

Η ΓΕΩΛΟΓΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΘΑΛΑΣΣΙΟΥ ΠΥΘΜΕΝΑ ΚΑΙ ΤΩΝ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΩΝ ΤΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ (ΜΕ ΕΜΦΑΣΗ ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΥΦΑΛΟΚΡΗΠΙΔΑΣ)*

Κ. ΠΕΡΙΣΟΡΑΤΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Η συστηματική έρευνα του θαλάσσιου πυθμένα και των υποστρωμάτων του άρχισε μόλις τον 19ο αιώνα με το ερευνητικό ταξίδι του βρετανικού σκάφους CHALLENGER αλλά αναπτύχθηκε ιδιαίτερα μετά τις πρώτες δεκαετίες του 20ου αιώνα. Η περιοχή των ελληνικών θαλασσών άρχισε να ερευνάται μετά το 1950, και μέχρι σήμερα έχει αποτελέσει αντικείμενο διεθνών ερευνητικών προγραμμάτων. Από την δεκαετία όμως του 70 και μέχρι σήμερα οι Έλληνες επιστήμονες έχουν ιδιαίτερα δραστηριοποιηθεί στην έρευνα του ελληνικού θαλάσσιου πυθμένα, τόσο στις βαθιές περιοχές όσο και κυρίως στην υφαλοκρηπίδα.

Βασικός παράγον στην διαμόρφωση της υφαλοκρηπίδας είναι οι μεταβολές της στάθμης κατά το Τεταρογενές. Ο τεκτονισμός και οι ευστατικές/ισοστατικές κινήσεις αντίθετα συμβάλλουν πολύ λιγότερο στην διαμόρφωση της μορφολογίας της υφαλοκρηπίδας. Το υφαλοόριο στις ελληνικές θάλασσες βρίσκεται σε βάθος 120μ. έως 160μ. και συνήθως καλύπτεται από υπολειμματικά ιζήματα και κατά τόπους από πρόσφατα ολκωνικά ιζήματα κυρίως σε περιοχές δέλτα. Σε περιόδους χαμηλής στάθμης πολλοί κόλποι στο Αιγαίο και Ιόνιο Πέλαγος ήταν λίμνες ή μέρος της ξηράς. Στις περιόδους αυτές αδρομερή ιζήματα αποτίθεντο στις βαθιές περιοχές. Αντίθετα σε περιόδους ανόδου της στάθμης τα αδρομερή ιζήματα αποτίθεντο στην υφαλοκρηπίδα ενώ τα λεπτόκοκκα στις βαθιές περιοχές. Οι διαδικασίες αυτές απεικονίζονται τόσο στις σεισμικές καταγραφές όσο και στα ιζηματολογικά στοιχεία.

Στα «πρακτικά» αποτελέσματα της μελέτης της υφαλοκρηπίδας συμπεριλαμβάνονται ο εντοπισμός χρησίμων ορυκτών ιζηματογενούς προελεύσεως «placers» όπως η παρουσία σπανίων γαιών στην περιοχή Λουτρά Ελευθερών-Νέας Περάμου στην Δυτ. Μακεδονία, καθώς και ο εντοπισμός και η χρήση του επικλυσιγενούς στρώματος για θεμελίωση τεχνικών έργων. Στα «θεωρητικά» αποτελέσματα της γεωλογικής μελέτης της υφαλοκρηπίδας είναι φυσικά η γεωλογική γνώση του ζωτικού αυτού για τον άνθρωπο χώρου με συγκεκριμένα παραδείγματα από την γεωαρχαιολογία και την βιογεωγραφία.

Σε ότι αφορά τις μελλοντικές ερευνητικές τάσεις της θαλάσσιας γεωλογίας, αυτές είναι:

Η ανάπτυξη βάσεων δεδομένων των στοιχείων που συλλέγονται από τις θαλάσσιες έρευνες.

Η εκτεταμένη χρήση πολυδιαλυτικών ηχοβολιστικών (seabeam)

Η βελτίωση της ψηφιακής επεξεργασίας των σεισμικών καταγραφών.

Η συλλογή στοιχείων για μελέτη των μελλοντικών κλιματικών αλλαγών.

Η μελέτη των επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη από καταστροφικά φαινόμενα.

Οι καταγραφές των παραμέτρων ιζηματογένεσης σε πραγματικό χρόνο.

ABSTRACT

The systematic research of the sea bottom started axcually only in the 19th century with the research voyage of the British ship "CHALLENGER" but was particularly developed during the early 20th century. The Greek seas were geologically explored after 1950, with the research trip of the R/V Vema in 1954 in Korinthiakos Gulf. Since then a great number of research programs has been carried out in the Greek Seas both in the shelf and the deep sectors in which the Greek scientists have played a major role.

The major factor in shaping the todays shelf morphology is sedimentation controlled mainly by the sea level changes during Quaternary. The shelf break in the Aegean and Ionian seas lies at a depth of 120m. to 160m. and is usually covered by relict sediments and locally by holocenic sediments, particularly at the deltaic areas. In low sea level stands many of the todays gulfs were subaerically exposed or constituted lakes of variable depth with or

* THE GEOLOGICAL STUDY OF THE SEA BOTTOM AND SUBBOTTOM AND THE RECENT RESEARCH TRENDS (WITH EMPHASIS ON THE CONTINENTAL SHELF AREA)

¹ Δ/ση Γεωλογίας & Γεωλογικών Χαρτογραφίσεων, ΙΓΜΕ

without outlets toward the open sea. During these stages coarse sediments were deposited mainly beyond the shelf break. During high sea level stages the coarse sediments were deposited on the shelf and the fine grained ones surpassing the self break were deposited in the deep areas. These changes in sediment texture are reflected in the deep sea seismic profiles as alternating opaque-transparent layers. Although the Greek area is characterized by high seismic and tectonic activity, tectonism and eustatic/isostatic factors played a considerably minor role in shaping the shelf morphology that of sea level changes.

The study of the shelf area during the various sea level stands helped in locating occurrence of placer deposits in the Northern Aegean shelf and in recognizing the transgressional layer as a suitable horizon for foundation of civil engineering projects. Except these, the shelf studies contributed important information to the basic geological knowledge. Examples from contribution to geoarchaeology to biogeography are cited.

Regarding the future research trends in Marine Geology, these can be:

The development of marine data (metadata) bases.

The systematic use of multibeam systems.

The further development of digital processing of the seismic reflection records.

The collection of data for the anticipating future climatic changes.

The assessment of the eventual catastrophic events in the coastal zone.

The recording in real time of the active sedimentation parameters.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι θάλασσες και οι ωκεανοί καταλαμβάνουν το 70% της επιφάνειας της γης, και αποτελούν ένα πεδίο συνεχούς έρευνας και ανακαλύψεων. Το υγρό στοιχείο ήταν πάντοτε μια περιοχή έλξης αλλά και φόβου για τον άνθρωπο, που προσπαθώντας να ερευνήσει την θάλασσα μάζα άργησε πολύ να μελετήσει τον θαλάσσιο πυθμένα και τα υποστρώματά του. Και αυτό παρά το γεγονός ότι η παράκτια ζώνη απετέλεσε από την αρχή περιοχή έντονης ανθρώπινης δραστηριότητας. Εάν στα παραπάνω προστεθούν και τα γεγονότα των ακραίων καιρικών φαινομένων, που αποκτούν ιδιαίτερη ένταση στο θαλάσσιο χώρο, καθώς και τις ανόδους της στάθμης της θάλασσας, που θα εντυπωσίασε τον προϊστορικό άνθρωπο, γίνεται εύκολα αντιληπτό γιατί άργησε τόσο να αρχίσει η μελέτη του θαλάσσιου πυθμένα σε σχέση με αυτήν της ξηράς. Έτσι η ανθρώπινη φαντασία έκανε τον υγρό θαλάσσιο χώρο κατοικία θεών, δρακόντων και περιεργων ζώων απ' αυτόν όμως απουσίαζε ο πυθμένας και τα υποστρώματά του. Μετά μικρή απόσταση από την ακτή, όπου η άμεση οπτική παρατήρηση του πυθμένα αντικαθίστατο από την βυθομέτρηση με βολίδα, το βάθος αυξανόταν τόσο ώστε πλέον η «βόλις» δεν ήταν εφικτή και η θάλασσα θεωρείτο απύθμενη.

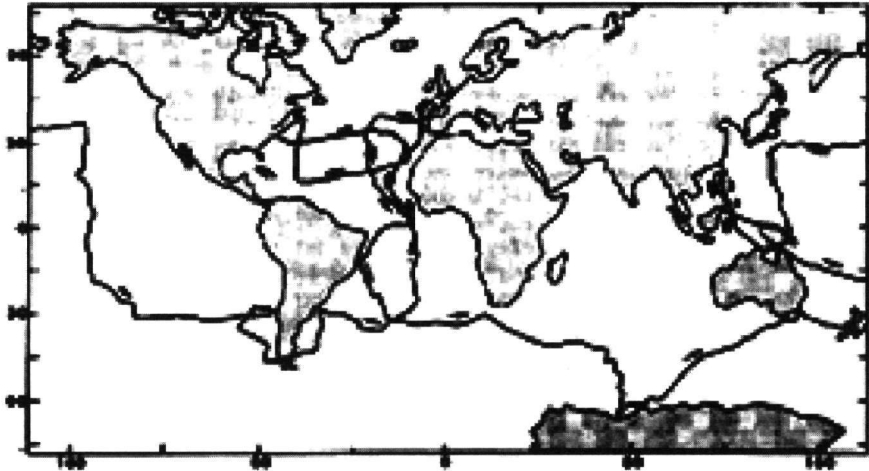
Οι πρώτες παρατηρήσεις που αφορούσαν τη φύση του θαλάσσιου πυθμένα έγιναν από τους αρχαίους Έλληνες. Πιο χαρακτηριστική ήταν η αναφορά του Ηροδότου ότι σε απόσταση μιας ημέρας ταξίδι από τις ακτές της Αιγύπτου, τα ιζήματα του πυθμένα είναι όμοια με τα ιζήματα του Νείλου, όπως παρατήρησε από την σύσταση των ιζημάτων που κάλυψαν την βολίδα βαθυμέτρησης. Εκτιμήσεις βάθους αναφέρονται επίσης από τον Αριστοτέλη στην Μαύρη θάλασσα, τον Στράβωνα, τον Πλίνιο τον Πρεσβύτερο, τον Φαβιανό, αλλά και στην Καινή Διαθήκη. Προφανώς οι βολιδομετρήσεις αφορούσαν παράκτιες περιοχές προσέγγισης πλοίων, έτσι ώστε να εξεταστεί η δυνατότητα αγκυροβόλησης.

Από τις πρώτες έρευνες έγινε σαφές ότι η συστηματική γεωλογική μελέτη του πυθμένα και των υποστρωμάτων του μπορεί να γίνει αποτελεσματικά με δύο προϋποθέσεις. Η πρώτη είναι ότι απαιτείται ομαδική εργασία τόσο για την συλλογή όσο και για την εκτίμηση των στοιχείων, γιατί οι παρατηρήσεις είναι έμμεσες και χρειάζεται και επιστημονικό και τεχνικό προσωπικό. Η δεύτερη προϋπόθεση είναι ότι ο γεωεπιστήμονας που θα μελετήσει τις ιδιότητες του θαλάσσιου πυθμένα, πέραν της δικής του εξειδίκευσης θα πρέπει να έχει και ικανοποιητική σφαιρική γνώση και των άλλων γεωλογικών πεδίων έτσι ώστε να μπορεί να κάνει ερμηνεία των δεδομένων, γιατί π.χ. από μια καταγραφή σεισμικής ανακλάσεως προκύπτουν ερμηνείες για την ιζηματολογία, την στρωματογραφία, την τεκτονική και την γεωλογική εξέλιξη μίας περιοχής. Αυτονόητο είναι ότι απαιτείται και η χρήση ενός κατάλληλα εξοπλισμένου σκάφους. Έτσι η έρευνα του πυθμένα των θαλασσών αποτελεί αντικείμενο ομάδας εργασίας, ενώ είναι σύνθετος το φαινόμενο ο μελετητής του θαλάσσιου πυθμένα να εκπονή εργασίες ποικίλου γεωλογικού αντικειμένου, κάτι όχι τόσο σύνθετος στην γεωλογική μελέτη της ξηράς.

Από όλο το θαλάσσιο χώρο ιδιαίτερα σημαντική φυσικά είναι η περιοχή της παράκτιας ζώνης και της υφαλοκρηπίδας που ήταν πάντοτε μεγάλης σπουδαιότητας για τον άνθρωπο και τις δραστηριότητές του. Σήμερα το 70% του πληθυσμού της γης ζει και εργάζεται σε απόσταση 60 χμ. από την σημερινή ακτογραμμή, ενώ για μελέτη ολοκληρωτικής διαχείρισης ως παράκτια ζώνη θεωρείται συνήθως ως παράκτια η έκταση μεταξύ των υψομέτρων +30μ. και -30μ.

2. Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΑΣ ΓΕΩΛΟΓΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η πρώτη «συστηματική» έρευνα που αποτέλεσε σταθμό στην μελέτη του ωκεανίου πυθμένα, και μάλιστα σε παγκόσμιο επίπεδο, ήταν το ταξίδι γύρω από την υδρόσφαιρα του βρετανικού σκάφους Challenger (Σχ.1, Seibold and Berger, 1982) που διήρκεσε τρία χρόνια (1872- 1876). Στο ταξίδι αυτό η έρευνα ήταν κυρίως βιολογική όμως πραγματοποιούνταν βυθομετρήσεις και συλλογή δειγμάτων ιζημάτων. Αν και δεν επέβαινε γεωλόγος στο σκάφος, τα δείγματα μελετήθηκαν από τον γεωλόγο A.F. Renard που διέκρινε ιζήματα υφαλοκορητίδας και βαθιών περιοχών, έχοντας υπόψη του βέβαια τις ανάλογες απόψεις του J. Hutton και του A.L. Lavoisier για τα θαλάσσια ιζήματα της ξηράς που είχαν προηγηθεί.



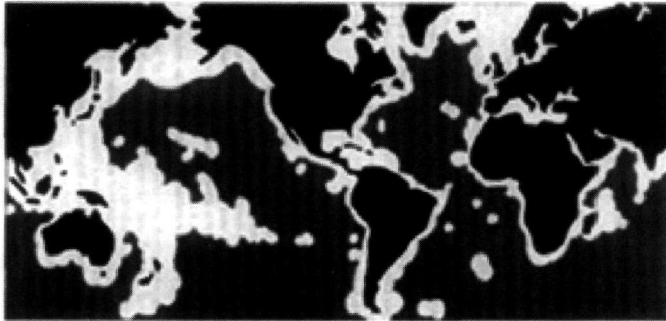
Σχ. 1: Χάρτης διαδρομής του σκάφους HMS Challenger 1872-6.

Fig. 1: Map of the route of the ship HMS Challenger 1872-6.

Κατά τις πρώτες δεκαετίες του 20^{ου} αιώνα άρχισαν να πραγματοποιούνται οι μεγάλοι ωκεανογραφικοί πλόες εξοπλισμένων Ω/Κ σκαφών όπως του γερμανικού “METEOR” (1925-1927) και του Σουηδικού «Αλμπι-τρός» (1947- 48), που εξερεύνησαν μεγάλες εκτάσεις των ωκεανών.

Στην Μεσόγειο συστηματικές έρευνες είχαν γίνει πριν τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο από Ολλανδικά, Γαλλικά και Ιταλικά υποβρυχία που πραγματοποίησαν μετρήσεις βαρύτητας. Στην Ελλάδα μετρήσεις βάθους και φυσικοχημικών ιδιοτήτων της θαλάσσιας στήλης άρχισαν από το Πολεμικό Ναυτικό από το 1906, το οποίο εκτύπωσε και τον πρώτο υδρογραφικό χάρτη το 1908.

Κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου η ανάγκη εντοπισμού των εχθρικών υποβρυχίων έδωσε ιδιαίτερη και σημαντική ώθηση στην ανάπτυξη των ηχοβολιστικών συσκευών. Ταυτόχρονα έγινε σαφής και η σημασία του εύρους των χωρικών υδάτων. Το αρχικό όριο των 3 μιλίων, που ήταν η απόσταση ασφάλειας για από θαλάσσης βομβαρδισμό, επεκτάθηκε στα 6 μίλια και στην συνέχεια στα 12, με την άνοδο του βελγνεκούς. Σήμερα με την ανακάλυψη των πλουτοπαραγωγικών πηγών του θαλάσσιου πυθμένα, που ξεκίνησε με την ανακάλυψη των κοιτασμάτων πετρελαίου, και στην συνέχεια των κονδύλων μαγγανίου και των υδροθερμικών κοιτασμάτων στις μεσοωκεάνιες ράχεις, έχει γίνει αποδεκτή η έννοια της Αποκλειστικής Οικονομικής ζώνης (Σχ.2, Cronan, 1982). Έτσι, κάθε παράκτιο κράτος διεκδικεί θαλάσσια έκταση 200μιλίων από την ακτογραμμή του.



Σχ. 2: Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη.
Fig. 2: Exclusive Economic Zone.

Οι αλλαγές αυτές στο νομικό καθεστώς των θαλασσών είχαν συνέπειες και στην έρευνα του θαλάσσιου πυθμένα, γιατί πλέον απαιτείται συναίνεση του παράκτιου κράτους για την πραγματοποίηση των ερευνών. Βέβαια η νομοθεσία προβλέπει την ελεύθερη χορήγηση άδειας, για επιστημονικές έρευνες, όμως η διάκριση επιστημονικής- εφαρμοσμένης έρευνας είναι δύσκολη και αρκετές φορές χρησιμοποιείται μονομερώς προς όφελος του παράκτιου κράτους.

Στην Ελληνική επικράτεια υπάρχουν 9.835 νησιά, νησίδες και βραχονησίδες, και 161 διάυλοι και στενά. Το συνολικό ανάπτυγμα ακτογραμμής της χώρας είναι 18.400Km ενώ η έκταση της αποκλειστικής οικονομικής ζώνης είναι υπερδιπλάσια της Ηπειρωτικής. Έτσι οι ελληνικές θάλασσες με τον ευρύτατο διαμελισμό των ακτών και την πολυμορφία της μορφολογίας του πυθμένα έλκυσαν και ελκύουν την προσοχή και την περιέργεια των επιστημόνων. Από την πρώτη ερευνητική διαδρομή στον Κορινθιακό Κόλπο του Αμερικανικού ερευνητικού σκάφους VEMA το 1954, ερευνητικά σκάφη κυρίως από Γαλλία, Αγγλία, Ιταλία, Γερμανία, Ολλανδία και ΗΠΑ, επισκέφτηκαν επανειλημμένα τον ελληνικό θαλάσσιο χώρο, με αποκορύφωμα την πραγματοποίηση των γεωτρήσεων νότια του ηφαιστειακού τόξου από το σκάφος “GLOMAR CHALLENGER” το 1976, στο πλαίσιο του προγράμματος Deep Sea Drilling Project (DSDP).

Από ελληνικής πλευράς πρωτοπόρος βέβαια στην μελέτη του πυθμένα ήταν η ΥΥ/ΓΕΝ (Υδρογραφική Υπηρεσία) που εκτός από τις μελέτες της θαλάσσιας στήλης έπαιρνε δείγματα και πυρήνες των ιζημάτων του πυθμένα. Η έρευνα ήταν προσαρμοσμένη, όπως ήταν φυσικό, στις ανάγκες του Πολεμικού Ναυτικού. Σταθμός ήταν η ίδρυση του ΙΩΚΑΕ (Ινστιτούτο Ωκεανογραφίας και Αλιευτικών Ερευνών) 1968, πρόδρομο του ΕΚΘΕ, που κυρίως από το 1974-75 άρχισε να ασχολείται και με τη Θαλάσσια Γεωλογία. Διεύθυνση Θαλάσσιας Γεωλογίας προβλεπόταν και το 1972 στο οργανόγραμμα του ΕΘΙΓΜΕ, πρόδρομο του ΙΓΜΕ, η σχετική όμως δραστηριότητα άρχισε και εδώ το 1975. Έτσι, ουσιαστικά από το 1976, ξεκίνησε από τα δύο αυτά ερευνητικά Ινστιτούτα, η συστηματική γεωλογική έρευνα του ελληνικού θαλάσσιου πυθμένα αποκλειστικά από έλληνες επιστήμονες. Έκτοτε έχουν αυξηθεί εντυπωσιακά τόσο τα Ινστιτούτα και οι επιστήμονες που ασχολούνται στην Ελλάδα με την μελέτη του θαλάσσιου πυθμένα (Πανεπιστήμιο Πάτρας, ΙΘΑΒΙΚ, ΕΜΠ, Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Αθηνών, Πανεπιστήμιο Αιγαίου και Θεσσαλίας). Ακόμη δημιουργήθηκε το 1986 το μεταπτυχιακό τμήμα Ωκεανογραφίας στο Πανεπιστήμιο Αθηνών και πρόσφατα έγινε τμήμα Θαλασσίων Επιστημών στη Μυτιλήνη. Ιδιαίτερα σημαντική ήταν και η μετεξέλιξη του ΙΩΚΑΕ σε ΕΚΘΕ και η μέχρι τώρα δραστηριότητά του που ενισχύθηκε αποφασιστικά με την παράλληλη απόκτηση του Ω/Κ σκάφους ΑΙΓΑΙΟ. Αλλωστε η αναγκαιότητα απόκτησης κατάλληλου ερευνητικού σκάφους ήταν από την αρχή πασιφανής και οι αρχικές πρωτοβουλίες και επικοινωνίες με την ΥΥ και το ΙΩΚΑΕ, είχαν αναληφθεί από τον τότε Δ/ντή του ΙΓΜΕ δρ. Ι. Μπορνόβα το 1977. Σήμερα έλληνες επιστήμονες στον θαλάσσιο χώρο πρωταγωνιστούν στην μελέτη του θαλάσσιου πυθμένα της χώρας όπως και στην γεωλογική μελέτη της ξηράς.

Κάνοντας μια αναδρομή στα τελευταία 30 περίπου έτη μπορούμε να πούμε ότι διακρίνουμε σε αδρές γραμμές τρεις περιόδους θαλάσσιας ερευνητικής δραστηριότητας, ανάλογα με το κύριο αντικείμενο της έρευνας. Στη πρώτη περίοδο, μέχρι τα τέλη της 10ετίας του 70, οι έρευνες ήταν κυρίως αναγνωριστικές βαθυμετρικές με δειγματοληψίες και πυρηνοληψίες καθώς και χρήση μικρής έως μεσαίας περατότητας οργάνων σεισμικής ανακλάσεως. Ακολούθησε μια περίοδος εντατικής έρευνας της βαθύτερης δομής των ελληνικών θαλασσών μέχρι το τέλος της δεκαετίας του 80, και κυρίως στην ελληνική τάφρο και την Μεσογειακή ράχη. Ήταν άλλωστε η περίοδος της ανάπτυξης και καθιέρωσης της θεωρίας των λιθοσφαιρικών πλακών στην περιοχή μας. Τέλος, κατά την τελευταία δεκαετία, οι έρευνες, υπό την επίδραση προφανώς της θεωρίας του φαινομένου του θερμο-

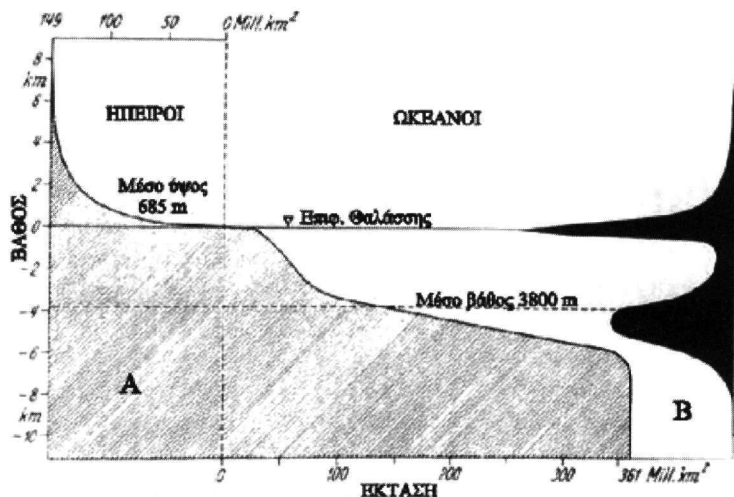
κηπίου και της προστασίας του περιβάλλοντος, εστιασθηκαν και πάλι στα ανώτερα στρώματα των ιζημάτων του πυθμένα με στόχο τη μελέτη των κλιματικών συνθηκών κυρίως κατά το Ανώτερο Πλειστόκαινο και τη σύνδεσή τους με τις αναμενόμενες κλιματικές αλλαγές. Έτσι μπορεί να λεχθεί ότι σήμερα υπάρχουν λίγες περιοχές παγκοσμίως που έχουν τόσο λεπτομερές μελετηθεί όπως π.χ. ο Κορινθιακός Κόλπος, το Ηφαιστειακό Τόξο του Αιγαίου και η Ελληνική Τάφρος.

Όλες αυτές οι θαλάσσιες γεωλογικές έρευνες έχουν οδηγήσει σε διατύπωση εντυπωσιακών θεωριών από πολλούς επιστήμονες για την γεωλογική εξέλιξη του ευρύτερου Αιγαίου χώρου όπως οι Le Pichon, Angelier, Λυμπέρης, Mr Kenzie, Mascle, Μακρής, για να αναφερθούν μερικοί. Άλλωστε ο γεωλογικός χώρος της Ελλάδας αποτελεί κλειδί για την κατανόηση της γεωλογίας της Ανατολικής Μεσογείου, αλλά και της ευρύτερης περιοχής, αφού η Αιγαιακή πλάκα παρεμβάλλεται μεταξύ της Αφρικανικής, της Ασιατικής και της Ευρωπαϊκής. Οι θεωρίες αυτές είναι λίγο πολύ γνωστές και έτσι η παρούσα εργασία θα εστιαστεί κυρίως στην συμβολή των ερευνητικών δραστηριοτήτων των τελευταίων 30 ετών στην γνώση της πρόσφατης γεωλογικής εξέλιξης κυρίως της Ελληνικής υφαλοκρηπίδας αλλά και στην σημασία των αποτελεσμάτων αυτών για πεδία όπως οι ορυκτοί πόροι, (εκτός υδρογονανθράκων), τα τεχνικά έργα, η αρχαιολογική έρευνα και η βιολογία. Στο τέλος παρατίθενται και μερικές σκέψεις πάνω σε μελλοντικούς τρόπους έρευνας του θαλάσσιου χώρου.

