# ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Έφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου'

Κατεύθυνση : Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Καταστροφών

Οι θαλάσσιες εγκοπές ως δείκτες μεταβολών της στάθμης θάλασσας από σεισμικά ιστορικά γεγονότα : Η περίπτωση της Χιλής στην Εύβοια

Διπλωματική εργασία της

Βαλκάνου Κανέλλας

Αθήνα, Φεβρουάριος 2012

# ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

Τμήμα Γεωγραφίας

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

Έφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση του Χώρου'

Κατεύθυνση : Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών Καταστροφών

Οι θαλάσσιες εγκοπές ως δείκτες μεταβολών της στάθμης θάλασσας από σεισμικά ιστορικά γεγονότα : Η περίπτωση της Χιλής στην Εύβοια

Διπλωματική εργασία της Βαλκάνου Κανέλλας

Επιβλέπων καθηγητής : Καρύμπαλης Ευθύμιος

Αθήνα, Φεβρουάριος 2012

#### Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών «Εφαρμοσμένη Γεωγραφία και Διαχείριση Χώρου», κατεύθυνση «Διαχείριση Φυσικών και Ανθρωπογενών καταστροφών», του Τμήματος Γεωγραφίας του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου.

Μου ανατέθηκε από τον επίκουρο καθηγητή του τμήματος Γεωγραφίας κ. Ευθύμιο Καρύμπαλη, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαιτέρως για την καθοδήγησή του κατά την εκπόνησή της, για τις παρατηρήσεις του και τις διορθώσεις του, αλλά και για τη συνεχή συνεργασία και υποστήριξη όποτε χρειάστηκα τη βοήθειά του.

Επιπλέον θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στο Γ. Κρόκο που με βοήθησε στην έρευνα πεδίου και στη βιβλιοθήκη του Χαροκόπειου Πανεπιστημίου για την άμεση ανταπόκριση στην εύρεση άρθρων που ήταν απαραίτητα για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

#### Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία αρχικά περιγράφονται οι θαλάσσιες εγκοπές ως παράκτιες γεωμορφές βραχωδών ακτών (διεργασίες σχηματισμού, μορφολογικά χαρακτηριστικά) δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση στο ρόλο τους ως παράκτιοι δείκτες μεταβολής της στάθμης θάλασσας σαν αποτέλεσμα απότομων τεκτονικών κινήσεων. Αναλύονται οι μέθοδοι με τις οποίες οι γεωμορφές αυτές μπορούν να χρονολογηθούν. Οι μέθοδοι αυτές αφορούν τόσο τα μορφολογικά τους στοιχεία, όσο και οργανικά υπολείμματα απολιθωμένων θαλάσσιων οργανισμών. Λόγω της ευρείας χρησιμοποίησης των τελευταίων, ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στα είδη θαλάσσιων οργανισμών, τα απολιθώματα των οποίων μπορούν να δώσουν αξιόπιστες πληροφορίες για τις κατακόρυφες τεκτονικές κινήσεις, στις μεθόδους ραδιοχρονολόγησης, ενώ επιπλέον αναλύονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της χρήσης βιολογικών δεικτών θαλάσσιας στάθμης του παρελθόντος σε περιοχές με έντονη σεισμική δραστηριότητα.

Ακολούθως δίνονται παραδείγματα περιοχών του Ελλαδικού χώρου όπου η χρονολόγηση θαλάσσιων εγκοπών έχει οδηγήσει στο συσχετισμό της ανύψωσης ή της βύθισης βραχωδών ακτών με μεγάλης έντασης ιστορικά σεισμικά γεγονότα. Από τα στοιχεία αυτά κατασκευάστηκε ένας κατάλογος και δημιουργήθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων η οποία περιλαμβάνει με λεπτομέρεια τις θέσεις όπου έχουν εντοπιστεί από διάφορες ερευνητικές εργασίες ανυψωμένες ή βυθισμένες παλαιοακτογραμμές στην Ελλάδα, τους δείκτες τόσο βιολογικούς όσο και γεωμορφολογικούς, που χρησιμοποιήθηκαν για την αναγνώριση της εκάστοτε μετατόπισης της ξηράς, τα αποτελέσματα των ραδιοχρολογήσεων, τα επίκεντρα των σεισμών που πιθανόν οδήγησαν στην κίνηση αυτή και ενδεικτικές φωτογραφίες ή τομές σε διάφορες θέσεις.

Τέλος επιχειρήθηκε η αποτύπωση των μορφολογικών χαρακτηριστικών της ανυψωμένης εγκοπής στην περιοχή «Χιλή» στα ανατολικά της κεντρικής Εύβοιας με υπαίθριες παρατηρήσεις και έγινε προσπάθεια για τη χρονολόγησή της με σκοπό το συσχετισμό της με ιστορικούς σεισμούς που έχουν πλήξει την ευρύτερη περιοχή στο παρελθόν. Έγινε αποτύπωση των γεωμορφών της παράκτιας αυτής περιοχής σε τοπογραφικό διάγραμμα κλίμακας 1:5000. Η υπαίθρια μελέτη έδειξε την παρουσία μιας εγκοπής +70±10cm πάνω από τη σημερινή θαλάσσια στάθμη, η τεκτονική ανύψωση της οποίας δείχνει να είναι συνσεισμική.

Λέξεις κλειδιά : βιολογικοί δείκτες, θαλάσσιες εγκοπές, σεισμική μετατόπιση, παλαιοακτογραμμή

#### Abstract

At the first part of this study marine notches are described as coastal landforms of rocky coasts (formation processes, morphological features) focusing on their role as coastal sealevel indicators at areas of sudden tectonic movements. Additionally, dating methods for these landforms are also analyzed and discussed. These methods concern both morphological features and organic remnants of fossilized sea organisms. Given the widespread use of this dating method, special emphasis is given to sea species which as fossils can provide information about vertical tectonic movements as well as to radiocarbon dating techniques, while advantages and disadvantages of the use of biological indicators of former sea-levels in seismically active coastal areas are also analyzed.

Then examples of Greek areas where dating of marine notches has resulted in successful correlation between tectonic uplift and/or subsidence of rocky coastlines and intense earthquake events, are presented. Using this data a catalogue was prepared and a digital database was constructed including in detail information such as locations where uplifted or submerged palaeoshorelines have been investigated by researchers within Greece, the type of indicators (biological and/or geomorphological) that has been used for the recognition of each land movement, the results of radiocarbon dating, earthquakes' epicenters that possibly triggered this movement, representative photos or cross sections of the rocky coast profiles. Finally, the record of the morphological characteristics of the uplifted notch along the Chili

Finally, the record of the morphological characteristics of the uplifted notch along the Chili (East Central Evia Island) coastline is attempted through extensive fieldwork. The dating of this uplifted feature is also attempted in order to correlate it with past earthquakes that have affected the broader area. The landforms of the broader area were recognized and mapped with topographic diagrams of 1:5000 as background. During the fieldwork one marine notch was recognized and mapped  $+70\pm10$ cm above mean sea-level. The morphological details of these features show that the tectonic uplift of the coastal area was sudden (coseismic).

Key words :

biological indicators, marine notches, seismic palaeoshoreline

displacement,

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	Εισα	γωγή		. 12
	1.1	Γενι	ςά	. 12
	1.2	Μεθ	οδολογία	. 13
	1.3	Σκοπ	τός της εργασίας	. 15
	1.4	Δομι	ή της εργασίας	. 16
2.	Θαλό	ίσσιες	ς εγκοπές	. 17
	2.1	Περι	γραφή	. 17
	2.2	Ρυθμ	ιοί σχηματισμού των θαλάσσιων εγκοπών	. 17
	2.3	Τύπο	οι εγκοπών	. 18
	2.3.2	1	Παλιρροιακές (tidal) εγκοπές	. 18
	2.3.2	1.1	Χωρίς μετατόπιση	. 20
	2.3.2	2	Εγκοπές από τη θραύση του κύματος (surf)	. 21
	2.3.3	3	Εγκοπές τριβής (abrasion)	. 21
	2.3.4	4	$\Delta$ ομικές εγκοπές (structural)	. 22
	2.4	Ταξι	νόμηση εγκοπών ανάλογα με την κυματική ενέργεια	. 22
3.	Βιολο	оуіко	ί δείκτες στάθμης θάλασσας	. 24
	3.1	Γενι	ςά	. 24
	3.2	Διαχ	ωρισμός βιολογικής δραστηριότητας σε ζώνες βραχωδών ακτών	. 24
	3.3	Ορισ	μός της Βιολογικής μέσης στάθμη της θάλασσας (BMSL)	. 27
4.	Σεισμ	uoí <b>k</b> a	μ τοπογραφικές αλλαγές	. 28
	4.1	Μετα	ατοπίσεις λόγω σεισμών	. 28
	4.2	Ιστο	οικά στοιχεία μετατοπίσεων και μορφολογικών αλλαγών λόγω σεισμών	. 28
	4.3	Μετρ	ρήσεις τοπογραφικών αλλαγών από σεισμούς	. 29
	4.4	Αρχα	αιοσεισμολογικές μελέτες στην Ελλάδα	. 30
	4.5	Σεισ	μικές κινήσεις και μεταβολές της στάθμης της θάλασσας	. 31
5.	Οιθα	ιλάσσ	πες εγκοπές σαν δείκτες μεταβολής θαλάσσιας στάθμης	. 33
	5.1	То є	πίπεδο της θάλασσας σαν σημείο αναφοράς	. 33
	5.2	Χαρο	ακτηριστικά θαλάσσιων παλιρροιακών εγκοπών	. 33
	5.2.	1	Κατακόρυφη μετατόπιση μεγαλύτερη από το παλιρροιακό εύρος	. 34
	5.2.2	2	Κατακόρυφη μετατόπιση μικρότερη από το παλιρροιακό εύρος	. 34
	5.2.3	3	Κατακόρυφη μετατόπιση αργή και σταδιακή	. 35
	5.2.4	4	Επαναλαμβανόμενες μετατοπίσεις	. 36

6.	Βιολ	оуіко	οί δείκτες μεταβολής θαλάσσιας στάθμης	37
	6.1	Ηχ	ρήση απολιθωμένων βιολογικών δεικτών	37
	6.1.	1	Ο προσδιορισμός του υψομέτρου	37
	6.1.	2	Ο προσδιορισμός της ταχύτητας της μετατόπισης	39
	6.2	Είδτ	η που χρησιμοποιούνται ως βιολογικοί δείκτες	40
	6.2.	1	Lithophaga Lithophaga (L.), Mollusca, Lamellibranchiata, Mytylidae	40
	6.2.	2	Lithophyllum lichenoides Philippi (1837), Rhodophyta, Corallinacea	42
	6.2.	3	Dendropoma (Novastoa) petraeum Monterosato, Mollusca, Gastrop	oda,
	Pros	sobra	nchiata, Vermetidae	43
	6.2.	4	Vermetus triqueter Gmel. και Serpulorbis arenarius (L.), Mollu	isca,
	Gas	tropo	da, Prosobranchiata, Vermetidae	45
	6.2.	5	Oysters, Mollusca, Lamellibranchiata, Ostraeidae	46
	6.2.	6	Chthamalus sp. Arthropodia, Crustacea, Cirripedia	47
	6.2.	7	Balanus spp, Arthropoda, Crustacea, Cirripedia	48
	6.2.	8	Corals	49
7.	Χρον	νολόγ	ηση βιολογικών δεικτών στάθμης θάλασσας	50
	7.1	Ραδ	ιενεργός άνθρακας ( <sup>14</sup> C)	50
	7.1.	1	Η χρονολόγηση θαλάσσιων οργανισμών	50
	7.1.	2	Οι αβεβαιότητες της χρονολόγησης με $^{14}$ C	51
	7.1.	3	Η επιλογή του δείγματος για ραδιοχρονολόγηση	52
	7.2	AM	S (Accelerator Mass Spectrometry)	52
	7.3	U/T	h	53
8.	Η χρ	ήση τ	του είδους Lithophaga	54
	8.1	Παρ	ράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση ραδιενεργού άνθρακα για τον προσδιορι	ισμό
	ηλικία	ς lith	ophagid	54
	8.1.	1	Παλαιότερες αποικίες και δυναμικό διατήρησης	55
	8.1.	2	Ενσωμάτωση παλαιού άνθρακα στα κελύφη	56
	8.2	Υπο	οδείξεις για την επιλογή κελυφών Lithophaga	57
	8.3	Нα	ξιοποίηση οπών των Lithophaga και η ακρίβεια της χρήσης τους σαν δεί	κτες
	στάθμ	ης θά	λασσας	57
9.	Αναγ	νώρι	ιση συν σεισμικών μετατοπίσεων	60
	9.1	Ανύ	ψωση	60
	9.1.	1	Εξαιρέσεις στην αναγνώριση συν σεισμικών μετατοπίσεων	62
	9.1.	1.1	Η περίπτωση των ειδών της ανώτερης μεσοπαλιρροιακής ζώνης	62

9.1.1.2	Η περίπτωση προστατευμένης από τις θαλάσσιες διεργασίες περιοχής κα
περιοχής	καλυμμένης με ίζημα62
9.1.1.3	Η περίπτωση της ενδοβιωτικής πανίδας63
9.1.2	Ελάχιστη ταχύτητα μιας συν-σεισμικής κίνησης63
9.1.3	Αποδείξεις στιγμιαίας συν - σεισμικής ανύψωσης μιας ακτογραμμής64
9.1.3.1	Πολύ ισχυρές αποδείξεις64
9.1.3.2	Αδύναμες αποδείξεις64
9.1.3.3	Δεν υπάρχουν καθόλου αποδεικτικά στοιχεία64
9.1.4	Αποδείξεις αργής ανύψωσης65
9.2 Βύθ	μση65
10. Ανυψωμέ	νες και βυθισμένες παλαιοακτογραμμές στην Ελλάδα
10.1 Γεν	ικά67
10.2 Σεισ	σμικές κινήσεις κατά μήκος του τόξου68
10.2.1	Κρήτη68
10.2.1.1	Ανυψωμένες εγκοπές69
10.2.1.2	Βιολογικοί Δείκτες
10.2.1.3	Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης74
10.2.1.4	Ιστορία μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας
10.2.1.5	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία72
10.2.2	Ρόδος
10.2.2.1	Ανυψωμένες εγκοπές80
10.2.2.2	Βιολογικοί Δείκτες
10.2.2.3	Χρονολόγηση ανύψωσης88
10.2.2.4	Ιστορία μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας και αποδείξει
ταχείας ο	ανύψωσης95
10.2.2.5	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία95
10.2.3	Νησιά του Ιονίου96
10.2.3.1	Ζάκυνθος98
10.2.3.1.	1 Μορφολογικοί και βιολογικοί δείκτες ανυψωμένης ακτογραμμής98
10.2.3.1.	2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης
10.2.3.1.	3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα
10.2.3.2	Κεφαλονιά
10.2.3.2.	1 Μορφολογικοί και βιολογικοί δείκτες ανυψωμένων ακτογραμμών 100
10.2.3.2.	2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης
10.2.3.2.	3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

