηγήστε

Στην περιοχή των Ιμαλαΐων έχουμε το φαινόμενο της σύγκρουσης των ηπειρωτικού φλοιού της Ινδίας με τον ηπειρωτικό της Ευρασίας που είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της ομώνυμης οροσειράς. Η σεισμικότητα εκδηλώνεται ακόμα και σήμερα με ισχυρούς σεισμούς σε διαφορετικά βάθη ένδειξη ότι η σύγκρουση δεν έχει ακόμα ολοκληρωθεί. Τα πιο επιφανειακά μικρότερης πυκνότητας πετρώματα έδωσαν τα υλικά για να δημιουργηθεί η οροσειρά ενώ τα πιο πυκνά υποβυθίζονται αλλά όχι σε μεγάλα βάθη ώστε να λιώσουν και να δημιουργηθεί λάβα που θα μπορούσε να δημιουργήσει ηφαίστεια.

9) Στην Ελλάδα είχαμε στο παρελθόν ενεργά ηφαίστεια στη Ροδόπη στη Λέσβο και στη Χίο. Γιατί αυτά δεν θεωρούνται πλέον ενεργά;

Όπως έχει αναδειχτεί στη σελίδα 14 φαίνεται πως υπάρχει μια σταδιακή χωρική και χρονική μετατόπιση του ηφαιστειακού τόξου προς το νότο. Αυτό συμβαίνει γιατί η τάφρος, δηλαδή εκεί που ξεκινάει η υποβύθιση, κάποτε ήταν πιο ψηλά δηλαδή σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη ενώ τώρα βρίσκεται νότια της Κρήτης. Συνεπώς η χωρική μετακίνηση της ζώνης υποβύθισης με το χρόνο παρασύρει και τα ηφαίστεια να δημιουργηθούν και να εμφανιστούν όλο και νοτιότερα, ενώ τα παλιά αποκόπτονται από την άνοδο υλικού. Νέα ηφαίστεια θα δημιουργηθούν και στο μέλλον εξαιτίας της τήξης του αφρικανικού ωκεάνιου φλοιού σε μεγάλα βάθη νοτιότερα από το σημερινό ηφαιστειακό τόξο Σαντορίνης-Νισύρου-Μήλου-Μεθάνων.