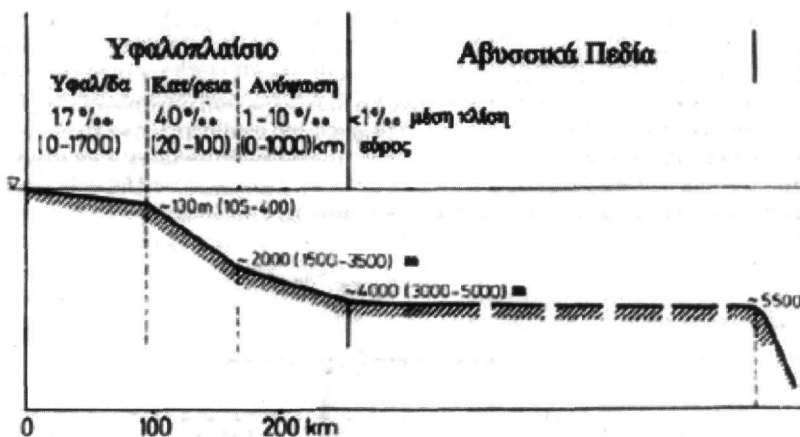
3. ΟΙ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΘΑΛΑΣΣΑΣ ΚΑΙ ΟΙ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΙΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ. ΟΙ ΣΥΝΕΠΙΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΧΩΡΟ.

Η έννοια της υφαλοκρηπίδας.

Μια στατιστική μελέτη της κατανομής της μορφολογίας της γεώσφαιρας (Σχ. 3) δείχνει ότι αυτή παρουσιάζει μια διμερή κατανομή με μέγιστη συχνότητα υψόμετρου στην ξηρά τα 685μ. και βάθους πυθμένα στη θάλασσα τα 3.800 μ (Van Andel, 1985). Αυτό απεικονίζει στην πραγματικότητα το διφνές του γήινου φλοιού, δηλαδή τον Ηπειρωτικό και τον Ωκεάνιο (Σχ.4). Στον ηπειρωτικό φλοιό και στην παρακείμενη ωκεάνια έκταση διαμορφώνεται η υφαλοκρηπίδα δηλαδή η υποθαλάσσια έκταση του πυθμένα από την ακτογραμμή μέχρι το υφαλοόριο που εντοπίζεται σε μέσο βάθος 130μ. έως 180μ., Στη συνέχεια ακολουθεί η ηπειρωτική κατοφέρεια και η ηπειρωτική ανύψωση και μετά οι βαθιές περιοχές με τα αβυσσικά πεδία τις μεσοωκεάνιες τάφρους και ράχες (Boillot,1981, Σχ. 4).



Σχ. 3: Α Κατανομή αναγλύφου, ξηράς και πυθμένα. Β Κατανομή συχνότητας αναγλύφου.
Fig. 3: A Depth distribution of ocean floor and land elevation. B Frequency distribution of elevations.

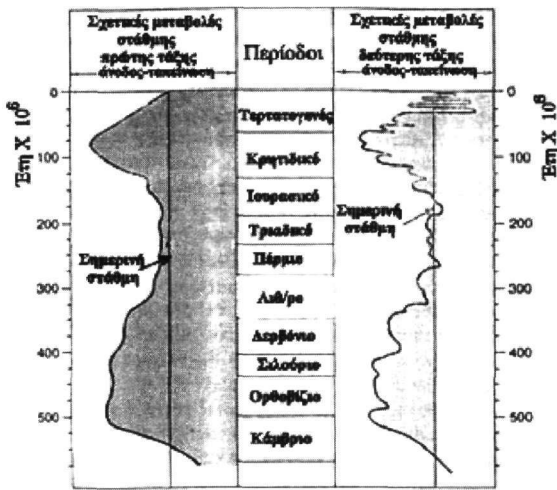


Σχ.4: Μορφολογία θαλάσσιου πυθμένα.
 Fig.4: Sea floor morphology.

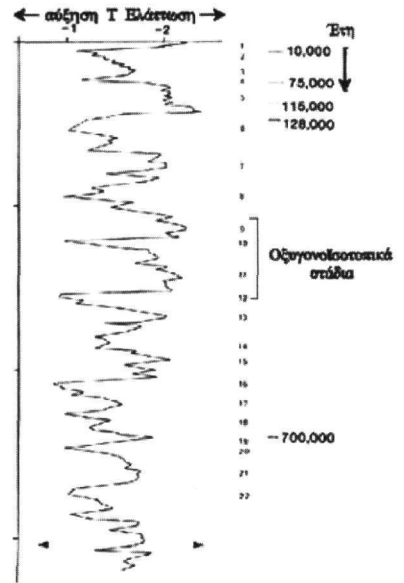
Από άποψη ιζηματογενών διεργασιών επομένως, η περιοχή της υφαλοκρηπίδας, είναι περιοχή προσχώσεων, διαβρώσεων, αποσφηνώσεων και σε μικρότερο βαθμό κατολισθήσεων και ερπυσμού. Μετά το υφαλοόριο αντίθετα επικρατούν οι συνθήκες καθίζησης και μαζικών μετακινήσεων των ιζημάτων, λόγω υπερφόρτισης, και εν συνεχεία πυροδότησης κυρίως με την σεισμική δράση (Hag, 1991).

Για τον γεωλόγο το πραγματικό όριο ξηράς-θαλάσσης δεν είναι η σημερινή ακτογραμμή, αλλά το υφαλοόριο. Και αυτό γιατί η περιοχή της υφαλοκρηπίδας αποτέλεσε, κατά τις προηγούμενες παγετώδεις περιόδους, ξηρά λόγω της ταπεινώσης της στάθμης της θάλασσας κατά 120-130μ. περίπου. Άλλωστε το υφαλοόριο αποτελεί ένα «πρώτης τάξης» μορφολογικό στοιχείο του γήινου ανάγλυφου (Vanney and Stanley, 1983) και προσδιορίζεται από μια απότομη μεταβολή του βάθους, με παγκόσμιο μέσο βάθος 132μ. μέση απόσταση από την ακτή 75km και μπορεί να ακολουθηθεί σε μια συνεχή διαδρομή 300.000 χμ. περίπου στο υφαλοπλαίσιο των ωκεάνιων περιοχών.

Η σημερινή διαμόρφωση του γήινου φλοιού είναι φυσικό αποτέλεσμα των γεωλογικών διεργασιών κατά την διάρκεια των γεωλογικών αιώνων, οπότε έχει εκτιμηθεί ότι η θαλάσσια στάθμη ήταν χαμηλότερη από την σημερινή κατά 150 έως 270μ (Leinfelder and Seyfried, 1993). Κατά την γεωλογική ιστορία διακρίνονται έως τάξη μεγέθους χρονικής διάρκειας, οκτώ (8) ιζηματογενείς «κύκλοι» (Σχ. 5,6) που σχετίζονται με την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας. Η πρώτη τάξη διάρκειας των 10^8 (100 εκ) ετών αφορά τους γεωλογικούς αιώνες όπως π.χ. το μεσοζωικό ή το κατώτερο παλαιοζωικό, η δεύτερη τάξη των 10^7 (10 εκ) ετών αφορά τις γεωλογικές περιόδους, η τρίτη των 10^6 (1 εκ) ετών αφορά στις γεωλογικές διαπλάσεις, η τέταρτη των 10^5 (100.000) ετών αφορά τις γεωλογικές βαθμίδες και ιδιαίτερα τις παγετώδεις – μεσοπαγετώδεις βαθμίδες και η πέμπτη τάξη των 10^4 (10.000) ετών αφορά τις επί μέρους μεταβολές της στάθμης εντός των βαθμίδων. Σήμερα έχουν αναλυτικά μελετηθεί οι δύο τελευταίες τάξεις των 100.000 και 10.000 ετών.



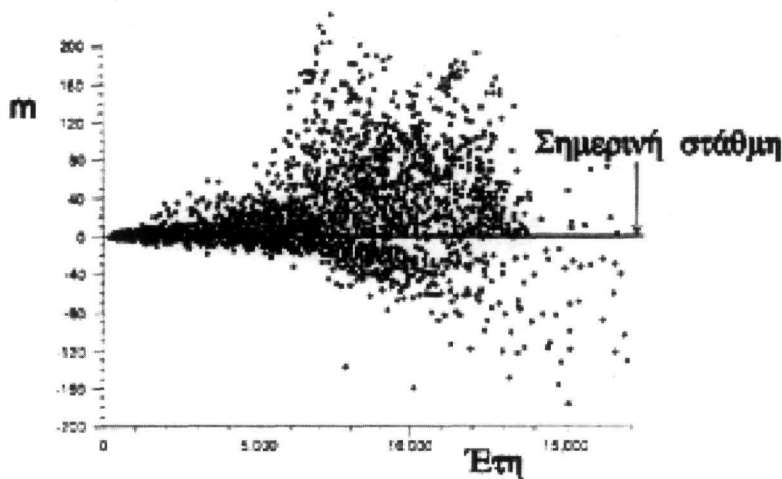
Σχ. 5: Κύριες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης (πρώτης και δεύτερης τάξης) κατά το Φανεροζωικό.
 Fig. 5: Major sea level fluctuations (first and second order) for the Phanerozoic.



Σχ. 6: Μεταβολές της αναλογίας O^{16} / O^{18} στα κελύφη των τρηματοφόρων κατά τα τελευταία 700.000 έτη.
 Fig. 6: Changes in the O^{16} / O^{18} content in the foraminiferal shells during the last 700.000 yr.

Ένα από τα δυσκολότερα προβλήματα της θαλάσσιας γεωλογίας ήταν ο προσδιορισμός των προηγούμενων θέσεων της στάθμης της θάλασσας (Stanley, 1995), και αυτό γιατί οι μεταγενέστερες προσχωσιγενείς ή διαβρωσιγενείς διαδικασίες εμπόδιζαν τον αξιόπιστο εντοπισμό παλαιών θέσεων της στάθμης (Σχ.7 Στοιχεία μέχρι το 1968). Όμως οι επίπονες και συστηματικές μελέτες των τριών τελευταίων δεκαετιών, μας έχουν δώσει μια σαφή και αντικειμενική εικόνα της μεταβολής της στάθμης κατά τα τελευταία 500.000 έτη, με βάση τα ισότοπα οξυγόνου O^{16} / O^{18} στα κελύφη των θαλάσσιων τρηματοφόρων και των κοραλλιών. Ιδιαίτερα αξιόπιστα είναι τα στοιχεία και οι χρονολογήσεις για τα τελευταία 150.000 έτη (Chappel and Shackleton, 1986), (Σχ.8) και ακόμα περισσότερο για τα τελευταία 20.000 έτη. Έτσι έγινε σαφές ότι η πτώση της στάθμης της θάλασσας κατά περίπου 120 έως 130 μ. ήταν γεγονός κατά την διάρκεια των παγετωδών περιόδων, με ενδιάμεσες μεταβολές κατά τις μεσοπαγετώδεις. Με αυτά τα στοιχεία μπορούμε πλέον να μελετήσουμε την εξέλιξη κάθε υφαλοκρηπιδικής περιοχής, λαμβάνοντας φυσικά υπόψη και τους τοπικούς παράγοντες γεωλογικής διαμόρφωσης (τεκτονική, προσφορά ιζημάτων κ.λ.π.) και συσχετίζοντας κάθε χρονικό διάστημα ανύψωσης ή ταπείνωσης της στάθμης με τα αντίστοιχα οξυγονοϊσοτοπικά στάδια (σχ. 8).

Με βάση λοιπόν τα παραπάνω, προ 20.000 και προ 150.000 ετών περίπου, η στάθμη της θάλασσας ήταν κατά 120 έως 125μ. περίπου χαμηλότερα. Στο μεταξύ τους διάστημα το βάθος ήταν 40-70μ. κάτω από το σημερινό. Τέλος, μετά την τελευταία ταπείνωση της στάθμης προ 20.000 ετών, άρχισε η άνοδος προ 16.000 ετών περίπου και η οποία έγινε με ιδιαίτερα ταχείς ρυθμούς μέχρι τα 7000 έτη περίπου πριν από σήμερα.

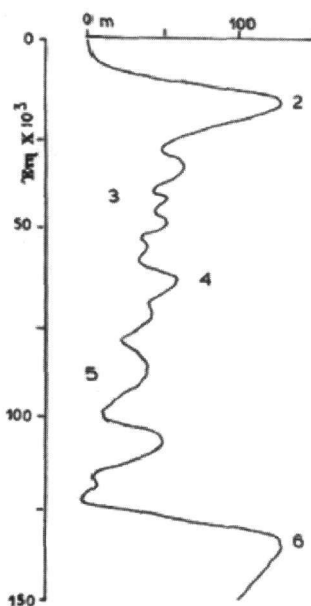


Σχ. 7: Θέση των χρονολογημένων θαλασσιών δειγμάτων ιζημάτων, ηλικίας έως 17.000 ετών, σε σχέση με τη σημερινή στάθμη της θάλασσας.

Fig. 7: Samples dated for the past 17.000 years and their elevations plotted above and below present sea level.