10.2.3.3	Κέρκυρα	
10.2.3.3.	Μορφολογικοί και βιολογικοί δείκτες ανυψωμένης ακτογρα	μμής 106
10.2.3.3.	2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης	
10.2.3.3.	3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία	
10.2.3.4	Λευκάδα	
10.2.3.4.	Δείκτες ανυψωμένης ακτογραμμής	109
10.2.3.4.2	2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης	
10.2.3.4.	3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία	
10.2.3.5	Ιθάκη	
10.3 Σεισ	εμικές κινήσεις στη λεκάνη πίσω από το τόξο υποβύθισης	
10.3.1	Κόρινθος, περιοχή από το Διακοφτό έως την Αιγείρα	
10.3.1.1	Ανυψωμένες εγκοπές	
10.3.1.2	Βιολογικοί δείκτες	
10.3.1.3	Χρονολόγηση ανύψωσης	
10.3.1.4	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία	
10.3.2	Κόρινθος, λιμάνι Αιγείρας και Λέχαιου	117
10.3.2.1	Ανυψωμένη ακτογραμμή	
10.3.2.2	Βιολογικοί δείκτες	
10.3.2.3	Χρονολόγηση ανύψωσης	
10.3.2.4	Αποδείξεις ταχείας σεισμικής ανύψωσης	
10.3.2.5	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία	
10.3.3	Χερσόνησος Περαχώρας	
10.3.3.1	Δείκτες ανυψωμένων ακτογραμμών	
10.3.3.2	Χρονολόγηση ανύψωσης	
10.3.3.3	Συσχέτιση με δεδομένα ιστορικών σεισμών	
10.3.4	Ευβοϊκός κόλπος, Περιοχή Λιβανάτες-Αρκίτσα κοντά στην	αρχαία πόλη
Κύνος	128	
10.3.4.1	Ανυψωμένη ακτογραμμή και βιολογικοί δείκτες	
10.3.4.2	Χρονολόγηση ανύψωσης	
10.3.4.3	Ιστορία μεταβολής σχετικής στάθμης θάλασσας	
10.3.4.4	Ερμηνεία μεταβολών	
10.3.4.5	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία	
10.3.5	Σάμος	
10.3.5.1	Ανυψωμένη ακτογραμμή	
10.3.5.2	Βιολογικοί δείκτες	

10.3	3.5.3	Χρονολόγηση ανύψωσης	141
10.3	3.5.4	Αποδείξεις ταχείας σεισμικής ανύψωσης	143
10.3	3.5.5	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα	144
10.3	3.6	Νταμούχαρη	
10.3	3.7	Θεολόγος	146
10.3	3.7.1	Αρχαιολογικές δείκτες στάθμης θάλασσας	146
10.3	3.7.2	Μορφολογικοί δείκτες και άλλες παρατηρήσεις	
10.3	3.7.3	Χρονολόγηση βύθισης	
10.3	3.7.4	Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα	151
10.3	3.8	Χερσόνησος Κυλλήνης	
10.3	3.9	Αλλες περιοχές μη χρονολογημένων βυθισμένων ακτογραμμών	
10.4	Χαρ	τογραφική αποτύπωση περιοχών μελέτης ανυψωμένων ή βυθισμέν	ων εγκοπών
στον ε	:λλαδι	κό χώρο	
11. Η πε	ρίπτα	οση της Χιλής στα ανατολικά της κεντρικής Εύβοιας	
11.1	Нπ	εριοχή και η γεωλογία της	
11.2	Mor	οφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής	
11.3	Ανυ	ψωμένες θαλάσσιες εγκοπές στην ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας	169
11.4	Βιολ	ωγικοί δείκτες και επιλογή δειγμάτων	170
11.5	Χαρ	ακτηριστικά ανυψωμένης εγκοπής και τομές-απεικόνιση του προφί	λ τους 174
11.6	Χρο	νολόγηση ανύψωσης	177
11.7	Συσ	χέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα	
12. Συμτ	περάσ	σματα	
Συντομο	ογραφ	νίες	
Ελληνικ	τή Βιβ	βλιογραφία	
Διεθνής	Βιβλ	ιογραφία	
Διαδίκτι	vo		
Βιβλιογρ	ραφίο	α Παραρτήματος Α	
Παράρτ	ημα	A	
Παράρτ	ημα	B	

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1 : Προφίλ μιας θαλάσσιας παλιρροιακής εγκοπής που δημιουργείται σε προστατευμένη από τον κυματισμό περιοχή. Αριστερά: προφίλ ανθρακικής βραχώδους ακτής πριν το σχηματισμό εγκοπής και δεζιά μετά τη διαμόρφωσή της
Σχήμα 2 : Συμμετρική και ασύμμετρη παλιρροιακή εγκοπή και τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά 20
Σχήμα 3 : Εμβάθυνση εγκοπής
Σχήμα 4 : Σχηματική αναπαράσταση του εύρους της μορφολογίας μιας εγκοπής με αυζανόμενη ενέργεια κυμάτων
Σχήμα 5 : Διαχωρισμός διάβρωσης και δόμησης σε κάθετο ασβεστολιθικό προφίλ σε εύκρατες περιοχές 
Σχήμα 6 : Βιολογικός διαχωρισμός μιας βραχώδους ακτής σε ζώνες (Peres and Picard 1964)32
Σχήμα 7 : Προφίλ που δημιουργείται σε ανθρακικό βραχώδη παράκτιο σχηματισμό από μια απότομη κατακόρυφη μεταβολή μεγαλύτερη από το παλιρροιακό εύρος
Σχήμα 8 : Το αποτέλεσμα κατακόρυφης μετατόπισης μικρότερης από το παλιρροιακό εύρος
Σχήμα 9 : Προφίλ εγκοπής σε περίπτωση αργής και σταδιακής κίνησης
Σχήμα 10 : Διάφορα προφίλ εγκοπής που δημιουργούνται από τη βαθμιαία και σταδιακή μεταβολή της στάθμης της θάλασσας
Σχήμα 11 : Κυματοειδής εγκοπή
Σχήμα 12 : Αρχή μέτρησης ανυψωμένων σταθμών θάλασσας χρησιμοποιώντας βιολογικούς και μορφολογικούς δείκτες
Σχήμα 13 : Τυπικό προφίλ βιολογικής δραστηριότητας και κατανομής ειδών σε ζώνες σε βραχώδεις ακτές που δομούνται από σκληρό ασβεστόλιθο
Σχήμα 14 : Μέτρηση ενός παλαιότερου ανυψωμένου επιπέδου της στάθμης της θάλασσας με τη βοήθεια των οπών των Lithophaga
Σχήμα 15 : Διάγραμμα που δείχνει την τεκτονική ανύψωση παράκτιων τεμαχών με τη επακόλουθη διάβρωση της ανυψωμένης στεφάνης από vermetid από κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις σταδιακά αυζανόμενου ύψους
Σχήμα 16: Ίχνη διάβρωσης και βιοδομών Ολοκαινικών ανυψωμένων ακτογραμμών μεταξύ της πόλης της Ρόδου και της Καλλιθέας. Α1-Α7 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας
Σχήμα 17: Ίχνη ανυψωμένων ακτογραμμών κοντά στο Φαληράκι και το ακρωτήρι Λαδικό. Β1-Β6 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας
Σχήμα 18: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών μεταξύ των περιοχών Θεοδόκο και Τσαμπίκα. C1-C5 και D1-D7 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας
Σχήμα 19: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών από το ακρωτήριο του Αρχάγγελου έως το Χαράκι. Ε1-Ε5 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας
Σχήμα 20: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών στην περιοχή της Λίνδου. F1-F6 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας
Σχήμα 21: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών μεταξύ Λάρδου και Γενναδίου. F1-F6 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας
Σχήμα 22 : Παραλία Δάφνης στη χερσόνησο Σκόπος στη Ζάκυνθο
Σχήμα 23 : Γεωμορφολογικές και θαλάσσιες βιολογικές παρατηρήσεις της ανύψωσης του 1953 στην Κεφαλονιά
Σχήμα 24 : Καραβόμυλος Κεφαλονιά. Η στάθμη της θάλασσας σήμερα είναι 35cm χαμηλότερα από το σημείο τομής των πλευρών της εγκοπής103

Σχήμα 25 : Υψόμετρο σε εκατοστά παλαιότερης ακτογραμμής που μετρήθηκαν στο νησί της Κεφαλονιάς 
Σχήμα 26 : Μη χρονολογημένες, ανυψωμένες και διαβρωμένες οπές Lithophaga σε βράχους μπροστά από βορειοανατολικό τοίχο της Σπιανάδας στην Κέρκυρα (Χάρτης 4. θέση 1)
Σχήμα 27 : Γεωμορφολογική ανάπτυξη των διαβρωτικών σημαδιών στο ακρωτήρι Πλιτήρι (Χάρτης 4, θέση 6)
Σχήμα 28 : Παράκτιο προφίλ και θέσεις χρονολογημένων δειγμάτων κοντά στην παραλία Πέλεκας (Χάρτης 4, θέση 7)
Σχήμα 29 : Παράκτιο προφίλ και θέσεις χρονολογημένων δειγμάτων κοντά στον Άγιο Γόρδιο (Χάρτης 4, θέση 5)
Σχήμα 30 : Παράκτια προφίλ ανατολικά από το Διακοφτό
Σχήμα 31 : Παράκτια προφίλ στην παραλία Πλατάνου (ανατολικά και δυτικά ) και στην Αιγείρα όπου φαίνονται οι θέσεις των εγκοπών στους ασβεστολιθικούς κρημνούς
Σχήμα 32 : Ανυψωμένες ακτογραμμές στην περιοχή του Μυλοκοπίου Περαχώρας και θέσεις δειγματοληψίας
Σχήμα 33 : Σχηματική αναπαράσταση των διαδοχικών αλλαγών της σχετικής στάθμης θάλασσας, των οπών Lithophaga και των επιφανειών ανάπτυξης άλατος
Σχήμα 34 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση Α : συν σεισμικές κινήσεις σε μια τοπικά σταθερή στάθμη θάλασσας
Σχήμα 35 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση Β : συν σεισμικές κινήσεις πρόσθετες σε μια τοπική αύζηση στάθμης θάλασσας 0.5mm/yr133
Σχήμα 36 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση C : προ σεισμικές και συν σεισμικές κινήσεις σε μια σταθερή στάθμη θάλασσας
Σχήμα 37 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση Β : συν σεισμικές κινήσεις πρόσθετες σε μια τοπική αύζηση στάθμης θάλασσας 0.5mm/yr134
Σχήμα 38 : Διάγραμμα ηλικιών ραδιοάνθρακα σε σχέση με το υψόμετρο των δειγμάτων

# ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: α. Παλιρροιακή εγκοπή του Ολοκαίνου στο νησί Okinawa (Ιαπωνία) και β. Παλιρροιακή εγκοπή του Πλειστοκαίνου στη Βορειότερη ακτή των Barbados (νησιά της Καραϊβικής). Είναι προφανές ότι μορφολογικά δεν είναι εύκολο να διακριθούν ηλικιακά.	i 21
Εικόνα 2: Σειρά από ανυψωμένες κυματοειδείς παλιρροιακές εγκοπές σε ασβεστολιθικό κρημνό, κα στο ακρωτήρι Λαδικό στη Ρόδο	οντά 36
Εικόνα 3 : Ανάπτυζη μεταγενέστερων γενεών οργανισμών στις οπές που έχουν διανοιχτεί από lithophagid.	56
Εικόνα 4 : Πλάκα , 2,5km βόρεια από τα Φαλάσαρνα( θέση 31)	70
Εικόνα 5 : Ποταμός, Αντικύθηρα( θέση 1Α)	71
Εικόνα 6: Καραμέλα, Αντικύθηρα( θέση 8Α)	71
Εικόνα 7: Ρόδος, Ακρωτήρι Λαδικό. Μια σειρά από κυματοειδείς εγκοπές διάβρωσης σε ασβεστολιθικούς κρημνούς της ΒΑ Ρόδου	80
Εικόνα 8: Λίνδος, όρμος Αγίου Παύλου , τέμαχος F, θέση 6 στο χάρτη (Σχήμα 20)	86
Εικόνα 9 : Λαδικό Ρόδου, τέμαχος Β, θέση 8	93
Εικόνα 10 : Ανυψωμένη εγκοπή κοντά στον Άγιο Ιωάννη της Λευκάδας	110
Εικόνα 11 : Ανυψωμένα απολιθωμένα vermets που αποδεικνύουν τη σεισμική ανύψωση της περιοχη (Αιγείρα)	ής 120
Εικόνα 12 : Σημάδια διάβρωσης στο ακρωτήρι δυτικά από το Ηραίον που αντιστοιχούν σε 4 ανυψωμένες ακτογραμμές	124
Εικόνα 13 : Θέση δειγματοληψίας κελύφους Lithophaga (92PE3) κοντά στο Ηραίο	127
Εικόνα 14 : Λεπτομέρεια ανυψωμένου μικρο-υφάλου vermetid στην παραλία ανατολικά από το Λευ Παρεκκλήσι	ко́ 137
Εικόνα 15 : Ακρωτήρι Punta, ανυψωμένες ακτογραμμές	138
Εικόνα 16 : Όρμος μικρό Σεϊτάνι, δυο παράκτιοι πάγκοι και μια εγκοπή πάνω από αυτές επιβεβαιώνουν τις 3 απολιθωμένες ανυψωμένες ακτές του Ολοκαίνου	138
Εικόνα 17 : Άγιος Ισίδωρος, ένας πολύ καλά διατηρημένος απολιθωμένος μικρο-ύφαλος με Dendropoma petraeum, μαρτυρεί την παράκτια ανύψωση	139
Εικόνα 18 : Θαλάσσια εγκοπή στη Νταμούχαρη, ακτή Πηλίου Θεσσαλίας	145
Εικόνα 19 : Υπολείμματα του πιθανού τείχους οχύρωσης από την αρχαία πόλη των Αλών	147
Εικόνα 20 : Βυθισμένη εγκοπή στα λατομεία Αταλάντης που υποδεικνύει μια παλιότερη στάθμη θάλασσας περίπου75 cm κάτω από τη σημερινή θαλάσσια στάθμη	149
Εικόνα 21 : Αριστερά τεμάχη που βρέθηκαν μεταφερμένα σε διάφορες θέσεις της περιοχής του Θεολόγου και δεζιά απολιθώματα οργανισμών (Lithophaga - πάνω , Vermetus - κάτω) που βρέθηκ πάνω σε αυτά τα τεμάχη	αv 150
Εικόνα 22 : Η παράκτια περιοχή των λατομείων Αταλάντης, όπου φαίνεται ότι δεν έχει αναπτυχθεί εγκοπή στη θέση της σημερινής στάθμης θάλασσας	150
Εικόνα 23 : Όψη της περιοχής Χιλής από νοτιοδυτικά προς βορειοδυτικά	164
Εικόνα 24 : Ανυψωμένη εγκοπή στην περιοχή της Χιλής (Εύβοια)	167
Εικόνα 25 : Καλά διατηρημένη ανυψωμένη εγκοπή στη Χιλή (Εύβοια)(αριστερά) και λεπτομέρεια εγκοπής(δεζιά)	168
Εικόνα 26 : Η δημιουργία μιας νέας εγκοπής στη σημερινή στάθμη θάλασσας στη Χιλή (Εύβοια)	168