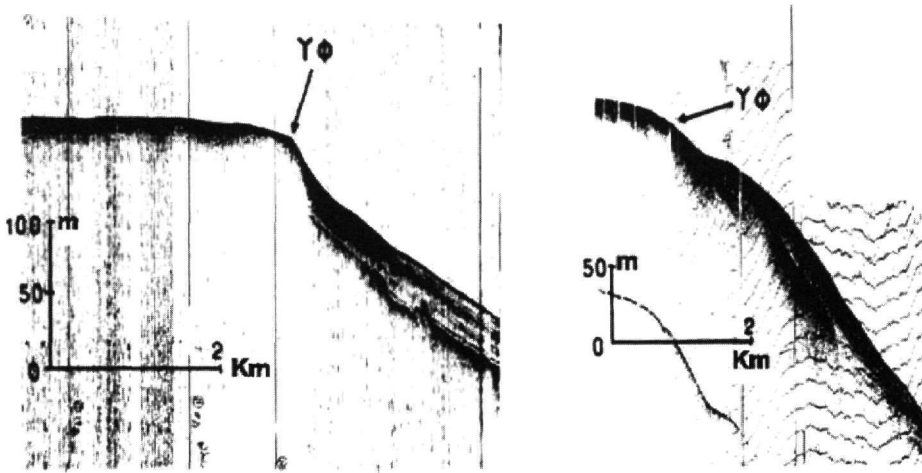
Η μορφολογία της παράκτιας ζώνης και της υφαλοκρηπίδας στις ελληνικές θάλασσες.

Οι παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας είναι στην πλειοψηφία τους ορεινής διαμόρφωσης, με πρανή που έχουν μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, λόγω των Αλπικών διεργασιών και της μετα-Αλπικής τεκτονικής ρηγματώσης. Έτσι ρηξιγενή υβώματα και κοιλάδες εναλλάσσονται, ενώ η παράκτια ζώνη είναι συνήθως στενή και βραχύωδη. Οι ποταμοί που τις διαρρέουν είναι συνήθως μικροί χειμάρροι που αποθέτουν στις κοιλάδες αδρομερή γεωγενή υλικά. Σχετικά εκτεταμένα αλουβιακά πεδία τεταρτογενούς ηλικίας έχουν σχηματιστεί κυρίως στη Βόρεια Ελλάδα από τους μεγάλους ποταμούς Εβρο, Νέστο, Στρυμώνα, Αξιό και Αλιάκμονα και μικρότερης έκτασης στο ΒΑ Ιόνιο πέλαγος στις ακτές της Ηπείρου. Στις περιοχές αυτές έχουν αποτεθεί σε μεγάλα πάχη πλειο-τεταρτογενή ιζήματα. Η μορφολογία αυτή έχει φυσική προέκταση και στον παρακείμενο θαλάσσιο πυθμένα με τον σχηματισμό της υφαλοκρηπίδας. Έτσι στο Β. Αιγαίο η εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα έχει ομαλή μορφολογία και ευδιάκριτο υφαλοόριο σε βάθος μεταξύ των 120 και 140μ. (Σχ.9). Κάπως εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα σχηματίζεται επίσης στο Ανατολικό Αιγαίο μεταξύ των νήσων Λήμιου, Δωδεκανήσου και της Μικράς Ασίας, καθώς και σε μερικά τμήματα της Δυτικής Ελλάδας. Στο Ιόνιο Πέλαγος το υφαλοόριο απαντάται συνήθως σε βάθος από 140 έως 160 μ.



Σχ. 8: Καμπύλη μεταβολής της στάθμης κατά τα τελευταία 150.000 έτη. Οι αριθμοί αντιστοιχούν σε οξυγονοϊσοπικά στάδια.

Fig. 8: Sea level curve for the last 150.000 yr. The numbers correspond to oxygen isotopic stages.



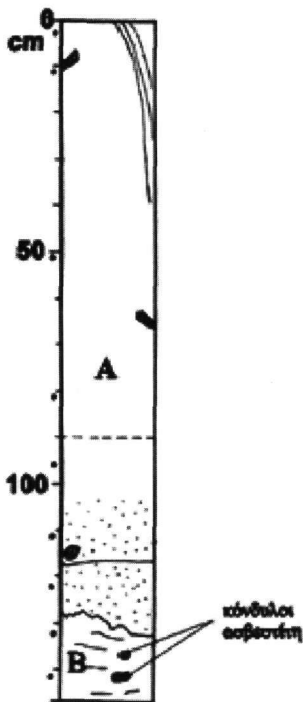
Σχ. 9: Θέση υφαλοορίου (ΥΦ) στο Β. Αιγαίο.
 Fig. 9: Shelf break location (ΥΦ) in the N. Aegean.

Στοιχεία ευστατικής μεταβολής της στάθμης κατά τα τελευταία 20.000 έτη στον Ελληνικό χώρο.

Στην περιοχή των ελληνικών θαλασσών δεν υπάρχουν ραδιοχρονολογήσεις προηγούμενων θέσεων της θαλάσσιας στάθμης εκτός από στοιχεία που αφορούν τα τελευταία 3000 έως 6000 έτη που έγιναν για αρχαιολογικές κυρίως έρευνες. Όπως είναι γνωστό όμως στο διάστημα αυτό η θέση της θαλάσσιας στάθμης είχε σταθεροποιηθεί και έτσι οι μετρήσεις αυτές απεικονίζουν κυρίως την δράση του τοπικού τεκτονισμού σε κάθε περιοχή, για την συγκεκριμένη περίοδο.

Έτσι οι ενδείξεις προηγούμενων επιπέδων χαμηλής στάθμης για την περιοχή μας είναι έμμεσες, δηλαδή στοιχεία ιζηματολογικά, σεισμικών διασκοπίσεων, τεκτονισμού και γεωαρχαιολογίας, που συνδυάζονται με την γνωστή καμπύλη της παγκόσμιας ευστατικής μεταβολής της στάθμης της θάλασσας.

Σε ότι αφορά τα **ιζηματολογικά στοιχεία**, είναι γνωστό ότι τα ιζήματα που καλύπτουν τον σημερινό πυθμένα κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο και τον χρόνο απόθεσής τους. Αυτό οφείλεται στο ότι ο ταχύς ρυθμός της επίκλυσης δεν επέτρεψε την κάλυψη όλων των παλαιότερων ιζημάτων με λεπτομερέστερα ολοκαινικά με αποτέλεσμα την σαφή αντιστροφή του μέσου μεγέθους. Έτσι σε πολλές περιοχές του Βορείου και Δυτικού Αιγαίου η περιοχή κοντά στο σημερινό υφαλοορίο συνδέεται με παρουσία πολύ καλώς διαβαθμισμένης χονδροκόκκης άμμου και με κανονική κατά Gauss καμπύλη κατανομής. Όλα αυτά είναι χαρακτηριστικά έντονης κυματικής δράσης, δηλαδή υποδηλώνουν παρουσία παλαιάς ακτής, ενώ στο εσωτερικό της υφαλοκρηπίδας προτερικά λεπτόκοκκα ιζήματα δείχνουν την επικράτηση των κανονικών θαλάσσιων συνθηκών ιζηματογένεσης.



Σχ. 10: Πυρήνας από τον κόλπο Καβάλας που περιέχει τον εδαφικό οριζοντα b(B) υποκείμενο των θαλασσίων ιζημάτων (A).
 Fig. 10: Core relieved from the Gulf of Kavala containing the soil horizon b (B) underlying the marine sediments (A).

Χαρακτηριστικό είναι ότι σε δύο τουλάχιστον περιοχές του Αιγαίου, στον κόλπο της Καβάλας (Σχ.,10) και στον Ν. Ευβοϊκό, πυρήνες που λήφθηκαν στην υφαλοκρηπίδα περιείχαν κάτω από το ολοκαινικό θαλάσσιο ιζημα, οριζόντες χερσαίας ιζηματογένεσης (εδαφικός οριζών β) (Perissoratis and V. Andel, 1988). Η επαφή μεταξύ των δύο ιζηματογενών οριζόντων βοήθησε στην ακριβή χαρτογράφηση και γνώση της επιφάνειας προέλασης της θάλασσας κατά την επίκλυση.

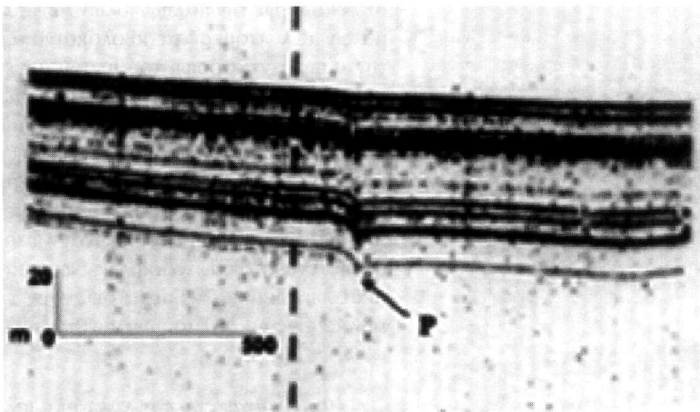
Οι **σεισμικές καταγραφές**, κυρίως σε συνδυασμό με τα παραπάνω ιζηματολογικά στοιχεία έδωσαν μια σαφή εικόνα του στρωματογραφικού πακέτου των ιζημάτων που αποτέθηκαν κατά την τελευταία επίκλυση. Προς την πλευρά του σημερινού υφαλοορίου τα ιζήματα αυτά απουσιάζουν ή αποτελούν ένα λεπτό στρώμα πάχους 1 έως 2 μέτρων, επικαθήμενα σε σκληρό υπόστρωμα και αυξανόμενο σε πάχος σε περιοχές παλαιοκοιτών ποταμών. Είναι ενδιαφέρον εδώ να σημειωθεί ότι οι μεγάλοι ποταμοί αποθέτουν το ιζηματογενές φορτίο τους κυρίως στα αλουβιακά πεδία της Ξηράς και έτσι προσφέρουν μικρές σχετικά ποσότητες στην διαμόρφωση της σημερινής υφαλοκρηπίδας. Αντίθετα, μικροί χείμαρροι, που διαρρέουν απότομου ανάγλυφου νεογενή-τεταρτογενή ιζήματα, μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες υλικού στην παράκτια ζώνη, μεταβάλλοντας σημαντικά την παράκτια μορφολογία. Από τα πιο σημαντικά όμως μορφολογικά χαρακτηριστικά της σημερινής υφαλοκρηπίδας είναι η παρουσία προ- ολοκαινικών εξαρμάτων που έχουν διαπιστωθεί στην εσωτερική υφαλοκρηπίδα με αποτέλεσμα σε περιόδους χαμηλής στάθμης τη δημιουργία λιμνών.

Μετά το υφαλοορίο η ιζηματογένεση είναι συνεχής και εμφανίζεται στις σεισμικές καταγραφές ως εναλλαγή πακέτων διαφανών και αδιαφανών οριζόντων που αντιστοιχούν σε περιόδους υψηλής και χαμηλής στάθμης της θάλασσας (Σχ. 11), και που είναι δυνατόν να συσχετισθούν με τα διάφορα οξυγονο-ισοτοπικά στάδια.

Ο **τεκτονισμός** στην θαλάσσια περιοχή μπορεί να προσδιοριστεί και ποσοτικά, με την μέτρηση της συνιζηματογενούς μετατόπισης των οριζόντων. Οι τιμές που έχουν βρεθεί κυμαίνονται από 0.1 έως 1 mm/έτος, (Σχ. 12), ενώ η συνήθης τιμή είναι μικρότερη των 0,5mm/έτος. Επομένως η συμβολή της τεκτονικής στη διαμόρφωση της υφαλοκρηπίδας είναι μικρή συγκρινόμενη με την ταχύτητα της ανόδου της στάθμης που είναι, από 8 έως 37mm/έτος (Bard et.al. 1989). Βέβαια, κατά το τελευταίο στάδιο της επίκλυσης, μετά τα 8.000 έτη, η μέση ταχύτητα ανόδου της στάθμης ήταν μόλις 2 mm/έτος και επομένως στο διάστημα αυτό οι ρόλοι της ιζηματογένεσης και της τεκτονικής είναι σημαντικότεροι.

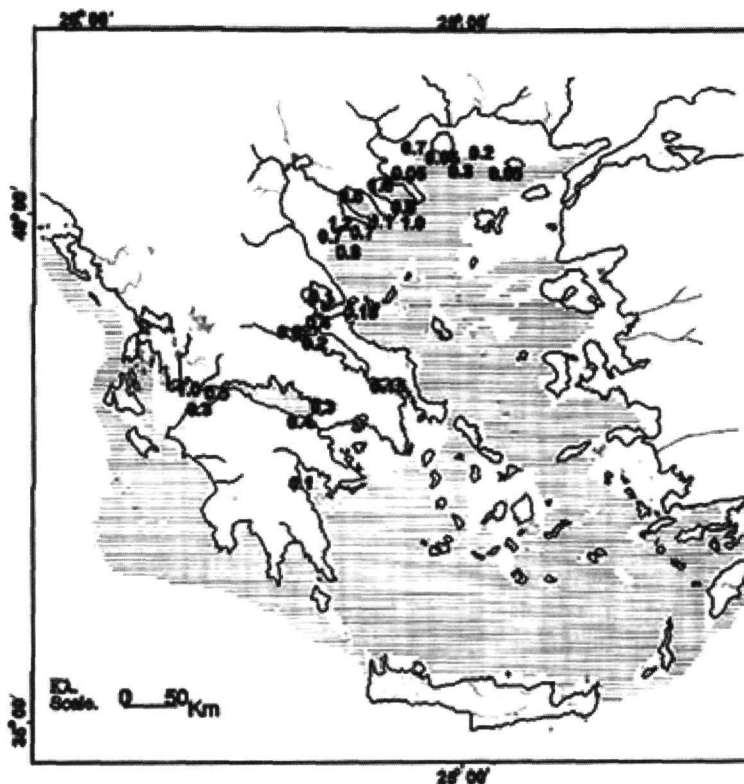
Συναφής με τον τεκτονισμό είναι και η συμβολή **των ευστατικών και ισοστατικών κινήσεων** του φλοιού στην περιοχή μας, λόγω της τήξης των παγετώνων. Όμως η συμβολή του παράγοντα αυτού είναι επίσης μικρή, της τάξης των μερικών μέτρων κατά τα τελευταία 18.000 έτη, συγκρινόμενη με την συνολική άνοδο της στάθμης κατά το διάστημα αυτό.