Εικόνα 27 : Ανυψωμένα κελύφη Lithophaga στη θέση ανάπτυζής τους μέσα στις οπές στη Βορειοανατολική Εύβοια	. 172
Εικόνα 28 : Οπές Lithophaga στην περιοχή της Χιλής Εύβοιας	. 172
Εικόνα 29 : Θέσεις δειγματοληψίας στο βορειότερο λιμανάκι της Χιλής Εύβοιας	. 173
Εικόνα 30 : Θέσεις δειγματοληψίας στο νοτιότερο λιμανάκι της Χιλής Εύβοιας	. 173
Εικόνα 31 : Αριστερά μια από τις θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή Χιλή και δεζιά λεπτομέρεια τ δείγματος	ου . 174
Εικόνα 32 : Χαρακτηριστικά ανυψωμένης εγκοπής στο βορειότερο λιμανάκι της Χιλής Εύβοια	. 175
Εικόνα 33 : Κατάρρευση οροφής της εγκοπής που σχηματιζόταν στη σημερινή στάθμη θάλασσας στη Χιλή Εύβοιας	1 . 176

# <u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ</u>

Χάρτης 1 : Κρήτη και Αντικύθηρα	69
Χάρτης 2 : Προτεινόμενα όρια τεμαχών της λιθόσφαιρας που επηρεάστηκαν από ανεξάρτητες τεκτονι κινήσεις κατά τη διάρκεια του τέλους Ολοκαίνου	κές 73
Χάρτης 3: Θέσεις των ανυψωμένων ακτών στη Ρόδο. Τα οκτώ τεμάχη του φλοιού και ο αριθμός των προφίλ για κάθε τέμαχος	80
Χάρτης 4 : Χάρτης της περιοχής των νησιών του Ιονίου	98
Χάρτης 5 : Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Αιγείρας με σημειωμένο το ίχνος της επιφάνειας διάρρηζης του 1861	12
Χάρτης 6 : Χάρτης με τη γεωλογία της περιοχής μεταξύ Διακοφτού και Αιγείρας όπου φαίνονται οι θέσεις των ανυψωμένων εγκοπών και οι θέσεις δειγματοληψίας	13
Χάρτης 7 : a&b : Χάρτης τοποθεσίας Αιγείρας έως λιμάνι Λέχαιου, c :Χαρακτηριστικές περιοχές στην περιοχή της Αιγείρας	18
Χάρτης 8 : Κορινθιακός κόλπος και τα κύρια ρήγματα	22
Χάρτης 9 : Η περιοχή της Χερσονήσου της Περαχώρας και τα κύρια ρήγματα της περιοχής	23
Χάρτης 10 : Ηραίο, Μυλοκόπι, λίμνη Βουλιαγμένης στη Χερσόνησο της Περαχώρας	24
Χάρτης 11 : Χάρτης βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, περιοχή Λιβανάτες-Αρκίτσα	29
Χάρτης 12 : Ανυψωμένες ακτές στη Νοτιοδυτική Σάμο. Χάρτης τοποθεσίας και τοπογραφίας. Τα νούμερα με τα βέλη αντιστοιχούν στις περιοχές 1-7 που αναφέρονται στο κείμενο	40
Χάρτης 13 : Τοπογραφία και βαθυμετρία στην περιοχή της Σάμου και της Ικαρίας. Τα τρίγωνα (ΒΔ) δείχνουν ανυψωμένες ακτογραμμές και τα βέλη (ΝΑ) βυθισμένες αρχαιολογικές θέσεις	43
Χάρτης 14 : Η περιοχή του Θεολόγου	46
Χάρτης 15: Γεωγραφική θέση του οικισμού Χιλή στην Εύβοια	63
Χάρτης 16 : Τμήμα Γεωλογικού χάρτη περιοχής Κύμης	64
Χάρτης 17 :Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής ανατολικά της Κύμης	66
Χάρτης 18 : Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη σε συνδυασμό με ορθοφωτοχάρτη στην περιοχή της Χιλ (Εύβοια). Τα βέλη δείχνουν τις περιοχές μελέτης	ής !69
Χάρτης 19 : a) οι θέσεις των μετατοπίσεων του Ολοκαίνου που παρατηρήθηκαν στην Εύβοια,	70
Χάρτης 20 : Επίκεντρα σεισμών (Ms≥5) στην Εύβοια	79

# <u>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</u>

Πίνακας 1: Θέσεις και συντεταγμένες χρονολογημένων ακτογραμμών στην Δυτική Κρήτη και τα Αντικύθηρα
Πίνακας 2 : Υψόμετρο Τυρρήνιων και Ρωμαϊκών ακτογραμμών στη νοτιοανατολική Κρήτη
Πίνακας 3: Χρονολογημένες ακτογραμμές στη δυτική Κρήτη και τα Αντικύθηρα και οι διορθώσεις των ηλικιών ( οι αριθμοί των θέσεων φαίνονται στο Χάρτης 1)
Πίνακας 4: Θέσεις δειγματοληψίας και φαινόμενες ηλικίες ραδιοάνθρακα, (οι διορθώσεις φαίνονται στον Πίνακας 5 και οι θέσεις στο Χάρτης 3)
Πίνακας 5: Διορθώσεις ηλικιών για όσα δείγματα είχαν δυο γενιές θαλάσσιου λεπτόκοκκου υλικού, διαχωρισμένες από μια περίοδο έκθεσης στην επιφάνεια (σχετίζεται με τον Πίνακας 4)
Πίνακας 6 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από τη Ζάκυνθο που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS
Πίνακας 7 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από την Κεφαλονιά που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS
Πίνακας 8 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από την Κέρκυρα
Πίνακας 9 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από τη Λευκάδα που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS
Πίνακας 10 :Δεδομένα από τη χρονολόγηση πανίδας ανυψωμένων ακτογραμμών στην περιοχή από το Διακοφτό έως την Αιγείρα
Πίνακας 11 : Λίστα δεικτών στάθμης θάλασσας που χρονολογήθηκαν στη χερσόνησο της Περαχώρας (θέσεις Ηραίον και Μυλοκόπι
Πίνακας 12 : Λίστα δειγμάτων που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS στην πόλη Κύνος
Πίνακας 13 : Ηλικίες ραδιοάνθρακα και βαθμονομημένες ηλικίες για δείγματα από δυο θέσεις
Πίνακας 14 : Συγκεντρωτικός κατάλογος των περιοχών όπου έχουν εντοπιστεί ενδείζεις συν-σεισμικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης στον Ελλαδικό χώρο
Πίνακας 15 : Λίστα χρονολογημένων δειγμάτων Lithophaga από την Εύβοια

# 1. Εισαγωγή

## 1.1 Γενικά

Κατά τη διάρκεια του χρόνου, οι θαλάσσιες και παράκτιες διεργασίες παράγουν πολλά είδη γεωμορφολογικών σημαδιών, ειδικά σε βραχώδεις ακτές, τα οποία σχετίζονται με τη θέση του επιπέδου της θάλασσας την περίοδο δημιουργίας τους.

Μετά από μια άνοδο του σχετικού επιπέδου της θάλασσας, τα σημάδια – ενδείξεις παλιάς στάθμης θάλασσας τα οποία βυθίζονται, γενικά διαβρώνονται, ή απολιθώνονται όταν καλυφθούν από ιζήματα.

Στην περίπτωση της πτώσης του σχετικού επιπέδου της θάλασσας, τα θαλάσσια σημάδια διαβρώνονται γρήγορα εάν παραμείνουν στην περιοχή εμβέλειας της δράσης του κύματος, στη μεσοπαλιρροιακή δηλαδή ζώνη. Πιο ψηλά στην υπερπαλιρροιακή ζώνη, η οποία ποτέ δεν είναι βυθισμένη αλλά μπορεί να διαβρέχεται από το θαλάσσιο νερό με ψεκασμό, η διάβρωση περιορίζεται σε μικρές οπές οι οποίες δημιουργούνται από λειχήνες ή κυανοβακτήρια. Σε μεγαλύτερα υψόμετρα, η θαλάσσια ή παραλιακή δράση καθίσταται αμελητέα και τα γεωμορφολογικά σημάδια εκτίθενται μόνο στην αργή δράση των διαδικασιών αποσάθρωσης.

Έτσι, τα χαρακτηριστικά της διάβρωσης τα οποία μπορούν να χρησιμεύσουν σαν δείκτες θαλάσσιας στάθμης, μπορούν να διατηρηθούν μόνο σε σκληρά – ανθεκτικά στη διάβρωση και αποσάθρωση πετρώματα και παρατηρούνται σε κατακόρυφο εύρος που εξαρτάται κυρίως από την επιφανειακή τους έκθεση.

Για να εντοπιστούν και να ερμηνεύουν τα σημάδια που έχουν σχέση με προγενέστερες στάθμες θάλασσας είναι απαραίτητη η καλή γνώση των θαλάσσιων χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το σημερινό επίπεδο της θάλασσας (Pirazzoli, 2007).

Ενδείξεις μεταβολών στάθμης θάλασσας είναι:

- οι γεωμορφές διάβρωσης, όπως οι κρημνοί, οι παράκτιοι πάγκοι, οι θαλάσσιες εγκοπές, τα θαλάσσια σπήλαια και οι αψίδες, που σήμερα βρίσκονται πάνω από τη σημερινή στάθμη θάλασσας ή είναι βυθισμένα,
- οι γεωμορφές απόθεσης όπως απολιθωμένες ακτές, παλιρροιακά πεδία και κοραλλιογενείς ύφαλοι, που επίσης βρίσκονται πάνω ή κάτω από τη σημερινή στάθμη θάλασσας,
- 3) οι βιολογικοί δείκτες όπως για παράδειγμα οργανισμοί οι οποίοι όταν ήταν ζωντανοί ζούσαν σε γνωστά παλιρροιακά επίπεδα, οπότε η εμφάνισή τους σαν απολιθώματα δείχνει τη θέση της παλιάς ακτογραμμής, είναι δηλαδή διάφοροι οργανισμοί ή υπολείμματα οργανισμών ή βιοδηλωτικά ίχνη οργανισμών,

- 4) τα αρχαιολογικά ερείπια, μπορούν κάποιες φορές να δείξουν την μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, όπως βυθισμένες κατοικίες ή λιμάνια που ανυψώθηκαν πάνω από τη στάθμη της θάλασσας. Η Ελλάδα είναι πολύ πλούσια σε τέτοιες αρχαιολογικές ενδείξεις στάθμης θάλασσας,
- 5) τα ιστορικά στοιχεία και οι καταγραφές, μπορούν να δείξουν πρόσφατες αλλαγές και περιλαμβάνουν καταγραφές από μετρητές παλίρροιας που είναι διαθέσιμες για πάνω από 100 χρόνια σε περιοχές όπως το Brest της Βορειοδυτικής Γαλλίας (Haslett, 2000).

Από μόνες τους οι μορφές διάβρωσης είναι ανεπαρκείς για τη χρονολόγηση παλαιότερης μέσης στάθμης θάλασσας. Έτσι, σχετικοί δείκτες στάθμης θάλασσας που μπορούν να χρονολογηθούν όπως οι θαλάσσιοι οργανισμοί, οι παράκτιες αποθέσεις ή αρχαιολογικά υπολείμματα θα πρέπει να μελετώνται παράλληλα (Pirazzoli, 2005).

## 1.2 Μεθοδολογία

Αρχικά γίνεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση ώστε να αναλυθούν οι θαλάσσιες εγκοπές, που αποτελούν γεωμορφές παράκτιας διάβρωσης σε βραχώδεις ακτές, σε συνδυασμό με βιολογικούς δείκτες, ώστε να είναι δυνατός ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών της τεκτονικής κίνησης που οδήγησε στην ανύψωση ή τη βύθιση μιας παράκτιας περιοχής. Στο τμήμα αυτό της εργασίας γίνεται εκτενής αναφορά στους θαλάσσιους οργανισμούς και στο ποιά είδη μπορούν να χρησιμοποιηθούν αξιόπιστα για την χρονολόγηση της τεκτονικής κίνησης, ώστε να συνοψιστούν ακολούθως τα γεωμορφολογικά και τα βιολογικά στοιχεία που αποτελούν πολύ ισχυρούς δείκτες ή όχι γρήγορων ή αργών κατακόρυφων τεκτονικών κινήσεων σε παράκτιες περιοχές. Για την πιο εύκολη αναγνώριση των βιολογικών δεικτών στο πεδίο αλλά και για την εύκολη εύρεση της συνομοταξίας ή της τάξης τους, συντάχθηκε το παράρτημα Α όπου υπάρχουν φωτογραφίες από όλα τα είδη που αναφέρονται στην εργασία αυτή αλλά και η ταξινόμηση και ονοματολογία τους.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μια προσπάθεια συλλογής και καταγραφής όλων (ή των περισσότερων) ερευνητικών εργασιών που έχουν κατά καιρούς εκπονηθεί στον Ελλαδικό χώρο και αφορούν βραχώδεις ακτές και ενδείξεις συν-σεισμικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω βιβλιογραφικά δεδομένα επιχειρήθηκε η σύνταξη ενός καταλόγου όπου αναφέρονται αναλυτικά για την Ελλάδα οι θέσεις όπου έχουν εντοπιστεί κάθετα μετατοπισμένες παλαιοακτογραμμές, αν η μετατόπιση αφορά ανοδική ή καθοδική κίνηση και σε ποιο ύψος από τη σημερινή μέση στάθμη θάλασσας, ποιος ήταν ο

γεωμορφολογικός ή/και βιολογικός δείκτης από τον οποίο έγινε η αναγνώριση, από ποιο ύψος έγινε η λήψη του δείγματος στις θέσεις που έγινε ραδιοχρονολόγηση, τα αποτελέσματα των εν λόγω χρονολογήσεων σε yr BP ή σε ημερολογιακά έτη, αν έχουν εντοπιστεί αρχαιολογικά ευρήματα και τέλος την χρονολογία και το μέγεθος του σεισμού με τον οποίο οι διάφοροι συγγραφείς συσχέτισαν την ανύψωση. Για ενδείξεις που δεν υπάρχει βιβλιογραφικά σύνδεση με σεισμικά γεγονότα επιχειρήθηκε η συσχέτιση με βάση τους καταλόγους των Παπαζάχος και Παπαζάχου (1989) και του Σεισμολογικού σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (κατάλογος σεισμών 550π.Χ-Σεπτέμβριος 2009, εύρεση στην ιστοσελίδα : http://geophysics.geo.auth.gr/ss/)

Επιπλέον δημιουργήθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων με τις θέσεις αυτές βραχωδών ακτών όπου έχουν αναφερθεί ενδείξεις ανύψωσης ή βύθισης και απεικονίστηκαν σε ένα χάρτη της Ελλάδας που παρατίθεται στο παράρτημα Β. Για την κατασκευή αυτού του χάρτη χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο η ακτογραμμή που έχει προκύψει από ψηφιοποίηση των γεωαναφερμένων φύλλων της ΓΥΣ κλίμακας 1:50000. Ακολούθως ο χάρτης επεξεργάστηκε με χρήση των λογισμικών MapInfo Professional 11.0 και Autocad 2006 και εισήχθησαν τα δεδομένων χωριστά. Λόγω του ότι οι συντεταγμένες των διαφόρων θέσεων από τη βιβλιογραφία αλλά και τα επίκεντρα των σεισμών αναφέρονται στο παγκόσμιο σύστημα WGS'84, έπρεπε πριν εισαχθούν στο χάρτη να μετατραπούν σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87. Για το λόγο αυτό πρώτα μετατράπηκαν από δεκαδικούς σε μοίρες, πρώτα κτλ και ακολούθως χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Coord\_GR, version 1.6.0, 2002.

Τέλος έγινε μελέτη της περιοχής Χιλής (κοντά στην Κύμη) στην ανατολική Εύβοια όπου εντοπίστηκε ανυψωμένη ακτογραμμή. Η επιλογή της συγκεκριμένης θέσης έγινε καταρχήν γιατί αποτελεί μια τεκτονικά ενεργή περιοχή με καλά διατηρημένα χαρακτηριστικά ανύψωσης και με εύκολη πρόσβαση στα προστατευμένα λιμανάκια που σχηματίζονται όπου θα γινόταν η αναζήτηση των βιολογικών δεικτών. Για την μελέτη της περιοχής κατασκευάστηκε ψηφιακός τοπογραφικός χάρτης με ισοδιάσταση 4m. Τα δεδομένα των ισοϋψών λήφθηκαν από το χάρτη της ΓΥΣ κλίμακας 1:5000, φύλλο 5489-3. Ο χάρτης γεωαναφέρθηκε στο σύστημα συντεταγμένων ΕΓΣΑ'87. Χρησιμοποιήθηκε επίσης ο γεωλογικός γάρτης του ΙΓΜΕ κλίμακας 1:50000, φύλλο Κύμη και ορθοφωτογάρτες λήψεως 2008 από τα δημόσια ανοικτά δεδομένα που διατίθενται στο διαδίκτυο από την Ελληνική κυβέρνηση και την Κτηματολόγιο ΑΕ. Τα γεωμορφολογικά γαρακτηριστικά που καταγράφηκαν προέκυψαν από ερμηνεία του τοπογραφικού χάρτη και από εργασία υπαίθρου. Η έρευνα υπαίθρου πραγματοποιήθηκε την περίοδο Ιούλιος έως Οκτώβριος 2011 και περιελάμβανε λεπτομερή καταγραφή των χαρακτηριστικών της ανυψωμένης ακτογραμμής

14

και αναζήτηση άλλων γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών, αναζήτηση δειγμάτων για χρονολόγηση, λήψη κελυφών Lithophaga, προσδιορισμό της θέσης λήψης δείγματος με GPS και λήψη φωτογραφιών στις θέσεις ενδιαφέροντος.

#### 1.3 Σκοπός της εργασίας

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρχικά να περιγραφούν αναλυτικά οι θαλάσσιες εγκοπές, οι τύποι τους και η ταξινόμησή τους και το πως αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δείκτες μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης. Επειδή όπως αναφέρθηκε οι σχετικοί δείκτες πρέπει να μελετώνται παράλληλα, στην παρούσα εργασία οι θαλάσσιες εγκοπές θα αναλυθούν μαζί με βιολογικούς δείκτες. Οι βιολογικοί δείκτες ενώ έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να χρονολογηθούν, πολλές φορές τα αποτελέσματά τους αμφισβητούνται. Συνεπώς θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη συγκεκριμένοι παράγοντες αλλά και συγκεκριμένα είδη ανά περίπτωση, ώστε τελικά οι δείκτες αυτοί να μπορούν να δώσουν αξιόπιστα αποτελέσματα. Επιπλέον σκοπός της εργασίας αυτής είναι να παρουσιάσει, από τη στιγμή που διαπιστωθεί μια συνσεισμική μετατόπιση, σε μια παράκτια περιοχή, ποιες εξαιρέσεις και ιδιαίτερες περιπτώσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ώστε η αξιολόγηση και η συσχέτιση με τα σεισμικά γεγονότα που την προκάλεσαν να είναι αξιόπιστη. Ακολούθως στόχος της εργασίας ήταν η συγκέντρωση στοιχείων από περιοχές της Ελλάδας όπου έχουν εντοπιστεί μετατοπισμένες παλαιοακτογραμμές και η κατασκευή αρχικά ενός καταλόγου και έπειτα η σχεδίαση μιας ψηφιακής βάσης δεδομένων με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, με όλες τις πληροφορίες σχετικά με τις συντεταγμένες των παράκτιων τοποθεσιών, το είδος των δεικτών, τη μέθοδο ραδιοχρονολόγησης και τις συντεταγμένες και τη χρονολογία των ιστορικών και μη σεισμών που προκάλεσαν τις τεκτονικές μετατοπίσεις. Όλα αυτά απεικονίστηκαν σε χάρτη με μια ποικιλία στοιχείων που αφορά στα γεωμορφολογικά και βιολογικά γαρακτηριστικά. Για τις μετατοπίσεις που δεν έχουν συσχετιστεί βιβλιογραφικά με σεισμούς επιχειρήθηκε η συσχέτισή τους με σεισμούς που είναι πιθανό να τις προκάλεσαν λαμβάνοντας υπόψη καταλόγους ιστορικών σεισμικών γεγονότων του ευρύτερου Ελλαδικού χώρου. Τέλος εφαρμόστηκαν οι αρχές που αναφέρονται στο βιβλιογραφικό μέρος της εργασίας για να μελετηθεί η ανυψωμένη εγκοπή της περιοχής Χιλής στα κεντρικά της Ανατολικής Εύβοιας, τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της οποίας αποτυπώθηκαν κατά την εργασία πεδίου.

#### 1.4 Δομή της εργασίας

Μετά την εισαγωγή όπου αναλύονται οι ενδείξεις διάβρωσης, η μεθοδολογία της εργασίας και ο σκοπός της, στο 2° κεφάλαιο αναφέρονται αναλυτικά τα γαρακτηριστικά των θαλάσσιων εγκοπών και στο 3° οι βιολογικοί δείκτες στάθμης θάλασσας, ενώ στο 4° γενικά στοιγεία για τις τοπογραφικές αλλαγές που μπορούν να προκύψουν από σεισμικές δονήσεις. Στο 5° κεφάλαιο αναλύονται οι εγκοπές σαν δείκτες μεταβολής της στάθμης θάλασσας και στο 6° κεφάλαιο τα βιολογικά δεδομένα σαν δείκτες μεταβολής της στάθμης θάλασσας με έμφαση στα είδη που χρησιμοποιούνται. Λεπτομέρειες για τα είδη αυτά, χαρακτηριστικά ή όχι των διαφόρων ζωνών, και φωτογραφίες τους παρατίθενται στο παράρτημα Α. Ακολούθως στα κεφάλαιο 7 και 8 αναλύονται οι μέθοδοι χρονολόγησης των βιολογικών δεικτών και η χρήση του είδους Lithophaga Lithophaga, αντίστοιχα. Στο κεφάλαιο 9 δίνονται στοιχεία για την αναγνώριση των συν σεισμικών μετατοπίσεων και στο 10° περιγράφονται περιπτώσεις μελέτης διαφόρων περιοχών της Ελλάδας όπου επιχειρήθηκε η συσχέτιση της ανύψωσης ή της βύθισης με ιστορικά σεισμικά γεγονότα. Οι περιοχές αυτές είναι η Κρήτη και τα Αντικύθηρα, η Ρόδος, τα νησιά του Ιονίου (Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Κέρκυρα, Λευκάδα και Ιθάκη), η περιοχή του Κορινθιακού κόλπου, της χερσονήσου της Περαχώρας, ο Ευβοϊκός κόλπος, η Σάμος, η Θεσσαλία, ο Θεολόγος, η ΒΑ Εύβοια, η Κυλλήνη, η Λακωνία, Κάρπαθος και η Μεγίστη Από τα στοιχεία αυτά κατασκευάστηκε ο χάρτης της Ελλάδας του παραρτήματος Β που παρατίθεται στο τέλος της εργασίας. Στο κεφάλαιο 11 αναλύεται η περίπτωση της Χιλής στα ανατολικά της κεντρικής Εύβοιας και συσχετίζεται με δεδομένα που αφορούν την ευρύτερη περιοχή της ανατολικής Εύβοιας. Τέλος διατυπώνονται τα συμπεράσματα, παρουσιάζεται η βιβλιογραφία και ακολουθούν τα ανωτέρω αναφερόμενα παραρτήματα Α και Β αντίστοιχα.

## 2. Θαλάσσιες εγκοπές

### 2.1 Περιγραφή

Μια θαλάσσια εγκοπή είναι μια εσοχή ή μια μικρότερη υποσκαφή, βάθους μερικών εκατοστών έως αρκετά μέτρα, που έχει διαμορφωθεί από τη θαλάσσια διάβρωση σε παράκτιους κάθετους κρημνούς και η οποία παρατηρείται σε επίπεδο παράλληλο με τη στάθμη της θάλασσας.

Σχηματίζονται εύκολα σε ανθρακικά πετρώματα όπως οι ασβεστόλιθοι, με διεργασίες που λειτουργούν εκεί ή ακριβώς πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας και έχουν καθιερωθεί ως γεωμορφές-ενδείξεις για τη διερεύνηση των αλλαγών της στάθμης της θάλασσας και της τεκτονικής ανύψωσης, ιδίως στη Μεσόγειο που αποτελεί μια περιοχή με περιορισμένο παλιρροιακό εύρος (Rust & Kershaw, 2000).

Θαλάσσιες εγκοπές επομένως είναι δυνατόν να βρεθούν τόσο πάνω, όσο και κάτω από το επίπεδο της σημερινή θάλασσας, ανάλογα με την αλληλεπίδραση της αλλαγής της στάθμης της θάλασσας και της τεκτονικής δραστηριότητας μετά το σχηματισμό τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι εγκοπές συνδέονται με δημιουργία κρούστας ή με θαλάσσιους οργανισμούς που ανοίγουν οπές και που τα υπολείμματά τους επιδέχονται ραδιοχρονολόγησης, προσφέροντας έτσι τη δυνατότητα να εκτιμηθεί ο βαθμός ανύψωσης σε περιπτώσεις όπου οι εγκοπές διατηρούνται πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Rust & Kershaw, 2000).

### 2.2 Ρυθμοί σχηματισμού των θαλάσσιων εγκοπών

Ο βαθμός υποσκαφής της βραχώδους ακτής ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του πετρώματος από το οποίο συνίσταται αλλά και από τα κυματικά και άλλα ωκεανογραφικά χαρακτηριστικά της εκάστοτε παράκτιας περιοχής. Γενικά έχει υπολογιστεί σε 1mm/έτος (Pirazzoli, 2005). Είναι αποδεκτό ότι όσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος των κυμάτων και όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος της παλίρροιας, τόσο μεγαλύτερη είναι και η διαφορά στο υψόμετρο μεταξύ οροφής και δαπέδου εγκοπής (Thomas & Goudie, 2000).

Μια συλλογή από δημοσιευμένα στοιχεία όσον αφορά στην ταχύτητα σχηματισμού εγκοπών, βασίζεται κυρίως σε εκτιμήσεις της βιοδιάβρωσης, και καταλήγει στο συμπέρασμα ότι αυτή είναι συνήθως μικρότερη από 1,0 - 1,5 mm/έτος, αν και στις πιο εκτεθειμένες στις θαλάσσιες διεργασίες ακτές οι τιμές αυτές μπορούν να ξεπεραστούν. Αυτά τα συμπεράσματα είναι σύμφωνα με τις παρατηρήσεις σχετικά με την ανάπτυξη των εγκοπών, ιδίως όσο αφορά την επίδραση της έκθεσης στην ανοικτή θάλασσα. Τυχόν διαφορές οφείλονται σε λιθολογικές ή δομικές μεταβολές της βραχώδους ακτής και θεωρούνται ως αμελητέες όταν αναφερόμαστε σε εγκοπές που αναπτύσσονται σε συμπαγείς ασβεστολίθους (Rust & Kershaw, 2000). Ρυθμοί υποσκαφής της τάξης των 0.2-5.0mm/yr έχουν αναφερθεί στη βιβλιογραφία, οι συχνές όμως τιμές είναι 1.0-1.5mm/yr σε τροπικές περιοχές και 1mm/yr στη Μεσόγειο (Pirazzoli, 2007).