Τέλος, σημαντικά στοιχεία για προηγούμενες θέσεις, της θαλάσσιας στάθμης κατά την τελευταία περίοδο, δίνουν και οι **αρχαιολογικές έρευνες**. Υπάρχουν ιστορικές μαρτυρίες που αναφέρονται σε παράκτιες πόλεις και λιμάνια, που σήμερα είναι εντός της Ξηράς. Αυτές οι μαρτυρίες όμως έχουν έντονο τον τοπικό χαρακτήρα. Μερικές θέσεις έχουν μελετηθεί και από την άποψη της γεωαρχαιολογίας, ιδιαίτερα για το διάστημα μετά την πρώιμη ελλαδική περίοδο (προ 5000 ετών) για την οποία υπάρχουν και οι περισσότερες ιστορικές μαρτυρίες.



Σχ. 11: Εναλλαγή διαφανών και αδιαφανών στρωμάτων ιζημάτων στην τάφρο του Β. Αιγαίου. P: Συνιζηματογενής τεκτονισμός.

Fig. 11: Alternating transparent and opaque layers in the N. Aegean Trough. P: Synsedimentary tectonism.



Σχ. 12: Ταχύτητες τεκτονικής καθίζησης (σε mm / έτος) στο Αιγαίο και Ιόνιο Πέλαγος. Με γραμμοσκίαση οι περιοχές βάθους >200 m.

Fig. 12: Rates of subsidence (in mm/yr) in the Aegean and Ionian seas. Shaded are the areas with depth >200 m.

Η μορφολογία της ελληνικής υφαλοκρηπίδας και οι ιζηματογενείς διαδικασίες κατά το Ανωτ. Πλειστόκαινο –Ολόκαινο.

Για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιείται η παγκόσμια καμπύλη των Fairbanks(1989) και Bard et al (1989) που αφορά το διάστημα προ 20.000 έως 7.000 ετών. Σύμφωνα με τις μελέτες αυτές μετά τα 20.000 έτη η στάθμη άρχισε να ανέρχεται με ταχύτητα περίπου 0,5 εκ/έτος, με ένα αυξανόμενο ρυθμό από τα 16.000 έως τα 8.000 έτη που έφθανε τα 37mm/έτος, ενώ σε δύο διαστήματα μεταξύ 11.500 και 10.000 ετών καθώς και μετά τα 8.000 έτη ο ρυθμός ανόδου είχε μια σημαντική επιβράδυνση, με ταχύτητα περίπου 2mm/έτος.

Παλιοντολογική εικόνα κατά τα τελευταία 20.000 έτη.

Στην ευστατική καμπύλη της μεταβολής της στάθμης (Σχ. 8,13) μπορούμε να διακρίνουμε τρεις φάσεις: την πρώτη στα 20.000 έτη, όταν η στάθμη ήταν στο κατώτατο σημείο της, την δεύτερη στα 11.000 έτη, όταν υπήρξε μια μικρή υστέρηση στην ανοδό της στάθμης και την τρίτη στα 8.000 έτη όταν η στάθμη πλησίασε την σημερινή της θέση. Η εικόνα της περιοχής μας, στα 20.000 έτη με την στάθμη στα 120m., στα 11.000 έτη με την στάθμη στα 60m., και στα 8000 έτη με την στάθμη στα 15 m ήταν η ακόλουθη με βάση τα σημερινά στοιχεία:

Κατά το Ανώτατο Πλειστόκαινο (Σχ.14) στην περιοχή του Ιονίου, η Κέρκυρα ήταν συνδεδεμένη με την Ήπειρο ενώ μια λίμνη σχηματιζόταν μεταξύ τους με πιθανή νότια έξοδο προς το Ιόνιο.

Στην δυτική Στερεά Ελλάδα η ακτογραμμή ήταν περίπου 10χλμ δυτικότερα της σημερινής, ενώ πιο εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα υπήρχε δυτικά του σημερινού Πατραϊκού. Οι περισσότερες νήσοι συνδέονταν με τις μικρές νησίδες και ήταν μερικές ενωμένες και με την απέναντι ξηρά. Στον Κορινθιακό υπήρχε μια λίμνη βάθους περίπου 750μ. και μια αβαθέστερη στον Αμβρακικό (περίπου 25μ.). Δυτικά της Πελοποννήσου η ακτογραμμή ήταν 5 έως 8χμ δυτικότερα της σημερινής, ενώ στο Ναυαρίνο ο σημερινός πυθμένας του κόλπου ήταν ξηρά που διαρρεόταν από την συμβολή των χειμάρρων με εξοδο προς νότο.

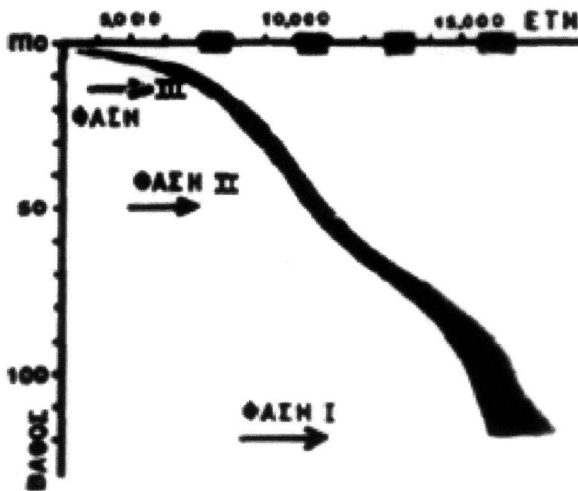
Στη περιοχή του Αιγαίου, στο βόρειο τμήμα υπήρχαν στην θέση της σημερινής υφαλοκρηπίδας εκτεταμένα αλλουβιακά πεδία, με την ακτογραμμή σε απόσταση 20 έως 30km νοτιότερα, διαρροόμενα από ποταμούς που είχαν ακολουθήσει διαφορετική πορεία από την σημερινή. Ο Νέστος και ο Στρυμόνας ενώνονταν δυτικά της Θάσου πριν εκβάλλουν στη θάλασσα. Η Θάσος και η Σαμοθράκη αποτελούσαν ορεινούς όγκους ύψους 1225μ. και 1731μ. αντίστοιχα, σε ένα εκτεταμένο πλατώ από την Ιερισσό μέχρι την Αλεξανδρούπολη. Μερικές λίμνες με διεξοδο σε περιόδους υπερπλήρωσης σχηματίζονταν στους σημερινούς κόλπους Ιερισσού, Στρυμωνικού και Αλεξανδρούπολης. Στη χερσόνησο της Χαλκιδικής η τότε ακτογραμμή ήταν συνήθως σε μικρή απόσταση από την σημερινή (< 3χμ) ενώ στον Θερμαϊκό Κόλπο υπήρχε επίσης ένα εκτεταμένο αλλουβιακό πλατώ που διαρροείταν από την προέκταση των ποταμών Αξιού, Αλιάκμονα και Πηνειού, για την ακριβή κοίτη των οποίων δεν υπάρχουν ακόμη στοιχεία.

Στο δυτικό Αιγαίο οι κόλποι Παγασητικός Β. και Ν. Ευβοϊκός και Σαρωνικός ήταν τμήματα ξηράς με σχηματισμό στο εσωτερικό τους μικρών η μεγαλύτερων λιμνών βάθους μερικών έως 300 μ. Στο νότιο Αιγαίο όμως λόγω της απότομης μορφολογίας, η ακτογραμμή ήταν κοντά στην σημερινή εκτός από μεμονωμένες περιοχές όπως στον Σαρωνικό και τον Αργολικό Κόλπο, όπου η θάλασσα ήταν σε απόσταση έως 15 χλμ. περίπου από την σημερινή θέση της.

Στο Κεντρικό Αιγαίο, οι Βόρειες Σποράδες ήταν ενωμένες με την Στερεά Ελλάδα ενώ νοτιότερα οι Κυκλάδες συνδέονταν μεταξύ τους σχηματίζοντας μια εκτεταμένη ξηρά, μερικά χιλιόμετρα από την ηπειρωτική χώρα. Κάπως εκτεταμένα πεδία είχαν σχηματιστεί στους κόλπους της Κρήτης. Στο Ανατολικό Αιγαίο ο Βόσπορος είχε αποκοπεί από το Αιγαίο, ενώ αλλουβιακά πεδία διακοπτόμενα από θαλάσσιες αύλακες ήταν σχηματισμένα στην Λήμνο, Χίο και στα Δωδεκάνησα που ήταν συνδεδεμένα με την ξηρά και διαρροείταν από τους ποταμούς της Μικράς Ασίας.

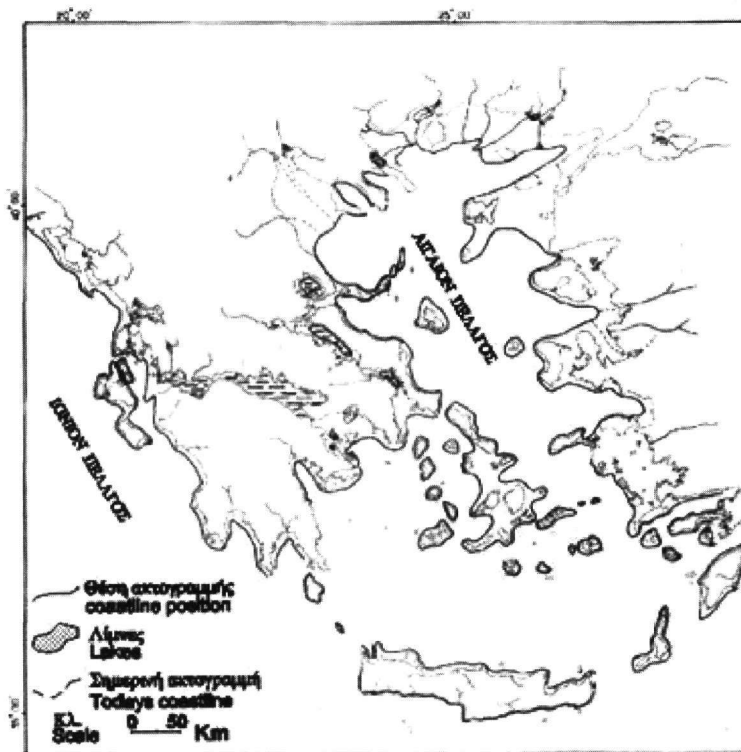
Κατά την διάρκεια της χαμηλής στάθμης της θάλασσας τα ιζήματα μεταφέρονταν μετά το σημερινό υφαλόοριο και αποτεθήκαν αδρομερέστερα με τη μορφή πρισματικών προδελταϊκών αποθέσεων και τα λεπτομερέστερα προς τις βαθύτερες περιοχές με τη δράση των ρευμάτων και των μαζικών μετακινήσεων όπου σχηματίσαν επάλληλα στρώματα. Ετσι σχηματίστηκε στην σημερινή ιζηματογενή στήλη το ανώτερο πακέτο των αδιαφανών οριζόντων που αντιστοιχεί στο οξυγονοϊσοστοπικό στάδιο 2.

Στα 11.000 έτη, (Σχ. 15) στο όριο Πλειστόκαινου- Ολοκαινού το επίπεδο της θάλασσας ήταν περίπου 60μ. κάτω από το σημερινό, και ήδη σημαντικές αλλαγές είχαν επέλθει στην παράκτια μορφολογία. Στην περιοχή του Ιονίου, η Κέρκυρα ήταν ενωμένη με την Ήπειρο με μια στενή γέφυρα ξηράς, ενώ στο νότιο τμήμα είχε αποκατασταθεί η επικοινωνία με την θάλασσα. Ο Αμβρακικός κόλπος ακόμη αποτελούσε λίμνη, ενώ νοτιότερα μερικές μόνο νήσοι ήταν ενωμένες με την ξηρά. Ο Κορινθιακός ήταν επίσης λίμνη αλλά με σημαντική είσοδο θαλάσσιου νερού σε περιόδους υψηλού κυματισμού, γιατί το στενό Ρίου Αντιρρίου είχε επίσης βάθος περίπου στα 60μ. Δυτικά της Πελοποννήσου, η ακτογραμμή ήταν σε απόσταση μικρότερη από μερικές εκατοντάδες μέτρα από την σημερινή, ενώ ο όρμος του Ναυαρίνου ήταν στο μεγαλύτερο μέρος του τμήμα της ξηράς.



Σχ. 13: Καμπύλη μεταβολής της στάθμης κατά τα τελευταία 16.000 έτη.