#### 2.3 Τύποι εγκοπών

Ο P. Pirazzoli (1986) έχει ταξινομήσει σε τέσσερις γενετικούς τύπους τις εγκοπές με βάση την ανάπτυξή τους (Wziatek et al, 2011) αλλά μπορεί να ειπωθεί ότι εκτός από τις εγκοπές τριβής και τις δομικές εγκοπές οι άλλες δυο κατηγορίες, δηλαδή οι παλιρροιακές και οι εγκοπές από τη θραύση του κύματος, ανήκουν στην ίδια κατηγορία, είναι δηλαδή εγκοπές διάλυσης γιατί σχηματίζονται από ένα συνδυασμό χημικής διάλυσης και μικροβιακής δράσης, διεργασίες που επιτυγχάνουν από κοινού τη διάλυση του παράκτιου βραχώδους πετρώματος. Σε αυτές τις κατηγορίες η μικροβιακή δράση μπορεί να είναι πιο σημαντική στο σχηματισμό εγκοπές δεν πρέπει να θεωρούνται απλές γεωμορφές υποδεικνύοντας την παρουσία μιας προγενέστερης στάθμης θάλασσας, αλλά θα πρέπει να θεωρούνται ότι έχουν μια σειρά από σύνθετα χαρακτηριστικά, τα οποία εξαρτώνται από μια ποικιλία διαφορετικών διεργασιών (Rust, Kershaw, 2000).

#### 2.3.1 Παλιρροιακές (tidal) εγκοπές

Οι παλιρροιακές εγκοπές αποτελούν έναν από τους πιο ακριβείς δείκτες της θαλάσσιας στάθμης. Είναι τυπικό χαρακτηριστικό διάβρωσης στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη, ειδικά σε ακτές που καταλαμβάνονται από ανθρακικούς σχηματισμούς. Σε μια προστατευμένη από τον κυματισμό περιοχή με μέτριο παλιρροιακό εύρος, τα πιο διαδεδομένα προφίλ είναι μορφές σχήματος κάθετου V ή U (Σχήμα 1), μπορούν να είναι συμμετρικές ή ασύμμετρες με το σημείο τομής των πλευρών της εγκοπής να βρίσκεται κοντά στη μέση στάθμη της θάλασσας (MSL), τη βάση της εγκοπής να είναι κοντά στο χαμηλότερο επίπεδο της παλίρροιας και την κορυφή της εγκοπής κοντά στο υψηλότερο επίπεδο παλίρροιας (Pirazzoli, 2007). Το κάθετο πλάτος των εγκοπών εξαρτάται από την έκθεση στις θαλάσσιες διεργασίες. Είναι πολύ μικρό με σχεδόν οριζόντια οροφή σε προστατευμένες περιοχές (Kelletat, 2005) και ονομάζεται ύψος εγκοπής, ενώ το βάθος είναι η οριζόντια απόσταση από το σημείο υποχώρησης έως την άκρη της οροφής (Σχήμα 2) (Berdin et al, 2004).

Και τα δύο αυτά σχήματα (V και U) είναι συμμετρικά ως προς το σημείο μέγιστης υποχώρησης της βραχώδους ακτής (το σημείο δηλαδή τομής των δυο πλευρών) το οποίο αντιστοιχεί στο μέσο επίπεδο της θάλασσας (MSL) την εποχή σχηματισμού της εγκοπής. Η κύρια διαφορά μεταξύ των εγκοπών σχήματος V και U είναι ότι οι πρώτες έχουν ένα πολύ ευδιάκριτο σημείο υποχώρησης, ενώ οι δεύτερες χαρακτηρίζονται από υποχώρηση κατά μήκος μιας ευρύτερης (κάθετης) περιοχής του κρημνού. Δεδομένης της πολυπλοκότητας και χωροχρονικής μεταβλητότητας της στάθμης της θάλασσας και της έντασης του κυματισμού, καθώς και άλλων φυσικών, χημικών και βιολογικών διεργασιών, οι εγκοπές τείνουν να είναι πολύπλοκοι σχηματισμοί που είναι συχνά δύσκολο να ταξινομηθούν (Wziatek, 2011).

Οι πρώτες μελέτες απέδωσαν αυτή τη ζωνώδη διάβρωση του οδηγεί στο σχηματισμό εγκοπών σε φαινόμενα διάλυσης. Σήμερα έχει αναγνωριστεί ότι η ανάπτυξη παλιρροιακών εγκοπών συνδέεται κυρίως με βιοδιάβρωση και οι ζώνες της ταχείας ανάπτυξης παλιρροιακών εγκοπών συσχετίζονται καλά με τις ζώνες όπου ζει ο μέγιστος αριθμός οργανισμών που με τις φυσικές τους λειτουργίες προκαλούν διάβρωση των πετρωμάτων της ακτής. Η μέγιστη πυκνότητα των οργανισμών αυτών βρίσκεται στο φάσμα της χαμηλότερης παλίρροιας (η παλίρροια μικρού εύρους που διαρκεί μισή μέρα και λαμβάνει χώρα κοντά το χρόνο του πρώτου και του τελευταίου σεληνιακού τριμήνου, μεταξύ των υψηλών παλιρροιών) ή κοντά στη μέση στάθμη θάλασσας (Pirazzoli, 2007).



Σχήμα 1 : Προφίλ μιας θαλάσσιας παλιρροιακής εγκοπής που δημιουργείται σε προστατευμένη από τον κυματισμό περιοχή. Αριστερά: προφίλ ανθρακικής βραχώδους ακτής πριν το σχηματισμό εγκοπής και δεξιά μετά τη διαμόρφωσή της.





Σχήμα 2 : Συμμετρική και ασύμμετρη παλιρροιακή εγκοπή και τα μορφολογικά της χαρακτηριστικά Πηγή : R. D. Berdin, F. P. Siringan, Y. Maeda, Holocene sea-level highstand and its implications for the vertical stability of Panglao Island, southwest Bohol, Philippines, Quaternary International Vol. 115–116, INQUA/Elsevier Science Ltd, 2004, p. 29

#### 2.3.1.1 Χωρίς μετατόπιση

Εάν το επίπεδο της θάλασσας δεν αλλάζει, η υποσκαφή θα εμβαθυνθεί (Σχήμα 3) και θα διαβρώσει το βράχο μέχρι η οροφή να καταρρεύσει. Μετά την απομάκρυνση των υλικών της κατάρρευσης αυτής από τα κύματα, η βάση της πρώην εγκοπής θα μοιάζει με ένα μικρό πάγκο, ενώ μια νέα εγκοπή θα αρχίσει να σχηματίζεται στο εσωτερικό του βράχου.





Όταν οι παλιρροϊκές εγκοπές μετατοπιστούν από τη διάβρωση που λαμβάνει χώρα στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη, μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλο χρονικό διάστημα και έτσι κάποιες χαρακτηριστικές τέτοιες γεωμορφές του τέλους της περιόδου του Ολοκαίνου (Εικόνα 1α) είναι δύσκολο μορφολογικά να διακριθούν από κάποιες άλλες που είναι πολύ παλαιότερες και διαμορφώθηκαν την τελευταία μεσοπαγετώδη περίοδο και με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας βρέθηκαν ξανά κοντά στην ακτογραμμή (Εικόνα 1β) (Pirazzoli, 2007).



Εικόνα 1: α. Παλιρροιακή εγκοπή του Ολοκαίνου στο νησί Okinawa (Ιαπωνία) και β. Παλιρροιακή εγκοπή του Πλειστοκαίνου στη Βορειότερη ακτή των Barbados (νησιά της Καραϊβικής). Είναι προφανές ότι μορφολογικά δεν είναι εύκολο να διακριθούν ηλικιακά.

Πηγή : P. A. Pirazzoli, Sea level studies, Geomorphological Indicators, Elsevier, 2007, p. 2976

### 2.3.2 Εγκοπές από τη θραύση του κύματος (surf)

Εγκοπές από τη θραύση του κύματος είναι αυτές που σχηματίζονται πάνω από το υψηλότερο επίπεδο της παλίρροιας (Wziatek, 2011).

Οι εγκοπές συχνά απεικονίζεται σαν να βρίσκονται στο επίπεδο της θάλασσας, και πολλές έχουν μια οργανική στεφάνη αναπτυγμένη στο κάτω χείλος τους (στο εξωτερικό όριο του δαπέδου τους). Οι τύποι των εγκοπών στην πραγματικότητα σχηματίζουν ένα συνεχές μέσο που περιλαμβάνει από παλιρροιακές εγκοπές που σχηματίστηκαν σε κυματικά ήρεμα περιβάλλοντα, στη μέση στάθμη θάλασσας, έως εγκοπές που διαμορφώθηκαν από τη θραύση του κύματος σε πιο αντίξοες κυματικές συνθήκες, και το πολύ έως 2m από το επίπεδο της θάλασσας (Rust & Kershaw, 2000).

### 2.3.3 Εγκοπές τριβής (abrasion)

Σε θέσεις όπου επικρατεί η μηχανική δράση όπως η τριβή από την άμμο ή τους χάλικες που μεταφέρουν τα κύματα, η εγκοπή σε σκληρά πετρώματα έχει στρογγυλεμένη και γυαλισμένη εμφάνιση. Τέτοιες εγκοπές τριβής μπορούν να δημιουργηθούν σε οποιοδήποτε επίπεδο φτάνουν τα κύματα ή σε επίπεδα που μπορούν να φτάσουν με τη βοήθεια υδροδυναμικών παραγόντων, αλλά πάντα σε συνδυασμό με το υλικό που μεταφέρουν.

Η κυματική ενέργεια μειώνεται σε ρηχά νερά, συνεπώς οι εγκοπές τριβής αναπτύσσονται κυρίως στο ανώτερο σημείο της μεσοπαλιρροιακής ζώνης, συχνά στη βάση του κρημνού. Η κατακόρυφη ακρίβεια των εγκοπών τριβής ως δεικτών της στάθμης της θάλασσας γενικά δεν είναι πολύ μεγάλη (± 1m έως αρκετά μέτρα), ανάλογα με τα τοπικά χαρακτηριστικά της ακτής όπως το εύρος παλίρροιας και η έκθεση της περιοχής (Pirazzoli, 2007).

#### 2.3.4 Δομικές εγκοπές (structural)

Σε βραχώδεις σχηματισμούς που αποτελούνται από οριζόντια ή ήπιας κλίσης στρώματα πετρωμάτων διαφορετικής αντοχής στις διεργασίες της διάβρωσης, είναι δυνατόν διάφορες μορφές διάβρωσης να υποσκάψουν τα πιο αδύναμα στρώματα καθώς και τμήματα της βραχώδους ακτής με ασυνέχειες όπως διακλάσεις και ρωγμές. Η διεργασία αυτή μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό ενός προφίλ όμοιου με της εγκοπής.

Τέτοιες μορφές έχουν δομική προέλευση, που είναι συνήθως εύκολο να αναγνωριστεί στο πεδίο από τα εξής χαρακτηριστικά: η θέση δεν παραμένει οριζόντια σε όλο το μήκος της ακτής, αλλά ακολουθεί την αρχική γραμμή «αδυναμίας», το προφίλ της εγκοπής μπορεί να ποικίλει κατά μήκος της, καθώς το ύψος της εγκοπής αντιστοιχεί σε συγκεκριμένα στρώματα της βραχώδους ακτής. Οι δομικές εγκοπές σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως δείκτες στάθμης της θάλασσας (Pirazzoli, 2007).

#### 2.4 Ταξινόμηση εγκοπών ανάλογα με την κυματική ενέργεια

Ο P. Pirazzoli (1986) ταξινομεί την μορφολογική ποικιλία στους σχηματισμούς των εγκοπών και ανάλογα με την ενέργεια των κυμάτων (Σχήμα 4). Ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφανής επίδραση της οργανικής στεφάνης, που μπορεί να σχηματιστεί στο κάτω περιθώριο μιας Σε προστατευμένες περιοχές, η στεφάνη έχει μικρή επιρροή, έτσι ώστε η εγκοπής. διαδικασία διάλυσης να λαμβάνει χώρα στη μέση στάθμη θάλασσας (MSL). Σε εκτεθειμένες στις θαλάσσιες διεργασίες περιοχές, ωστόσο, η κατάσταση γίνεται πιο περίπλοκη. Χωρίς τη στεφάνη, οι εγκοπές είναι λιγότερο καλά καθορισμένες και καταλαμβάνουν κάθετα ευρύτερη περιοχή πλησίον της μέσης στάθμης θάλασσας. Όπου υπάρχει όμως μια στεφάνη, τότε αυτή προστατεύει το φυσικό βράχο πάνω στον οποίο αναπτύσσεται και είναι επίσης πιθανό να εκτρέπει την κυματική ενέργεια προς τα πάνω και έτσι η διάλυση του ασβεστολίθου να συγκεντρώνεται πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας. Τα μεγαλύτερα κύματα κάνουν δυνατή τη διόγκωση του νερού (διαβροχή) έτσι ώστε αυτό μπορεί να φτάσει υψηλότερα στο μέτωπο του κρημνού. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι να επεκταθεί η ζώνη που πλήττεται από τη διάλυση και έτσι έχουμε ένα διαφορετικό αποτέλεσμα από το πέρασμα των επαναλαμβανόμενων μετώπων διαβροχής, καθώς τα κύματα ανεβαίνουν υψηλότερα από τη μέση στάθμη θάλασσας. Στο τμήμα του κρημνού που βρίσκεται κάτω από τη μέση στάθμη θάλασσας, η διάλυση μειώνεται γιατί το υλικό στη βάση γενικά είναι κορεσμένο.

Ωστόσο, (Σχήμα 4) είναι δυνατή η απομάκρυνση τμήματος (πλήρως βυθισμένου) ασβεστόλιθου σε βαθύτερα νερά ακριβώς κάτω από τη στεφάνη, λόγω του μεγάλου βαθμού βιοδιάβρωσης. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας «διπλής» εγκοπής (couplet), η οποία

χωρίζεται από την οργανική στεφάνη και η κάτω εγκοπή της «διπλής» ονομάζεται υποπαλιρροιακή εγκοπή. Εάν λάβει χώρα ανύψωση της μορφής, μια αναμενόμενη συνέπεια είναι να απομακρυνθεί η οργανική στεφάνη, αφήνοντας τη «διπλή» εγκοπή εκτεθειμένη (Rust & Kershaw, 2000).



Σχήμα 4 : Σχηματική αναπαράσταση του εύρους της μορφολογίας μιας εγκοπής με αυξανόμενη ενέργεια κυμάτων.

Στο σχήμα φαίνεται η επίδραση των διακυμάνσεων της ενέργειας των κυμάτων σε σχηματισμούς εγκοπών. Κάθε ζευγάρι σχημάτων απεικονίζει εγκοπές με οργανική στεφάνη (δεξιά) και χωρίς οργανική στεφάνη (αριστερά). Οι 1 και 2 είναι εγκοπές κυμάτων (παλιρροιακές) και οι 3 και 4 είναι εγκοπές από τη θραύση του κύματος, παρόλο που δεν υπάρχει ακριβής διαχωρισμός μεταξύ τους. Το (\*) δείχνει εναλλακτικές μορφές που μπορούν να σχηματιστούν από τη «διπλή» εγκοπή λόγω της παρουσίας της οργανικής στεφάνης. Το In (infralittoral) δείχνει την υποπαλιρροιακή εγκοπή που αποτελεί τη χαμηλότερη της «διπλής» εγκοπής

Πηγή : D. Rust, S. Kershaw, Holocene tectonic uplift patterns in northeastern Sicily: evidence from marine notches in coastal outcrops, Marine Geology, 167, Elsevier, 2000, p. 108

## 3. Βιολογικοί δείκτες στάθμης θάλασσας

### 3.1 Γενικά

Η χρήση των σταθερών βιολογικών υπολειμμάτων (απολιθωμάτων) που παραμένουν (διατηρούνται) ως Βιολογικοί Δείκτες Μέσης Στάθμης Θάλασσας (BMSIs), ή ως Σταθεροί Βιολογικοί Δείκτες (FBI) ξεκίνησε περίπου 40 χρόνια πριν και έχει αποκτήσει τα τελευταία χρόνια ευρεία χρήση καθώς αναπτύχθηκε η μελέτη της διακύμανσης της θαλάσσιας στάθμης λαμβάνοντας υπόψη πολυεπιστημονικά κριτήρια. Η χρήση των σταθερών βιολογικών δεικτών επέτρεψε την αξιόπιστη παρακολούθηση των πρόσφατων διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας κατά μήκος βραχωδών ακτών, σταθερών ή σεισμικά ενεργών περιοχών ανά τον κόσμο (Βραζιλία, τη Δυτική Αφρική, Μεσόγειος, Ιαπωνία, Αυστραλία) (Dieter, 2005).

Άρα η χρήση βιολογικών δεικτών θαλάσσιας στάθμης (BioSLi) αυξάνεται συνεχώς καθώς η μελέτη των αλλαγών της στάθμης της θάλασσας σταδιακά εξελίχθηκε από μια περιγραφική σε μια πολυεπιστημονική προσέγγιση, αφού λαμβάνει υπόψη της μορφολογικά, ιζηματολογικά, αρχαιολογικά, πετρογραφικά και βιολογικά κριτήρια. Οι δείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται σήμερα για τη μελέτη τόσο αργών όσο και γρήγορων κατακόρυφων κινήσεων, οι οποίες συνδέονται με σεισμούς ή με συν- σεισμικές κινήσεις. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορούν να παρέχουν μια ανέξοδη παρακολούθηση των διακυμάνσεων της στάθμης της θάλασσας στις ακτές που είναι εκτεθειμένες σε σεισμική δραστηριότητα (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

### 3.2 Διαχωρισμός βιολογικής δραστηριότητας σε ζώνες βραχωδών ακτών

Στις βραχώδεις ακτές, η παράκτια πανίδα και η βλάστηση αναπτύσσονται σε οριζόντιες ζώνες (βιολογική ζώνωση) παράλληλα με την επιφάνεια του νερού οι οποίες καθορίζουν διάφορες παράλληλες υποπεριοχές, όπου επιδρούν διάφορες διεργασίες διάβρωσης και βιολογικές δραστηριότητες (Σχήμα 5).

Ο διαχωρισμός της βιολογικής δράσης (είδη και διεργασίες) σε ζώνες, όπως όλα τα άλλα στην ακτή, ανταποκρίνονται με τον πιο ευαίσθητο και άμεσο τρόπο στις έστω και ανεπαίσθητες αλλαγές της δριμύτητας, του είδους και της έντασης της δράσης του κύματος στην οποία εκτίθενται οι βραχώδεις επιφάνειες. Επιπλέον πρέπει να επισημανθεί ότι μικρές αλλαγές στις περιβαλλοντικές συνθήκες όπως λίγο περισσότερη σκιά ή λίγο μεγαλύτερη έκθεση στον ήλιο, αλλαγή στη μορφολογική κλίση του βράχου, και άλλες αλλαγές αυτού του είδους, έχουν τη δική τους τοπική επίδραση (Stephenson & Stephenson, 1949). Αυτές οι

αλλαγές δεν αποκλίνουν τόσο από το πρότυπο ζώνωσης που αναφέρεται στη συνέχεια και διακρίνει στις εξής ζώνες.

- Μια υπερπαλιρροιακή ζώνη (Peres and Picard, 1964) ή παλιρροιακό περιθώριο (Stephenson and Stephenson, 1949), το οποίο ποτέ δεν βυθίζεται αλλά βρέχεται από τα νερά της θραύσης των κυμάτων και όπου κυριαρχούν ενδολιθικά κυανοβακτήρια (Laborel & Laborel-Deguen, 1995). Βιοδόμηση δεν εμφανίζεται σε αυτήν τη ζώνη, αλλά η βιοδιάβρωση είναι ενεργή (Laborel & Laborel-Deguen, 1994). Η επιφάνεια του βράχου στη Littorina ζώνη (μια παλαιότερη ονομασία της υπερπαλιρροιακής ζώνης) ή το κάτω μέρος της είναι συνήθως μαυρισμένο από δημιουργία κρούστας Myxophyceae (παλαιότερος όρος των κυανόφυτων) ή / και λειχήνες του τύπου Verrucaria Maura. Το μαύρισμα αυτό μπορεί να υπάρχει με τη μορφή κηλίδων ή μπορεί να σχηματίζει μια ξεχωριστή μελανή ζώνη, που συχνά επικαλύπτει το κατώτερο τμήμα της υπερπαλιρροιακής ζώνης (Stephenson and Stephenson, 1949).
- 2) Μια μεσοπαλιρροιακή ζώνη, η οποία βρέχεται σε τακτά χρονικά διαστήματα από τα κύματα (ή σε μικρότερο βαθμό από τις παλίρροιες) και έτσι εμφανίζει ένα σχήμα παράλληλων ζωνών βλάστησης με τη βιομάζα και την ποικιλομορφία των ειδών να αυξάνεται προς τα κάτω (Laborel & Laborel-Deguen, 1995). Κυανοβακτήρια που διαβρώνουν, patellaceous γαστερόποδα (πεταλίδες), και chitons (κάτω ζώνη) είναι άφθονα και αποτελούν τους κύριους οργανισμούς που προκαλούν διάβρωση σε αυτό το επίπεδο. Υπάρχουν επίσης στοιχεία που συμβάλλουν στη δόμηση όπως κοραλλιογενή rhodophytes και μπορούν κατ' εξαίρεση να υπάρχουν επίσης Lithophyllum lichenoides (Βορειοδυτική Λεκάνη της Μεσογείου). Αρχικά η ζώνη αυτή ονομαζόταν ζώνη Balanoid γιατί οι οργανισμοί που διαβιούν εδώ (που είναι περισσότεροι από ό, τι στη ζώνη Littorina), συνήθως περιλαμβάνουν πολυάριθμα balanoid barnacles που ανήκουν κυρίως στα γένη Balanus, Chthamalus και Tetraclita. Το άνω όριο της ζώνης χαρακτηρίζεται από τον περιορισμό των barnacles (σε ποσότητα) και επιπλέον στην ανώτερη από τις ζώνες που χωρίζεται (άνω και κάτω μεσοπαλιρροιακή, οι πεταλίδες τείνουν να είναι περισσότερες σε πλήθος (Stephenson and Stephenson, 1949).
- 3) Μια υποπαλιρροιακή ζώνη, που εκτείνεται από τη μέση στάθμη της θάλασσας (MSL) έως 25-35m προς τα κάτω. Το πάνω μέρος της ζώνης αυτής φέρει μεγάλο αριθμό καφέ φυκών (Cystoseira και Sargassum), κοραλλιογενή ροδόφυτα, Vermetid γαστερόποδα, μαλάκια (Dendropoma spp. Petaloconchus spp.), Cirrhipeds όπως Balanus sp. και Tetraclita spp., καθώς και κοράλλια ανθεκτικά στην ανάδυση. Ενεργές διαβρωτικές διεργασίες, όπως η διάνοιξη οπών στο βράχο από τα Clionid που

είναι σπόγγοι, θαλάσσιοι αχινοί (κυρίως τα τροπικά γένη Echinometra και Diadema) και μύδια που τρυπούν το βράγο όπως τα Lithophaga spp., είναι υπεύθυνοι για την ταχεία υποβρύγια διάβρωση του ασβεστόλιθου. Μερικά είδη περιορίζονται στο ανώτερο περιθώριο της ζώνης αυτής, αλλά πολλά από αυτά αποτελούν ένα καλά καθορισμένο όριο πληθυσμού στο επίπεδο αυτό. Κάποιοι οργανισμοί κατασκευάζουν μια ποικιλία υφάλων ή δομές όπως οι ύφαλοι (bioherms, biostromes), ή αναπτύσσονται αποτελώντας ένα προστατευτικό έναντι της διάβρωσης κάλυμμα. Στις ακτές που δομούνται από ανθρακικούς σχηματισμούς (ασβεστόλιθους), η ισορροπία της βιολογικής διάβρωσης και της βιολογικής δόμησης οδηγεί σε διάφορους τύπους κάθετων προφίλ όπως είναι οι παλιρροιακές εγκοπές ή οι οριζόντιοι πάγκοι ή οι παλιρροϊκές αναβαθμίδες στα λιγότερο ανθεκτικά πετρώματα (Dieter, 2005). Η επίδραση της παλίρροιας και της θραύσης του κύματος στο ανώτατο σημείο της υποπαλιρροιακής ζώνης είναι ένα θέμα που έχει συζητηθεί αρκετά. Οι εποχιακές αλλαγές της στάθμης της θάλασσας ή οι πρόσκαιρες μεταβολές της θαλάσσιας στάθμης λόγω μετεωρολογικών συνθηκών που λαμβάνουν χώρα κάποιες φορές (όπως στη Μεσόγειο), έχουν ελάχιστη ή καμία επιρροή στο θαλάσσιο βιολογικό και γεωμορφολογικό διαγωρισμό σε ζώνες. Αυτές οι παροδικές αλλαγές μπορούν γενικά να παραληφθούν για όλους τους οργανισμούς με διάρκεια ζωής πάνω από ένα έτος (Laborel & Laborel-Deguen, 1995)  $\delta\pi\omega\zeta$  τα vermetids, τα clionid σφουγγάρια, οι πεταλίδες και τα Lithophaga τα οποία απορροφούν όλες τις αλλαγές της στάθμης της θάλασσας σε ετήσια κλίμακα και το άνω όριο των πληθυσμών αυτών είναι καλά καθορισμένο (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).



Σχήμα 5 : Διαχωρισμός διάβρωσης και δόμησης σε κάθετο ασβεστολιθικό προφίλ σε εύκρατες περιοχές Πηγή : H. Dieter, Encyclopedia of Coastal Science, Sea-Level Indicators, 14, 2005, p.833

#### 3.3 Ορισμός της Βιολογικής μέσης στάθμη της θάλασσας (BMSL)

Το όριο μεταξύ της μεσοπαλιρροιακής και υποπαλιρροιακής ζώνης, χαρακτηρίζεται από μια απότομη αύξηση της ποικιλίας των ειδών. Το όριο αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως «βιολογική μέση στάθμη θάλασσας». Κατά συνέπεια, τα σταθερά είδη που ζουν σε ένα στενό εύρος πλάτους, που βρίσκεται ακριβώς πάνω ή ακριβώς κάτω από το όριο αυτό, είναι ιδιαίτερης σημασίας, για την αναπαράσταση της στάθμης θάλασσας του παρελθόντος αφού θεωρούνται δείκτες της στάθμης της θάλασσας την περίοδο σχηματισμού της εγκοπής. Αυτό το βιολογικό επίπεδο θάλασσας ταιριάζει πολύ με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται σήμερα σαν δείκτες θαλάσσιας στάθμης σε ασβεστολιθικές ακτές και τα οποία έχουν δημιουργηθεί από τόσο από διεργασίες βιολογικής διάβρωσης, όσο και βιολογικής δόμησης (Σχήμα 5). Ανάμεσα σε αυτές τις μορφές, η πιο συχνή είναι η παλιρροιακή εγκοπή, η οποία δημιουργείται σε ασβεστολιθικά πετρώματα από πεταλίδες και ενδολιθικά κυανοφύκη και οι οριζόντιοι πάγκοι ή παλιρροιακές πλατφόρμες οι οποίες αναπτύσσουν σε ψαμμίτες ή μαλακούς ασβεστολιθους.

Η βιολογική στάθμη θάλασσας γίνεται εμφανής όταν ένα τέμαχος βράχου μετά από μερικά χρόνια παραμονής στο νερό στη μέση στάθμη θάλασσας μετατοπιστεί ανοδικά (Laborel & Laborel-Deguen, 1995). Μετά από λίγες εβδομάδες έκθεσης στον ήλιο, όλο το οργανικό υλικό απομακρύνεται και ενδέχεται να παρατηρηθεί μια λεπτομερής μικροζώνωση: η βιολογική στάθμη της θάλασσας εμφανίζεται σαν μικροσκοπική κυματιστή γραμμή μεταξύ των χαμηλότερων ενδείξεων διάβρωσης που προκαλείται από πεταλίδες οι οποίες βρίσκονται κάτω από τη βιολογική στάθμη και οπών που δημιουργούν οι *Cliona* και τα *Lithophaga* που βρίσκονται πάνω από τη βιολογική στάθμη (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Ως βιολογικοί δείκτες της στάθμης θάλασσας (BioSLi) συνήθως χρησιμοποιούνται βιοδιαβρωτικά μορφολογικά στοιχεία, βιοδομητές (φύκη και vermetid rims) και το ανώτερο όριο των ανυψωμένων υπολειμμάτων των σταθερών φυτών που δεν δομούν πάνω στο βράχο καθώς και ασπόνδυλα (στρείδια, *barnacles*, μονήρη *vermetids*, κελύφη *Lithophaga*) και τα τελευταία χρόνια θεωρείται πως είναι μεταξύ των πιο αξιόπιστων δεικτών του επιπέδου της θάλασσας (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 4. Σεισμοί και τοπογραφικές αλλαγές

#### 4.1 Μετατοπίσεις λόγω σεισμών

Όταν σε μια περιοχή λαμβάνουν χώρα τοπογραφικές αλλαγές από ένα σεισμό ή μια ακολουθία σεισμών, συνήθως γίνεται μια διάκριση μεταξύ των προσεισμικών μετακινήσεων που έλαβαν χώρα πριν από την εκδήλωση του κύριου γεγονότος (preseismic), το συνσεισμικών μετατοπίσεων (coseismic) κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης του κύριου σεισμού, και μετασεισμικών αλλαγών (postseismic) λίγο αργότερα, που συνοδεύουν συχνά μετασεισμούς.