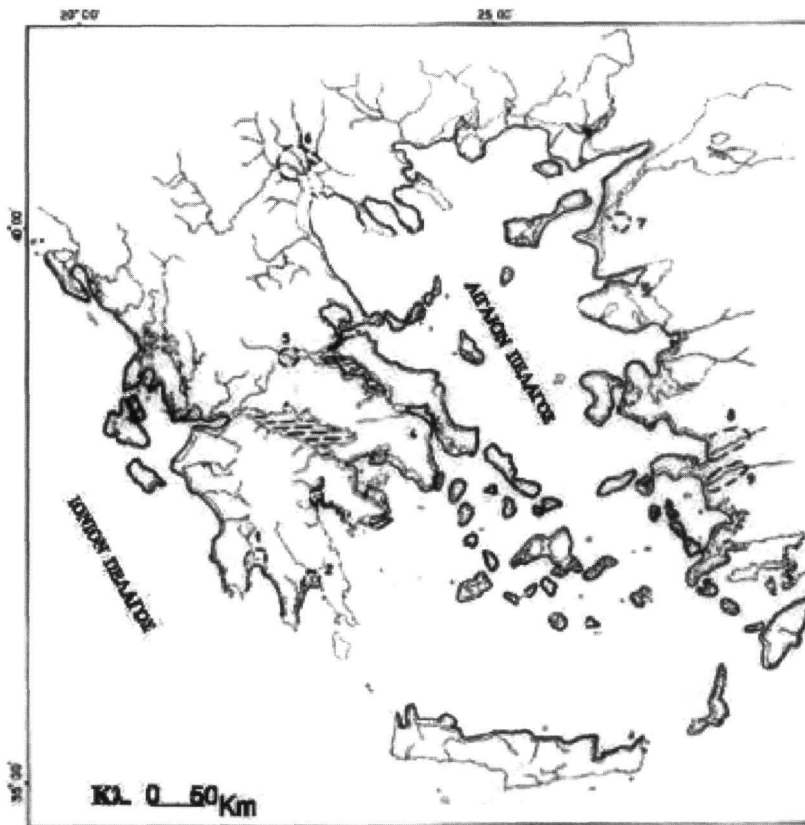
Fig. 13: Sea level curve for the last 16.000 yr.



Σχ. 14: Μορφολογία παράκτιων περιοχών κατά το Ανωτ. Πλειστόκαινο (πρω 20.000 ετών περίπου).
 Fig. 14: Morphology of coastal areas during. Uppermost Pleistocene (about 20.000 yr ago).

Στο Βόρειο Αιγαίο, τμήμα της σημερινής υφαλοκρηπίδας ήταν ακάλυπτο από θάλασσα. Η Σαμοθράκη ήταν χωρισμένη από την Θράκη με ένα μικρό θαλάσσιο διάυλο ενώ η Θάσος ήταν ακόμα ενωμένη με την Μακεδονία. Οι υπόλοιπες λίμνες που είχαν σχηματιστεί στο Βόρειο και Δυτικό Αιγαίο είχαν επικλυσθεί από θάλασσα, εκτός από τον Βόρειο και πιθανώς τον Νότιο Ευβοϊκό, όπου η κατάσταση ήταν ίδια με του Κορινθιακού Κόλπου, γιατί η είσοδος επικοινωνίας με την ανοικτή θάλασσα και στους δύο κόλπους είχε βάθος περίπου 60m. Στο υπόλοιπο Αιγαίο οι νήσοι είχαν αποκοπεί από την Ξηρά καθώς και μεταξύ τους. Γέφυρες Ξηράς όμως ακόμη υπήρχαν μεταξύ της Κεντρικής Ελλάδας και του δυτικού τμήματος των Βόρειων Σποράδων και μερικών νήσων του Αιγαίου και της Μικράς Ασίας. Τέλος οι Κυκλάδες σχημάτιζαν ακόμη μια μικρή κεντρική περιοχή Ξηράς μεγαλύτερης σε έκταση της σημερινής.

Στα 8.000 έτη, στο Κατώτερο Ολόκαινο, το επίπεδο της θάλασσας ήταν περίπου 15μ. χαμηλότερα και επομένως, λόγω της απότομης μορφολογίας των περισσότερων παράκτιων περιοχών της Ελλάδας, η θέση της ακτογραμμής ήταν πολύ κοντά στη σημερινή. Όμως στα αλουβιακά πεδία την χρονική αυτή περίοδο η κατάσταση ήταν σημαντικά διαφορετική από την σημερινή (Kraft et al., 1977). Οι σχετικές μελέτες έχουν δείξει ότι στις περιοχές αυτές υπάρχουν υφάλμυρα και θαλάσσια ιζήματα κάτω ολοκαινικής ή παλαιότερης ηλικίας πάνω στα οποία έχουν αποτεθεί μεταγενέστερα γεωγενή ιζήματα δεκάδων μέτρων πάχους. Αυτό δείχνει ότι κατά την ολοκλήρωση της επίκλυσης η θάλασσα εισέβαλε αρχικά στα εσωτερικά των αλουβιακών πεδίων και των κόλπων, σε αρκετές περιοχές (Σχ. 15, αρ.1-9) σε σημαντική απόσταση στα ανάπη της σημερινής ακτογραμμής. Σταδιακά όμως η προσφορά και απόθεση γεωγενών ιζημάτων από τους ποταμούς και τους χειμάρους αύξησε την Ξηρά σε βάρος της θάλασσας και η ακτογραμμή πήρε την σημερινή της μορφή. Οι περιοχές αυτές ήταν, σύμφωνα με ιστορικές μαρτυρίες, θέσεις σημαντικών ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (Σχ.15, αρ. 6), όπως η Πέλλα που πριν από 3.500 έτη ήταν λιμάνι, σε απόσταση 35 χλμ στα ανάπη της σημερινής ακτογραμμής και θέα οι Θερμοπύλες (Σχ.15, αρ.5) που ήταν παραθαλάσσια προ 3.000 ετών. Επίσης διάφορες άλλες πόλεις στην Υστεροελλαδική ή την Κλασική εποχή ήταν παράκτιες σε σημαντική απόσταση εντός της σημερινής Ξηράς όπως η Τίρυνθα, ο Μαραθώνας, η Τροιία, η Εφεσος και η Μίλητος (Σχ. 15, αρ. 1-4 και 7-9 αντίστοιχα. Kraft et al., 1977, 1988).



Σχ. 15: Μορφολογία παρακτίων περιοχών κατά την έναρξη του Ολοκαίνου (προ 11000 ετών περίπου). Με διακεκομμένη γραμμή και αριθμούς σημειώνονται οι αρχαιολογικές θέσεις που ήταν παραθαλάσσιες. Υπόλοιπα σύμβολα όπως στο προηγούμενο σχήμα.

Fig. 15: Morphology of coastal areas at the beginning of the Holocene (about 11000 yr ago).

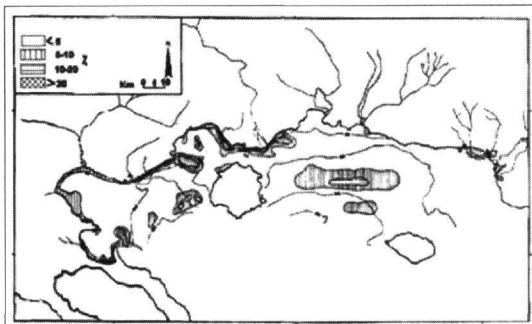
With dashed line and numbers are depicted the archaeological sites that were maritime. Other symbols as in the previous figure.

Κατά τη διάρκεια της ολοκαινικής επίκλυσης τα αδρομερή γεωγενή ιζήματα μεταφερόμενα από τα ρεύματα αποτίθενται και εξακολουθούν να αποτίθενται όπως φαίνεται στις σεισμικές καταγραφές, στην σημερινή υφαλοκρηπίδα. Μεγάλες ποσότητες λεπτόκοκκων ιζημάτων όμως μεταφερόμενα εν αιωρήσει μετά το υφαλόοριο, αποθέτονται στην κατωφέρεια και σχηματίζουν τον διαφανή ορίζοντα που αντιστοιχεί οξυγονο-ισοτοπικό στο στάδιο 1 και ο οποίος επικράτησε στο πακέτο των αδιαφανών (αδρομερών σχηματισμών) που αντιστοιχούν στο οξυγονο-ισοτοπικό του στάδιο 2. Εδώ θα πρέπει να τονισθεί ότι κατά την διάρκεια της επικλυσιγενούς διαδικασίας η συνεχής υποχώρηση της ακτογραμμής είχε σαν αποτέλεσμα και τη δημιουργία του επικλυσιγενούς στρώματος που αποτελείται από αδρομερές γεωγενές υλικό (άμμοι, χαλκιές, κροκάλες). Το στρώμα αυτό λόγω του ότι είναι αδρομερέστερο των υποκειμένων και υπερκειμένων στρωμάτων έχει σαφώς διαφορετική συμπεριφορά στα ακουστικά κύματα και έτσι αναγνωρίζεται σαφέστατα στις σεισμικές καταγραφές ανακλάσεως.

Παρακάτω θα εξετασθεί η σημασία της γνώσης της γεωλογίας της υφαλοκρηπίδας κυρίως για την ανεύρεση ιζηματογενών κοιτασμάτων, την κατασκευή τεχνικών έργων, καθώς και για την αρχαιολογία ή ακόμη και για την βιογεωγραφία.

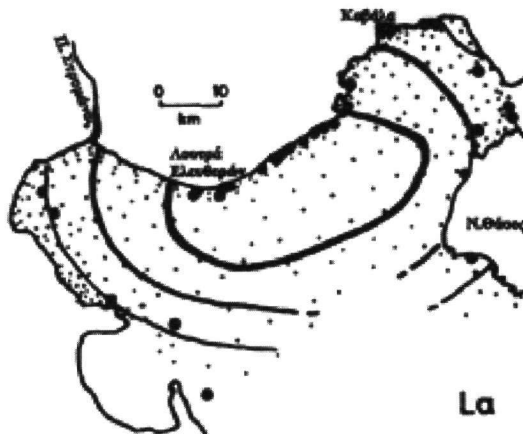
4. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΟΙΤΑΣΜΑΤΩΝ PLACERS

Όπως είναι γνωστό τα ιζηματογενή κοιτάσματα προσχωσιγενούς διαδικασίας στην περιοχή της υφαλοκρηπίδας, αποτελούνται κυρίως από αδρανή υλικά και από συγκεντρώσεις χρήσιμων βαρέων ορυκτών, ενώ στην περιοχή της κατωφέρειας και των αβυssiικών πεδίων έχουμε, από τον συνδυασμό χημικής ιζηματογένεσης και



Σχ. 16: Κατανομή των βαρέων ορυκτών στην υφαλοκρηπίδα του Β. Αιγαίου.

Fig.16: Heavy mineral distribution in the northern Aegean shelf.



Σχ. 17: Κατανομή Λανθανίου στην παράκτια περιοχή Ιερισσού - Καβάλλας

Fig. 17: Lanthanum distribution in the coastal Ierissos-Kavalla area.

βιογενούς δράσης, τον σχηματισμό φωσφοριτών, τη δημιουργία κονδύλων μαγγανίου, επιχρισμάτων κοβαλτίου στα υποθαλάσσια όρη και πολυμεταλλικών θειικών ενώσεων από υδροθερμική δράση στις υποθαλάσσιες ράχες. Όλα αυτά τα είδη κοιτασμάτων απαντούν στην Αποκλειστική Οικονομική Ζώνη των διαφόρων κρατών αλλά η εξόρυξή τους είναι φυσικά συνάρτηση των οικονομικότερων παραμέτρων. Τις τελευταίες δεκαετίες, μία νέα πιθανή πηγή ενέργειας έχει εντοπιστεί στα θαλάσσια ιζήματα, οι υδρίτες, που είναι κρυσταλλικές ενώσεις που περιέχουν μεθάνιο. Χαρακτηρίζονται συνήθως από την παρουσία στις σεισμικές καταγραφές ενός οριζόντα που ονομάζεται BSR (Bottom Stimulating Reflector), που ορίζει και την βάση των υδριτών. Η στρωματογραφική εικόνα στις περιοχές των υδριτών είναι (από τον θαλάσσιο πυθμένα προς τα κάτω) θαλάσσια ιζήματα (συνήθως πηλός/άργιλλος), υδρίτες και πάλι θαλάσσιο ιζημα με παρουσία ελεύθερου μεθανίου. Τα σημαντικότερα πεδία όπου έχουν εντοπισθεί υδρίτες είναι στον δυτικό Ατλαντικό, τον Βόρειο και Νότιο Παγωμένο ωκεανό, και στον Ανατολικό και στον Βορειοδυτικό Ειρηνικό ωκεανό. Στην Ανατολική Μεσόγειο ενδείξεις υδριτών υπάρχουν στην κεντρική Μεσογειακή Ράχη, νότια της Κρήτης και στα όρη του Αναξίμανδρου, ανατολικά της Ρόδου σε βάθη 2.000μ. περίπου (Περισσοράτης κ.α., 2000).

Στην περιοχή των ελληνικών θαλασσών τα ιζήματα έχουν υψηλό ποσοστό λεπτοκόκκων συστατικών και έτσι δεν διαπιστώθηκαν σημαντικές εκμεταλλεύσιμες αποθέσεις αδρανών υλικών, επειδή ο σχηματισμός των κοιτασμάτων αυτών απαιτεί μεγάλες ποσότητες αδρομερών υλικών σε εκτεταμένη υφαλοκρηπίδα έτσι ώστε στην συνέχεια να υφίστανται διαβάθμιση και επανακατανομή. Επίσης δεν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες για τις άλλες κατηγορίες ιζηματογενών κοιτασμάτων που απαντούν στις βαθιές περιοχές. Η σχετική έρευνα λοιπόν προσανατολίστηκε μόνο στην ενδεχόμενη παρουσία κοιτασμάτων βαρέων ορυκτών, δηλαδή με ειδικό βάρος μεγαλύτερο του 2,5. Άλλωστε τα κοιτάσματα αυτά καθώς και εκείνα των αδρανών είναι τα μόνα που σε παγκόσμια κλίμακα έχουν υποστεί και υφίστανται ακόμη οικονομική εκμετάλλευση.

Για την δημιουργία των κοιτασμάτων βαρέων ορυκτών (glacers), χρειάζονται τρεις προϋποθέσεις, η παρουσία κοιτασμάτων στην παρακείμενη ξηρά, η ύπαρξη ενός εκτεταμένου υδρογραφικού δικτύου και τέλος μια ανεπτυγμένη υφαλοκρηπίδα με έντονη κυματική δράση. Έτσι τα προϊόντα διάβρωσης των κοιτασμάτων μεταφέρονται με το υδρογραφικό δίκτυο προς την υφαλοκρηπίδα όπου υφίστανται την διαβαθμιστική δράση του κυματισμού και των ρευμάτων. Εκεί διαχωρίζονται τα βαρέα και τα ελαφρά ορυκτά και επομένως οι περιοχές συγκέντρωσης των βαρέων θα είναι οι παράκτιες ζώνες, σημερινές ή παλαιότερες καθώς και οι κοίτες ποταμών, εκεί δηλαδή που η διαβαθμιστική ενέργεια του υδάτινου παράγοντα ήταν εντονότερη και διαρκέστερη.

Στις ελληνικές θάλασσες, η περιοχή που συνδυάζει τις τρεις παραπάνω προϋποθέσεις είναι η υφαλοκρηπίδα του Βορείου Αιγαίου όπου έγινε εκτεταμένη γεωλογική μελέτη κατά τα έτη 1983 έως 1986 συνδυαζόμενη με γεωχημικές αναλύσεις των δειγμάτων. Θα πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι σε μερικές θέσεις της σημερινής παράκτιας ζώνης είχαν αναφερθεί συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών και από προηγούμενους έλληνες ερευνητές, ενώ μια εκτεταμένη μελέτη όλης της χερσαίας περιοχής, από Αλεξανδρούπολη έως Ιερισό είχε γίνει από το ΓΓΜΕ το 1978.

Με την ανάλυση λοιπόν των δειγμάτων (Σχ.16) (Perissoratis et.al., 1988), συγκεντρώσεις βαρέων ορυκτών εντοπίστηκαν στην περιοχή του υφαλοορίου σε βάθη 100- 120 μ., η διαμόρφωση του οποίου σχετίζεται και με την τελευταία ταπεινώση της στάθμης της θάλασσας, στην κεντρική υφαλοκρηπίδα μεταξύ των σημερινών βαθών 60-70μ., περιοχή που σχετίζεται με την περίοδο της «καθυστερήσης» της επίκλισης, στις περιοχές παλαιών κοιτών και τέλος την σημερινή παράκτια ζώνη. Στις περιοχές αυτές εντοπίστηκαν συγκεντρώσεις, κυρίως γρανάτη, επίδοτου, αμφιβόλων και πυροξένων, μαγνητίτη, ιλμενίτη, ζιρκονίου, ρουτίλιου. Από όλες αυτές τις εμφανίσεις αξιοσημείωτη και πιθανώς εκμεταλλεύσιμη είναι η παρουσία σπανίων γαιών στο ιζηματογενές παράκτιο πρίσμα της περιοχής από Λουτρά Ελευθερών μέχρι νέα Πέραμο, στην Κεντρική Μακεδονία (Σχ, 17, Moorby, et al., 1990).

5. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

Όπως προαναφέρθηκε η περιοχή της υφαλοκρηπίδας, είναι το πεδίο όπου εκτελούνται τα περισσότερα τεχνικά έργα στον θαλάσσιο χώρο, όπως κατασκευή λιμένων, υποθαλάσσιων αγωγών, σφραγίων, γεφυρών, τοποθέτηση καλωδίων κ.α. Για την επιτυχή πραγματοποίηση των έργων αυτών απαιτείται η γνώση των τεχνικών χαρακτηριστικών του πυθμένα και των υποστρωμάτων του και κυρίως η παρουσία και ο εντοπισμός ενός στρώματος υψηλής αντοχής για την θεμελίωση του έργου (Perissoratis et. al., 1997).

Ενα τέτοιο στρώμα αποτελεί ο επικλυσιαγενής ολοκαινικός ορίζοντας, γιατί ως αδρμερέστερο και συνεκτικότερο στρώμα από τα υποκείμενα και τα υπερκείμενα παρουσιάζει υψηλότερη αντοχή στην διατμητική τάση. Αυτά τα χαρακτηριστικά διαπιστώθηκαν π.χ. κατά την εκπόνηση της γεωλογικής μελέτης για την κατασκευή του λιμένα του Αιγίου. Η γεωλογική μελέτη που έγινε στον όρμο του Αιγίου έδειξε ότι το επικλυσιαγενές στρώμα βρίσκεται σε βάθος από 5 έως 30μ, κάτω από τον πυθμένα, ενώ οι γεωτεχνικές μετρήσεις έδειξαν ότι ενώ τα ανώτερα και κατώτερα του επικλυσιαγενούς ορίζοντα στρώματα είχαν αντοχή στην διατμητική τάση μερικά SPD/ min, ενώ στον ορίζοντα η αντίστοιχη τιμή ήταν έως 50 SPD/ min (Σχ.18). Σε ένα άλλο έργο, αυτό της ξειξής του Μαλλιακού Κόλπου, η αναγνώριση και η λεπτομερής χαρτογράφηση του ορίζοντα αυτού επίσης βοήθησε αποτελεσματικά στην αξιολόγηση της τεκτονικής συμπεριφοράς των υποστρωμάτων του πυθμένα, και στον υπολογισμό της επιτρεπτής φόρτισης των θεμελιώσεων.

Θα πρέπει να σημειωθεί σχετικά ότι παρ' όλο που η σημασία των υποθαλάσσιων γεωλογικών ερευνών, όπως και των αντιστοίχων μελετών στη ξηρά, έχει αποδειχθεί αναγκαία για την σωστή πραγματοποίηση των διαφόρων έργων, είναι γεγονός ότι μόλις πρόσφατα αναγνωρίστηκε κάπως αυτό από τους άλλους παράγοντες των έργων. Αυτό οφειλόταν στο ότι ο μηχανικός, συνήθως, συμβουλευεται τον γεωλόγο όταν το έργο παρουσιάζει προβλήματα και όχι πριν την εκτέλεση, όπως απαιτείται, για να προληφθούν προβλήματα αλλά και να προταθούν λύσεις που ενδεχόμενα θα προκύψουν. Θα πρέπει, επίσης, να γίνει κατανοητό ότι τα γεωλογικά προβλήματα και τα γεωλογικά πλαίσια κάθε περιοχής είναι ιδιάζοντα και δεν επαναλαμβάνονται τα ίδια σε κάθε περίπτωση, παρ' όλο που οι βασικές γεωλογικές γνώσεις που εφαρμόζονται είναι οι ίδιες.

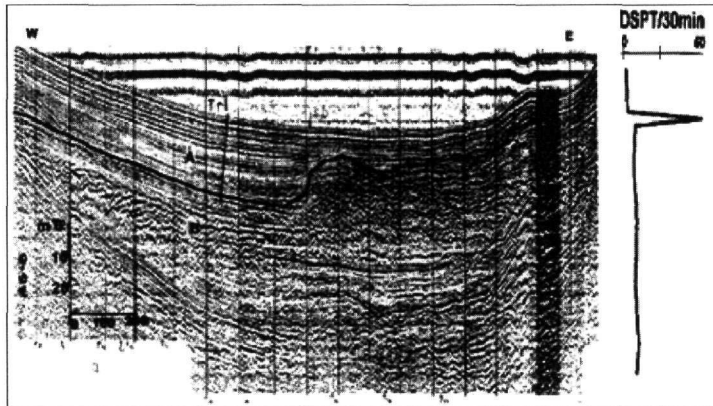
6. ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΒΙΟΓΕΩΓΡΑΦΙΑ

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας ταπεινώσης της στάθμης της θάλασσας ως προέκτασης των σημερινών παράκτιων εκτάσεων των αλουβιακών πεδίων υπήρχαν σημαντικές πεδιάδες ομαλής μορφολογίας, ενώ υπήρχαν πολυάριθμες πηγές και μικροί όρμοι, δηλαδή περιοχές εύκολης διάβασης και ευνοϊκών συνθηκών διαβίωσης για τον άνθρωπο- κληρο, για τον εντοπισμό θηραμάτων. Μια τέτοια περιοχή ξηράς ήταν π.χ. η έκταση από την Αργολίδα μέχρι την Αττική και φυσικά από την Ιερισσό μέχρι την Αλεξανδρούπολη. Επίσης σημερινές λωρίδες θάλασσας ήταν τότε γέφυρες ξηράς μεταξύ των νήσων αλλά και μεταξύ νήσων και ηπείρου ενώ ποταμοί που σήμερα εκβάλλουν σε απόσταση αρκετών δεκάδων χιλιομέτρων, είχαν τότε κοινή κοίτη. Έτσι και αν υπήρχαν μικρές λωρίδες θαλάσσης μεταξύ τμημάτων ξηράς φαίνεται ότι αυτές δεν αποτελούσαν εμπόδιο για την μετάβαση του ανθρώπου σε κοντινές νήσους. Όλες αυτές οι συνθήκες βοηθούσαν τον προϊστορικό άνθρωπο να μετακινείται από περιοχή σε περιοχή, τόσο για την συλλογή της τροφής του όσο και για την προμήθεια των απαραίτητων εργαλείων. Το ίδιο συνέβαινε και στις διάφορες βιοκοινωνίες που είχαν πρόσβαση σε περιοχές που σήμερα είναι απομονωμένες, λόγω της παρουσίας της θάλασσας. Είναι σαφές λοιπόν η σημασία της γνώσης της παλαιογεωγραφίας της υφαλοκρηπίδας, όπως προκύπτει από τις μελέτες θαλάσσιας γεωλογίας, για τις συνθήκες ζωής και τις συνθήκες του προϊστορικού ανθρώπινου πληθυσμού, όπως και για άλλες επιστήμες που μελετούν τις βιοκοινωνίες του Ανωτέρου Πλειστοκαίνου – Κατωτέρου Ολοκαίνου. Σχετικά παρατίθενται δύο παραδείγματα, ένα από την περιοχή της Αργολίδας και ένα από την περιοχή της Ανατολικής Μακεδονίας..

Στην Αργολίδα υπάρχει μια από τις σημαντικότερες προϊστορικές θέσεις ανθρώπινης διαβίωσης, το παράκτιο σπήλαιο της Φράγγχης, όπου έχει διαπιστωθεί η συνεχής ανθρώπινη παρουσία και δραστηριότητα κατά

το διάστημα τουλάχιστον των τελευταίων 20.000 ετών. Για το διάστημα αυτό υπάρχει μια συνεχής καταγραφή των διαφόρων αντικειμένων που ή χρησιμοποιήσε ή εγκατέλειψε μετά την χρήση τους ο άνθρωπος σε κάθε χρονική περίοδο. Διαπιστώθηκε λοιπόν ότι προ 11.000 ετών γινόταν χρήση του οψιδιανού, ενός ορυκτού που βρίσκεται μόνο στη Μήλο. Η εξήγηση που γίνεται είναι ότι πριν από 12.000-13.000 έτη, όταν η στάθμη της θάλασσας ήταν περίπου 100μ. κάτω από την σημερινή, η θάλασσα απόσταση από την Μήλο, ή το συγκρότημα των Κυκλάδων, ήταν μικρή και επομένως ήταν εύκολο για τον άνθρωπο για να μεταβεί εκεί και να πάρει το πολύτιμο γι' αυτόν εργαλείο. Στην ίδια περιοχή έγινε μια λεπτομερής γεωμορφολογική μελέτη της παρακείμενης υφαλοκρηπιδικής έκτασης με χρήση οργάνου σεισμικής ανάκλασης υψηλής διακριτικότητας (Van Andel, 1984). Αποτέλεσμα της μελέτης ήταν η κατάρτιση χαρτών παλαιομορφολογίας των τότε ακτών κατά διαφορετικά χρονικά στάδια, πριν και κατά την ολοκαινική επίκλιση. Ταυτόχρονα έγινε και μελέτη της αλλαγής των ανθρώπινων συνθηκών διατροφής, (Shackleton and Van Andel, 1986), όπως απεικονίζονται από την ταξινόμηση των κελυφών των μαλακίων που άφησε ως απορρίματα ο ένοικος των σπηλαίων της Φράγχθης στα χρονικά αυτά στάδια (Σχ. 19). Οι αλλαγές στην διατροφή των προγόνων μας εξηγήθηκε εντυπωσιακά από την σύνδεση της παράκτιας μορφολογίας και των ειδών των μαλακίων που ενδημούσαν στην παρακείμενη του σπηλαίου περιοχή, σε κάθε χρονική περίοδο, και τα οποία συνέλλεγε για την διατροφή του ο άνθρωπος.