Οι μετατοπίσεις λόγω της σεισμικής δραστηριότητας έχουν μια οριζόντια και μια κατακόρυφη συνιστώσα. Η οριζόντια συνιστώσα συνήθως είναι ορατή κατά μήκος ρηγμάτων που δραστηριοποιούνται από το σεισμό, αν και περισσότερο ή λιγότερο τακτικοί οριζόντιοι μετασχηματισμοί μπορούν να επεκταθούν κατά μήκος της επιφάνειας των τριγύρω τεμαχών του φλοιού. Σε παράκτιες περιοχές, η κατακόρυφη συνιστώσα είναι εύκολα μετρήσιμη και είναι περισσότερο σημαντική από γεωδαιτική άποψη, γιατί αλλάζει τη σχέση της ξηράς με το επίπεδο της θάλασσας.

Όπως σημειώνεται από τον C. Vita-Finzi (1986) οι σεισμοί είχαν καταγραφεί πολύ πριν η προοδευτική ανύψωση ή η βύθιση προσελκύσει την προσοχή των γεωλόγων. Αρκετά γεγονότα του παρελθόντος, σημαντικά λόγω των απωλειών που προκάλεσαν και των υλικών καταστροφών, έχουν αναφερθεί από αρχαίους συγγραφείς. Οι περισσότεροι παρατηρητές γεγονότων του παρελθόντος λένε λίγα ή δεν αναφέρουν τίποτα για τις κινήσεις του εδάφους που συνοδεύουν ένα σεισμό. Υπάρχουν κάποιες εξαιρέσεις συγγραφέων που αναφέρουν αιφνίδιες σεισμικές αλλαγές στο παρελθόν, αν και σπάνια διαχωρίζονται οι συνέπειες του κυρίως σεισμού από εκείνες των μετασεισμών (Merlin, 2005).

#### 4.2 Ιστορικά στοιχεία μετατοπίσεων και μορφολογικών αλλαγών λόγω σεισμών

Σύμφωνα με πολλές ιστορικές πηγές, το καλοκαίρι του 426π.Χ, όταν ένας σεισμός χτύπησε το Μαλιακό κόλπο, στην Ελλάδα, στο κεντρικό τμήμα της Αταλάντης, κοντά στην Εύβοια, διανοίχθηκε ένα χώρισμα τέτοιου πλάτους που και πλοία θα μπορούσαν να περάσουν μέσω αυτού, και μερικές από τις πεδιάδες πλημμύρισαν, σε μια έκταση περίπου 4km. Έχει επίσης αναφερθεί ότι μια χειμωνιάτικη νύχτα του 373 π.Χ, μετά από έναν βίαιο σεισμό, η πόλη της Ελίκης, στον Κόλπο της Κορίνθου, καταποντίστηκε από τη θάλασσα μαζί με όλους τους κατοίκους της (Merlin, 2005). Από την αρχαία Ιαπωνία, αρκετά παραδείγματα μετατοπίσεων σε παράκτιες περιοχές μετά από σεισμούς έχουν αναφερθεί από τον Α. Imamura (1937). Το 684 μ.Χ, κατά τη διάρκεια του σεισμού Tosa στο νησί Shikoku, καλλιεργούμενη γη, με έκταση 8,25 km<sup>2</sup> λέγεται πως βυθίστηκε κάτω από τη θάλασσα. Στις 4 Σεπτεμβρίου 1596, κατά μετά από μια σεισμική ακολουθία, το νησί της Uryû-Jima, που βρίσκεται σε μικρή απόσταση από την σημερινή πόλη της Oita, με άξονα 4km βοράς - νότος και 2,3km ανατολή - δύση και πληθυσμό 5.000, βυθίστηκε κάτω από τα κύματα με αποτέλεσμα σήμερα να βρίσκεται σε βάθος 30-40 οργιές. Σεισμικές αλλαγές στη γήνινη επιφάνεια σε αρκετές περιπτώσεις είναι αποτέλεσμα των επιπτώσεων της κλίσης που αποκτούν τα τεμάχη του γήινου φλοιού. Στο νησί Shikoku, κατά τη διάρκεια ενός σεισμού που έλαβε χώρα το 1707, η υποβύθιση στο Kochi έφτασε σχεδόν τα 2m, και η μεταβολή έφτασε περίπου τα 2.1-2.4m. κοντά στην Yoshiwara, ενώ οι δύο ζώνες καθίζησης σημειώθηκαν στο δυτικό μισό της επαρχίας. Αυτό αποτελεί ένδειξη ότι και τα δύο γειτονικά τεμάχη του φλοιού είχαν κλίση βυθιζόμενα προς το βορρά (Merlin, 2005).

Σημαντικές σεισμικές κατακόρυφες μετατοπίσεις έχουν αναφερθεί επίσης και σε αρκετές παράκτιες περιοχές και σε άλλα μέρη του κόσμου. Στην περιοχή του δέλτα του Ινδού ποταμού, κατά το σεισμό Kutch, στις 19 Ιουνίου 1819, το ένα τέμαχος του ρήγματος ύψους 3m, εμφανίστηκε, κατά μήκος μιας απόστασης 80km παράλληλα στην ακτή. Η περιοχή που βρισκόταν στα νοτιοανατολικά αυτής της περιοχής, έκτασης περίπου 5.200 km<sup>2</sup> άρχισε να βυθίζεται, και μέσα σε 3 ώρες μετά το σεισμό είχε μετατραπεί σε θάλασσα.

Στη Χιλή, μετά το σεισμό Valparaiso στις 19 Νοεμβρίου 1822, η ακτή ανυψώθηκε κατά 1m, ενώ στο Quintero, περίπου 24km βόρεια, η ανύψωση ήταν 1,2m. Σύμφωνα με τον C Lyell (1875), το σύνολο της χώρας από τα βάθη των Άνδεων ανυψώθηκε εξαιτίας του σεισμικού αυτού γεγονότος και η μέγιστη ανύψωση τοποθετείται σε απόσταση περίπου 3,2km ανοικτά των ακτών (Merlin, 2005).

#### 4.3 Μετρήσεις τοπογραφικών αλλαγών από σεισμούς

Ακριβείς μετρήσεις τοπογραφικών αλλαγών που προκλήθηκαν από σεισμούς άρχισαν να πραγματοποιούνται προς τα τέλη του 19ου αιώνα. Η γεωδαιτική έρευνα της παραμόρφωσης του εδάφους αμέσως μετά από ένα σεισμό, αν και συχνά υπάρχουν υλικοτεχνικά προβλήματα, έχει το πλεονέκτημα ότι η προς έρευνα περιοχή μπορεί να προσδιοριστεί χωρίς μεγάλη δυσκολία. Ο πρώτος μετά την εκδήλωση του γεγονότος τριγωνισμός έγινε στη Σουμάτρα το 1892. Η δεύτερη έρευνα εκτελέστηκε μετά από τον σεισμό του 1897 στον Ινδικό και έδειξε μια μέγιστη κάθετη μετατόπιση ύψους 3,6m. Επαναλαμβανόμενες έρευνες μέτρησης υψομέτρου που έγιναν σε σεισμικά ενεργές περιοχές, πριν και μετά από ένα μεγάλο

σεισμό, έχουν συμβάλει στον προσδιορισμό του τοπικού μοτίβου της παραμόρφωσης του φλοιού. Μετρήσεις παλιρροιογράφων που είχαν εγκατασταθεί σε περιοχές που επλήγησαν από σεισμούς, μπορούν επίσης να παρέχουν πολύ ακριβή, συνεχή ενημέρωση για όλα τα προσεισμικά, συνσεισμικά και μετασεισμικά αποτελέσματα στις ακτές. Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη της δορυφορικής γεωδαισίας βοηθά στον έλεγχος και τον εντοπισμό των μετατοπίσεων της γήινης επιφάνειας σε όλο τον κόσμο (Merlin, 2005).

Στο παρελθόν, οι παράκτιες συνσεισμικές μετατοπίσεις συνάγονταν από ανυψωμένες ακτογραμμές οι οποίες έχουν αναφερθεί από διάφορες σεισμικά ενεργές παράκτιες περιοχές του κόσμου. Σε ορισμένες περιπτώσεις, η λεπτομερής ανάλυση των χρονολογημένων απολιθωμένων ακτογραμμών δύναται να αποκαλύψει τις τοπικές μορφές του γεωειδούς σε διαδοχικά συνεχόμενα χρονικά διαστήματα και έτσι αυτά τα δορυφορικά δεδομένα, που αντιστοιχούν σε μια σύντομη περίοδο, να επεκταθούν στο Ολόκαινο και ίσως και πριν από αυτό (Merlin, 2005).

Προσεισμικές μετατοπίσεις είναι δύσκολο να αποδειχθούν για γεγονότα του παρελθόντος, όπως επίσης και κατά τους ιστορικούς χρόνους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν έχουν αναφερθεί. Οι προσεισμικές κινήσεις είναι απροσδόκητες, μπορούν να διαρκέσουν για δεκαετίες, και να είναι αρκετά αργές οπότε να είναι δύσκολα αντιληπτές, ακόμα και σε παράκτιες περιοχές, όπου η στάθμη της θάλασσας είναι ένα επίπεδο αναφοράς. Για παράδειγμα τέτοια ήταν η περίπτωση της νήσου Κεφαλονιά (Ελλάδα), πριν το μεγάλο σεισμό του 1953 ο οποίος προκάλεσε συνσεισμική ανύψωση κατά 30-70cm, κατά μήκος της νότιας ακτής του νησιού. Στη δεκαετία του 1990, όμως, μια έρευνα που πραγματοποιήθηκε κατά μήκος της ανυψωμένης ακτογραμμής έδειξε ότι, κοντά στην περιοχή Καραβόμυλος, μια αργή προσεισμική βύθιση 15±5cm πρέπει να είχε λάβει χώρα κατά τη διάρκεια λίγων ετών πριν το σεισμό, δηλαδή προηγήθηκε της συν-σεισμικής ανύψωσης που έφτασε περίπου 50cm σε εκείνη την τοποθεσία (Merlin, 2005).

#### 4.4 Αρχαιοσεισμολογικές μελέτες στην Ελλάδα

Υπάρχουν πολλές αναφορές αρχαίων ανθρώπινων κατασκευών (α) μετατοπισμένες και κατεστραμμένες από σεισμικές επιφανειακές ρηγματώσεις, ή (β) με μικρές μετατοπίσεις κατά μήκος των οριζόντιων ασυνεχειών που μαρτυρούν έντονα φαινόμενα εδαφικής επιτάχυνσης, ή (γ) υπάρχουν στρώματα καταστροφής κάτω από τα οποία υπάρχουν σκελετοί ανθρώπων που σκοτώθηκαν και θάφτηκαν από την πτώση συντριμμιών. Σε αυτές τις περιπτώσεις, οι καταστροφές μπορούν κάλλιστα να αποδοθούν σε σεισμούς που μπορούν να χρονολογηθούν με αρχαιολογικές τεχνικές.

30

Στις παράκτιες περιοχές, η αναγνώριση των ειδών που εκτέθηκαν στην υποπαλιρροιακή ζώνη και που έχουν διαφύγει της μεσοπαλιρροιακής ή υπερπαλιρροιακής διάβρωσης, μαρτυρούν γρήγορη, συνήθως συν-σεισμική ανύψωση και μπορούν να χρονολογηθούν με μεθόδους ραδιοχρονολόγησης με <sup>14</sup>C τόσο συμβατικές (conventional) όσο και με την τεχνική AMS. Η ανύψωση των παράκτιων περιοχών κυμαίνονται έως και 9m στο ελληνικό τόξο ενώ στη λεκάνη του Αιγαίου πίσω από το τόξο μέχρι και πάνω από 1m (Stiros & Pirazzoli, 1995).

#### 4.5 Σεισμικές κινήσεις και μεταβολές της στάθμης της θάλασσας

Σε τεκτονικά ενεργές παράκτιες περιοχές, ανυψωμένες ή βυθισμένες ακτές είναι σύνηθες φαινόμενο και μπορούν εύκολα να ανιχνευθούν και μελετηθούν συνδυάζοντας τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά και τα θαλάσσια βιολογικά δεδομένα (εγκοπές και αναβαθμίδες, απολιθωμένοι βιοδομητές και βιοαποδομητές). Πρόσφατα η πρόοδος στη γνώση του φυσικού περιβάλλοντος διαβίωσης ορισμένων ειδών παράκτιων οργανισμών, επιτρέπει την αναγνώριση των ανοδικών κινήσεων των ακτών λόγω σεισμικής δραστηριότητας.

Ορισμένοι παλιρροιακοί θαλάσσιοι οργανισμοί, κυρίως αυτοί που φτιάχνουν σταθερούς σκελετούς ή σκάβουν οπές και διαβιούν σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς στο υποπαλιρροιακό περιθώριο, έχουν καταρχήν διάρκεια ζωής αρκετών χρόνων, που τους επιτρέπει να αναγνωρίσουν ως βιολογικοί οργανισμοί τις μικρής κλίμακας (κυρίως εποχικής) διακυμάνσεις της στάθμης της θάλασσας και επιπλέον, το ανώτατο όριό τους, τόσο για ζωντανά είδη όσο και για απολιθώματα, είναι συνήθως καλά καθορισμένο σαν μια οριζόντια γραμμή στον παράκτιο βραχώδη σχηματισμό. Μερικές από αυτές τις γραμμές αποτελούν το όριο μεταξύ της υποπαλιρροιακής, μεσοπαλιρροιακής και υπερπαλιρροιακής ζώνης διάβρωσης (Σχήμα 6), ενώ η διαφορά μεταξύ του απολιθωμένου και του ενεργού ανώτερου επιπέδου ορισμένων ειδών επιτρέπει μια πολύ ακριβή (μέχρι 10cm) και αξιόπιστη εκτίμηση της σχετικής μεταβολής της στάθμης της θάλασσας.

Επιπλέον, αφού οι παράγοντες διάβρωσης και η ένταση της διάβρωσης διαφέρουν σε κάθε παλιρροιακή ζώνη, στην περίπτωση μιας αργής (συνήθως ευστατικής) ανύψωσης της θαλάσσιας στάθμης, τα οργανικά ίχνη της υπερπαλιρροιακής ζώνης σύντομα θα καταστραφούν στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη. Ως εκ τούτου, η εύρεση απολιθωμένων οργανικών ιχνών της υποπαλιρροιακής ζώνης (για παράδειγμα *Lithophaga lithophaga*, monostromatic vermets, κλπ.) στην υπερπαλιρροιακή ζώνη, ή πάνω από αυτή, αποτελούν ένδειξη γρήγορης, σεισμικής ανύψωσης της βραχώδους ακτής (Stiros & Pirazzoli, 1995).