Στην Ανατολική Μακεδονία, βιολογικές μελέτες έδειξαν ότι στους ποταμούς Νέστο και Στρυμόνα ενδημεί σήμερα ένα είδος ιχθυοκοινωνίας με τα ίδια χαρακτηριστικά γενετικής δομής του πληθυσμού, κάτι που προϋποθέτει επικοινωνία μεταξύ τους και που δεν μπορούσε να εξηγηθεί από τους βιολόγους, λόγω της σημερινής απόστασης των δύο ποταμών (J.Dugant, προσ.επικ.). Η σύμπτωση αυτή εξηγήθηκε από το γεγονός ότι οι ποταμοί Νέστος και Στρυμόνας είχαν κατά το Ανώτατο Πλειστόκαινο και το Κατώτερο Ολόκαινο κοινή κοίτη και εκβολή δυτικά της Θάσου



Σχ. 18: Ο επικλυσιογενής ορίζων και η γεωτεχνική συμπεριφορά του, στον κόλπο του Αιγίου.
 Fig. 18: The transgressive horizon and its geotechnical behavior in the Aegean Bay.

	Pyralis	Gibbula & Murex	Cerithium	Conus	Cypraea	Dentalium & Dentalium	Tapes & Murex
ΒΡΑΧΙΩΔΗΣ ΑΚΤΗ	■	■	■	■	■	■	■
ΑΚΤΗ ΜΕ ΧΑΛΔΕΣ	■	■	■	■	■	■	■
ΑΜΜΩΔΗΣ ΑΚΤΗ	■	■	■	■	■	■	■
ΞΑΘΣ ΜΕ ΦΡΑΓΜΟ	■	■	■	■	■	■	■
ΞΑΘΣ ΧΩΡΙΣ ΦΡΑΓΜΟ	■	■	■	■	■	■	■
ΕΛΥΣΙΑΣ ΑΚΤΗ	■	■	■	■	■	■	■

Σχ. 19: Συσχέτιση μορφο-λογίας ακτών και ειδους μαλακίων που βρέθηκαν στο σπήλαιο της Φράγχθης.
 Fig. 19: Correlation of coastal morphology and mollusk assemblages found at Franchthi cave.

7. ΣΗΜΕΡΙΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Τα τελευταία έτη, και κυρίως μετά την ανάπτυξη της θεωρίας περί αερίων θερμοκηπίου, ανόδου της στάθμης της θάλασσας και αιεφόρου ανάπτυξης του περιβάλλοντος της παράκτιας ζώνης, η σημερινή θαλάσσια έρευνα του θαλάσσιου πυθμένα έχει εντοπιστεί στα ανώτερα υποστρώματά του και στην υπερκείμενη θαλάσσια στήλη. Κύριο αντικείμενο της έρευνας είναι η μελέτη των προηγούμενων κλιματικών συνθηκών κατά τις τελευταίες χιλιετίες και η προσπάθεια εντοπισμού της ανθρωπογενούς επίδρασης στο περιβάλλον μετά την βιομηχανική επανάσταση των αρχών του αιώνα. Ακόμα έχει διαπιστωθεί ότι είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να γίνει γνωστή η ακριβής μορφολογία του πυθμένα σε όλα τα βάθη στις τρεις διαστάσεις του κάτι αντίστοιχο με τις αεροφωτογραφίες της ξηράς. Υπάρχει, επίσης, η ανάγκη της ταξιθέτησης των στοιχείων που έχουν συλλεχθεί στον θαλάσσιο χώρο και που είναι όχι μόνο πολυάριθμα αλλά και διαφορετικής αξιοπιστίας. Τέλος, ο ωκεάνιος πυθμένας αποτελεί πεδίο αυξανόμενης και πολλαπλής χρήσης και επομένως είναι απαραίτητη η γνώση των χαρακτηριστικών του για την διευθέτηση συγκρουόμενων δραστηριοτήτων.

Με βάση τις πιο πάνω παρατηρήσεις οι μελλοντικές επιστημονικές γεωλογικές έρευνες φαίνεται ότι θα περιλαμβάνουν τα παρακάτω πεδία

1. Περαιτέρω ανάπτυξη και εμπλουτισμό των βάσεων δεδομένων των δειγμάτων και των πυρήνων των θαλάσσιων ιζημάτων. Ήδη υπάρχει η Ευρωπαϊκή βάση δεδομένων EU-SEASED που έγινε με συντονιστή το ΙΓΜΕ (Perissoratis, C., 2000) και η αμερικανική βάση δεδομένων στο Internet οι οποίες συνδέονται. Επίσης η Ευρωπαϊκή Ένωση θα χρηματοδοτήσει τα επόμενα τρία έτη, την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων για σεισμικές διασκοπήσεις με το πρόγραμμα EUROSEISMICS. Οι βάσεις αυτές θα περιλαμβάνουν τα επόμενα έτη και στοιχεία από άλλες χώρες έτσι ώστε να είναι γνωστή η έκταση το είδος και η αξιοπιστία των στοιχείων αυτών σε παγκόσμιο επίπεδο.
2. Η εκτεταμένη χρήση πολυδιανυκτικών ηχοβολιστών (Seabeam) Τα όργανα αυτά έχουν αναπτυχθεί εντυπωσιακά τα τελευταία έτη και οι ψηφιακές καταγραφές τους, εκτός της ακριβούς τρισδιάστατης μορφολογίας του πυθμένα, παρέχουν και πληροφορίες για την σύσταση των ιζημάτων του. Η σημερινή τεχνολογία παρέχει την δυνατότητα της καταγραφής με τα όργανα αυτά της μορφολογίας ανεξαρτήτως βάθους θάλασσας, με υψηλή πιστότητα μέχρι το βάθος των 3.000m. Τα στοιχεία αυτά σε συνδυασμό με την ακρίβεια προσανατολισμού και την τελειοποίηση των μονάδων εκπομπής, λήψης, και επεξεργασίας των στοιχείων, κάνουν την χρήση του οργάνου απαραίτητη προϋπόθεση για τον σχεδιασμό και την εκτέλεση περαιτέρω ερευνών. Έτσι μετακινήσεις ιζημάτων και υπολειμματικών μορφολογικών χαρακτηριστικών, θέσεις ρηγμάτων και πτυχών, περιοχές απόθεσης κατολισθήσεων αλλά και πληροφορίες για τις βιογενείς δραστηριότητες είναι τα κυριότερα στοιχεία που δίνονται από την χρήση του οργάνου αυτού. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό ότι στο ερευνητικό σκάφος «ΑΙΓΑΙΟ» του ΕΚΘΕ έχει πρόσφατα εγκατασταθεί παρόμοια συσκευή.
3. Η βελτίωση της ψηφιακής επεξεργασίας των σεισμικών καταγραφών ανακλάσεως που έχει σημειωθεί τα τελευταία έτη, και που αναμένεται να τελειοποιηθεί με την παράλληλη χρήση GIS, θα βοηθήσει στην τρισδιάστατη απεικόνιση των βαθύτερων οριζόντων κάτω από τον πυθμένα. Έτσι η βαθύτερη δομή του ανωτέρου τμήματος του φλοιού της γης θα γίνει προσιτή και σαφέστερη στους ερευνητές.
4. Η μελέτη των παρελθόντων κλιματικών συνθηκών και των επιπτώσεων των αναμενόμενων αλλαγών. Ο στόχος αυτής της δραστηριότητας θα απαιτήσει λεπτομερή στρωματογραφική ανάλυση των ανωτέρων υποστρωμάτων του πυθμένα καθώς και μελέτη των ιζημάτων για την ακριβή εικόνα της στρωματογραφίας. Τα στοιχεία που θα απαιτηθούν θα αφορούν σεισμικές διασκοπήσεις υψηλής ακριβείας και διακριτικής ικανότητας καθώς και γεωτρήσεις κυρίως σε περιοχές δέλτα.
5. Μελέτη των επιπτώσεων στην παράκτια ζώνη από καταστροφικά φαινόμενα. Η ενδεχόμενη άνοδος της θάλασσας κατά 60 εκ. τα επόμενα 100 έτη, η δημιουργία τσουνάμι, και η διάχυση φορτίων πετρελαίου από θαλάσσια ατυχήματα, προσβάλλουν άμεσα την παράκτια ζώνη. Επομένως θα πρέπει οι σχετικές επιπτώσεις να μελετηθούν έτσι ώστε να προταθούν τα κατάλληλα μέτρα.
6. Καταγραφές των συνθηκών ιζηματογένεσης σε πραγματικό χρόνο. Ο θαλάσσιος πυθμένας είναι μια περιοχική συνεχών μεταβολών από ενδογενείς και εξωγενείς παράγοντες. Έτσι στοιχεία για πίεση των πόρων των ιζημάτων, την μικροσεισμικότητα, τις μαζικές μετακινήσεις και τον ρηψισμό, την υδροθερμική δράση, τον ρυθμό ιζηματοπόθεσης αποτελούν πολύ χρήσιμα στοιχεία. Τα παραπάνω είναι ιδιαίτερα σημαντικά για περιοχές έντονης τεκτονικής δράσης όπως η δική μας. Ομως τα σχετικά προγράμματα απαιτούν υψηλά κονδύλια και χρειάζεται διεθνής συνεργασία για την υλοποίησή τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- BARD, E., FAIRBANKS, R., ARNOLD, M., MAURICE, P., DURRAT, J., MOYES, J., AND DUPLESSY, J.C., (1989). Sea level estimates during the last deglaciation based on S180 and AMS C14 Ages Measured in Globigerina bulloides. *Quaternary Research*, v. 31, p. 381-391.
- BOILLOT, G., 1981: Geology of the continental margins. Longman, London and N. York, 115p.
- CHAPPELL, J. AND SHACKLETON, N.J. (1986). Oxygen isotopes and sea level. *Nature* v. 323, p. 137-140.
- CRONAN, D.S., 1992: Marine Minerals in Exclusive Economic Zones, Chapman and Hall, London, 209 p.
- FAIRBANKS, R.G., 1989: A 17.000 yr-old glacioeustatic sea level record: Influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep ocean circulation. *Nature* v.3 42, p. 637-642.
- KRAFT, J.C., ASCHENBRENNER, S.E., AND RAPP, G., 1977. Paleogeographic reconstructions of coastal Aegean Archaeological sites, *Science*, v.195, p.941-947.
- KRAFT, J. AND RAPP, R.G., 1988: Geological reconstruction of ancient coastal landforms in Greece with predictions of future coastal changes. In: *Engineering Geology and the Environment* (ed. Marinos, G., Koukis, G., Tsiambaos, G., and Stournaras editors), Balkema, Rotterdam, V.II, p. 1545-1556.
- LEINFELDER, R., AND SEYFRIED, H., 1993: Sea level change: A philosophical approach. *Sedim* V.82, p159-172
- MOORBY, S.A., CRONAN, D.S., PERISSORATIS, C., AND SAKELLARIADOU, F., 1990: A statistical analysis of geochemical data in regard to Placer Mineral Exploration in the Northern Aegean Sea. *Marine Mining*, v.8, p.439 - 456.
- PERISSORATIS, C., ZACHARAKI, P., ZIMIANITIS, E., AND GAZETAS, G., (1997). Contribution of marine geology to engineering projects: Maliakos submerged tunnel and Aegion harbour. In: *Engineering Geology and the Environment* (ed. Marinos, Koukis, Tsiambaos and Stournaras), Balkema, Rotterdam, VIII, p. 2845-2850.
- PERISSORATIS, C., AND VAN ANDEL, T.J.H., (1988). Late Pleistocene unconformity in the Gulf of Kavalla, northern Aegean, Greece. *Marine Geology*, v. 81, p. 53-61.
- PERISSORATIS, C., MOORBY, S.A., ANGELOPOULOS, I., CRONAN, D., PAPAVALIIOU C., KONISPOLIATIS, N.M., SAKELLARIADOU, F., AND MITROPOULOS, D., 1988.: Mineral Concentrations in the Recent Sediments off Eastern Macedonia, Northern Greece. *Geological and Geochemical Considerations*. In: *Mineral Dep. within the Eur. Comm.*, Boissonas and P. Omenetto eds., Springer Verlag Berlin, Heidelberg, p.530-552.
- PERISSORATIS, C., AND VAN ANDEL, T.J.H., (1991). Sea level changes and tectonics in the Quaternary extensional basin of South Euboikos Gulf, Greece. *Terra Nova*, v. 3, p. 294-302.
- PERISSORATIS C. 2000: an internet database of metadata on sea floor sediment samples held at european institutes: european commission, dxii, science, res. And devel. Project information booklet, 26p. Edit. Inst. Geoll. Min. Expl. Athens, Greece.
- SEIBOLD, E., AND BERGER, W.it., 1982: The sea floor, Springer-Verlang, Berlin, Heidelberg, New York, p. 288.
- SHACKLETON, J.C., AND VAN ANDEL, T.J.H., 1986: Prehistoric shore Environments, shellfish availability and shellfish at Franchthi, Greece *Geoarch*. v.1, N.2, p. 127-143
- STANLEY, D.J., 1995: A global sea level curve for the late Quaternary: the impossible dream? *Mar. Geol.* V.125, p.1-6
- VAN ANDEL, T.J.H. 1984: High resolution reflection profiles for the reconstruction of postglacial transgressive shorelines. *An example from Greece* : *Quat. Res*, v. 22, p.31-45
- VAN ANDEL, T.J.H., 1985: *New views on an old planet*. Cambridge University Press, London, New York, 324p.
- VANNEY, J.R., AND STANLEY, D.J. 1983: Shelfbreak physiography: an overview *SEPM, Sp. Publ.* No 33, p.1-24