Σχήμα 6 : Βιολογικός διαχωρισμός μιας βραχώδους ακτής σε ζώνες (Peres and Picard 1964) Πηγή : S.C. Stiros, P.A. Pirazzoli, Palaeoseismic studies in Greece: A review, Quaternary International, Vol.25, INQUA/Elsevier Science Ltd, Great Britain 1995, p. 60

# 5. Οι θαλάσσιες εγκοπές σαν δείκτες μεταβολής θαλάσσιας στάθμης

## 5.1 Το επίπεδο της θάλασσας σαν σημείο αναφοράς

Παρά το γεγονός ότι το επίπεδο της θάλασσας είναι σπάνια σταθερό για μεγάλες χρονικές περιόδους, η γνώση της συμπεριφοράς του στο τέλος του Τεταρτογενούς, έχει επιτρέψει τη χρήση του επιπέδου της θάλασσας σε αναρίθμητες μελέτες ενεργών τεκτονικών διεργασιών. Η σχετική σταθερότητά του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας στα τέλη του Ολόκαινου οδήγησε στην χρήση του ως σημείο αναφοράς στο πλαίσιο της έρευνας σεισμών του παρελθόντος και των επιπτώσεών τους σε παράκτιες περιοχές.

Η χρήση αυτή του επιπέδου της θάλασσας σαν σημείο αναφοράς τεκμηριώνεται καλά στην Ελλάδα, μια από τις ταχύτερα παραμορφωτικές ηπειρωτικές περιοχές στη γη, όπου η ανύψωση της ακτογραμμής φαίνεται τόσο στα μέτωπα των ενεργών κανονικών ρηγμάτων στο Αιγαίο πέλαγος όσο και στην ζώνη υποβύθισης που χωρικά τοποθετείται μεταξύ του Αιγαίου και της Μεσογείου (Shaw et al, 2010).

#### 5.2 Χαρακτηριστικά θαλάσσιων παλιρροιακών εγκοπών

Μεταξύ των μορφολογικών χαρακτηριστικών που δημιουργούνται από τη θαλάσσια διάβρωση οι παλιρροιακές εγκοπές είναι ο πιο ακριβής δείκτης θαλάσσιας στάθμης του παρελθόντος.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι εγκοπές σχηματίζονται εύκολα σε ασβεστολιθικές ακτές, επειδή το CaCO<sub>3</sub> είναι περισσότερο διαλυτό στο θαλασσινό νερό από όσο είναι τα μη ανθρακικά υλικά, και ως εκ τούτου, η κύρια εφαρμογή των θαλάσσιων εγκοπών για μελέτες ανύψωσης είναι σε περιοχές με παράκτιους ανθρακικούς βραχώδεις σχηματισμούς (Rust & Kershaw, 2000). Η ανάπτυξή των μορφών αυτών οφείλεται τόσο σε διαδικασίες διάλυσης όσο και σε βιολογική διάβρωση. Σε προστατευμένες από τη δράση των κυμάτων περιοχές ανυψωμένες ή βυθισμένες εγκοπές μπορούν να καθορίσουν τις θέσεις των παλαιότερων επιπέδων της θάλασσας με ακρίβεια εκατοστού. Το σχήμα της εγκοπής μπορεί να παρέχει ποιοτικές πληροφορίες σε ότι αφορά το εύρος της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και στις τεκτονικές ή ευστατικές κινήσεις (Pirazzoli, 2005). Οι μορφές διάβρωσης μπορούν να χρονολογηθούν εάν έχουν στην επιφάνειά τους βιολογικά υπολείμματα (Haslett, 2000).

Στις παράκτιες περιοχές οι οποίες επλήγησαν από την ταχείες κατακόρυφες κινήσεις, οι αρχικές εγκοπές μπορούν να σχηματίσουν σκαλοπάτια διαβρωμένων ακτογραμμών, όπως οι εννέα «εγκοπές κυματισμού» που αναπτύχθηκαν μεταξύ 4 και 1,7 Kyear BP στα Αντικύθηρα (Ελλάδα), ή η θεαματική «σκάλα» των 185 διαδοχικών ανυψωμένων ακτογραμμών οι οποίες

δημιουργήθηκαν από 8,3 Kyear BP μέχρι σήμερα κατά τη διάρκεια της ανύψωσης της γης λόγω της παγετο-ισοστατικής ανύψωσης στην ανατολική ακτή του Hudson Bay (Καναδάς) (Pirazzoli, 2007).

Η κατακόρυφη μετατόπιση μπορεί να είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από το παλιρροιακό εύρος αλλά είναι δυνατό να απαντηθούν και διαδοχικές επαναλαμβανόμενες μετατοπίσεις.

## 5.2.1 Κατακόρυφη μετατόπιση μεγαλύτερη από το παλιρροιακό εύρος

Σε περιοχές που προστατεύονται από την δράση των κυμάτων, ανυψωμένες ή βυθισμένες παλιρροιακές εγκοπές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να καθοριστεί η στάθμη της θάλασσας στο παρελθόν με ασφάλεια εκατοστού και επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ποιοτικών πληροφοριών σχετικά με το ρυθμό μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και των τεκτονικών κινήσεων. Μια ταχεία μεταβολή της σχετικής στάθμης της θάλασσας, μεγαλύτερη από το παλιρροϊκό εύρος (Σχήμα 7), θα ανυψώσει ή θα βυθίσει όλη την εγκοπή, προστατεύοντάς την από περαιτέρω μεσοπαλιρροιακή διάβρωση και μια νέα εγκοπή θα αναπτυχθεί στη νέα παλιρροιακή ζώνη.



Σχήμα 7 : Προφίλ που δημιουργείται σε ανθρακικό βραχώδη παράκτιο σχηματισμό από μια απότομη κατακόρυφη μεταβολή μεγαλύτερη από το παλιρροιακό εύρος

Πηγή : P. A. Pirazzoli, Sea level studies, Geomorphological Indicators, Elsevier, 2007, p. 2975

#### 5.2.2 Κατακόρυφη μετατόπιση μικρότερη από το παλιρροιακό εύρος

Εάν η ταχεία κατακόρυφη μετατόπιση είναι μικρότερη από το παλιρροϊκό εύρος (Σχήμα 8) τότε μπορούν να δημιουργηθούν οι παρακάτω μορφές.



**Σχήμα 8 : Το αποτέλεσμα κατακόρυφης μετατόπισης μικρότερης από το παλιρροιακό εύρος** Πηγή : P.A. Pirazzoli, Marine erosion features and bioconstructions as indicators of tectonic movements, with special attention to the eastern Mediterranean area, Zeitschrift für Geomorphologie, Vol.137, Berlin 2005, p. 72

# 5.2.3 Κατακόρυφη μετατόπιση αργή και σταδιακή

Εάν η κίνηση είναι αργή και σταδιακή, τότε το ανώτερο και το κατώτερο σημείο της εγκοπής θα διαβρωθεί και το ύψος της εγκοπής θα αυξήσει (Σχήμα 9).



Σχήμα 9 : Προφίλ εγκοπής σε περίπτωση αργής και σταδιακής κίνησης Πηγή : P. A. Pirazzoli, Sea level studies, Geomorphological Indicators, Elsevier, 2007, p. 2975

Φυσικά είναι δυνατό να δημιουργηθούν διάφορα προφίλ από τη βαθμιαία μεταβολή της σχετικής στάθμης της θάλασσας(Σχήμα 10)



Σχήμα 10 : Διάφορα προφίλ εγκοπής που δημιουργούνται από τη βαθμιαία και σταδιακή μεταβολή της στάθμης της θάλασσας

Πηγή : P.A. Pirazzoli, Marine erosion features and bioconstructions as indicators of tectonic movements, with special attention to the eastern Mediterranean area, Zeitschrift für Geomorphologie, Vol.137, Berlin 2005, p. 72

# 5.2.4 Επαναλαμβανόμενες μετατοπίσεις

Επαναλαμβανόμενες ταχείες κινήσεις θα δημιουργήσουν διαδοχικές επικαλυπτόμενες εγκοπές, τις ονομαζόμενες κυματοειδείς εγκοπές (Σχήμα 11, Εικόνα 2).



**Σχήμα 11 : Κυματοειδής εγκοπή** Πηγή : . A. Pirazzoli, Sea level studies, Geomorphological Indicators, Elsevier, 2007, p. 2975



Εικόνα 2: Σειρά από ανυψωμένες κυματοειδείς παλιρροιακές εγκοπές σε ασβεστολιθικό κρημνό, κοντά στο ακρωτήρι Λαδικό στη Ρόδο

Πηγή : . A. Pirazzoli, Sea level studies, Geomorphological Indicators, Elsevier, 2007, p. 2975

# 6. Βιολογικοί δείκτες μεταβολής θαλάσσιας στάθμης

# 6.1 Η χρήση απολιθωμένων βιολογικών δεικτών

Για να γίνει δυνατή και αξιόπιστη η χρήση των απολιθωμένων βιολογικών δεικτών υπάρχουν αρκετές προϋποθέσεις.

Οι βιολογικοί δείκτες θαλάσσιας στάθμης (με τη μορφή απολιθωμάτων) θα πρέπει να παρέχουν αξιόπιστες πληροφορίες για τα ακόλουθα χαρακτηριστικά σε ότι αφορά μια κατακόρυφη μετατόπιση μιας βραχώδους ακτογραμμής:

(1) κατεύθυνση της σχετικής μετατόπισης,

(2) κάθετο πλάτος (χωροστάθμηση),

(3) πολυπλοκότητα (απλή κίνηση ή σύνθετα ανοδικά και καθοδικά επεισόδια),

(4) σχετική ταχύτητα (από αργή μέχρι στιγμιαία), και

(5) ηλικία (με την διαθεσιμότητα βιολογικού – οργανικού υλικού που μπορεί να χρονολογηθεί ώστε να δώσει απόλυτη ηλικία).

Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να δοθούν από απολιθωμένους βιολογικούς δείκτες στάθμης θάλασσας με την προϋπόθεση ότι ο κατάλληλος δείκτης είναι διαθέσιμος στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης και ότι μια ακριβής μελέτη των τοπικών συνθηκών διατήρησης και ιζηματογένεσης έχει ήδη πραγματοποιηθεί (Laborel & Laborel-Deguen, 1995), ώστε να είναι δυνατή και κάποια συσχέτιση με άλλους τύπους δεικτών στάθμης θάλασσας.

# 6.1.1 Ο προσδιορισμός του υψομέτρου

Το υψόμετρο της ανυψωμένης ή βυθισμένης ακτογραμμής υπολογίζεται καλύτερα με άμεση μέτρηση της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ του ανώτερου ορίου των ανυψωμένων ή βυθισμένων βιολογικών – οργανικών υπολειμμάτων και του αντίστοιχου ανώτατου ορίου που βρίσκεται ο σημερινός ίδιος οργανισμός. Το όριο αυτό λαμβάνεται ως δεδομένο τοπικό επίπεδο. Αυτό μπορεί εύκολα να γίνει με είδη όπως *Dendropoma* ή *Lithophyllum lichenoides* των οποίων οι πληθυσμοί έχουν ένα πολύ περιορισμένο και καθορισμένο κατακόρυφο εύρος διαβίωσης το οποίο σχετίζεται με τη μέση στάθμη θάλασσας. Για είδη με ένα ευρύ κατακόρυφο φάσμα όπως τα *Lithophaga, Balanus* ή μονήρη *vermetids*, καλά αποτελέσματα λαμβάνονται μόνο όταν τα ανώτατα άκρα των απολιθωμένων και των ζώντων πληθυσμών είναι καλά καθορισμένα ή όταν τα απολιθωμένα υπολείμματα συσχετίζονται με κάποιο μορφολογικό δείκτη της στάθμης της θάλασσας, όπως μια παλιρροιακή εγκοπή. Συνεπώς είναι περιττή οποιαδήποτε άμεση αναφορά στην πραγματική στάθμη του θαλάσσιου νερού, με παρατήρηση ή υπολογισμό από πίνακες παλίρροιας,.

Όταν μια σειρά μετρήσεων γίνεται σε περιορισμένη περιοχή, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα βιολογικά σημάδια της στάθμης της θάλασσας δεν είναι τέλειες οριζόντιες γραμμές, αλλά είναι φυσικά στρεβλές γραμμές, ακόμα και σε μικρές αποστάσεις, λόγω των τοπικών αποκλίσεων της υδροδυναμικής από υποπεριοχή σε υποπεριοχή. Όλες οι επιμέρους μετρήσεις πρέπει να γίνονται σε ένα συγκεκριμένο κατακόρυφο προφίλ, όπου να υπάρχουν τόσο δείγματα απολιθωμένων ειδών, όσο και οι σημερινοί αντίστοιχοι οργανισμοί των ειδών αυτών. Άρα δεν ενδείκνυται η επιλογή ενός μοναδικού τμήματος του κρημνού με δείκτες για αρκετές μετρήσεις, ακόμη και σε οριζόντια απόσταση λίγων μέτρων.

Η ακρίβεια της εκτίμησης της στάθμης του παρελθόντος εξαρτάται από την κατάσταση διατήρησης των ανώτατων ορίων των απολιθωμένων πληθυσμών καθώς και από τις τοπικές οικολογικές συνθήκες: έτσι για παράδειγμα μια ακρίβεια περίπου +5cm υπήρξε σε μελέτες στην Κρήτη για μια σειρά από εξαιρετικά καλοδιατηρημένα vermetid rims και στην Εύβοια για ανυψωμένους πληθυσμούς Lithophaga (Σχήμα 12) που θα μπορούσαν να χρονολογηθούν, παρά το μικροσκοπικό μέγεθός τους με τη μέθοδο AMS ραδιογρονολόγησης με 14C. Στις περιοχές της Βραζιλίας και της Καραϊβικής, σε ανυψωμένους και διαβρωμένους vermetid υφάλους η κατακόρυφη ακρίβεια των εκτιμήσεων ήταν της τάξης του + 0,5m (Laborel & Στην περιοχή της δυτικής Μεσογείου, σε βυθισμένες και Laborel-Deguen, 1995). διαβρωμένες γραμμές των Lithophyllum lichenoides η κάθετη ακρίβεια των εκτιμήσεων κυμαίνεται μεταξύ  $\pm 10$  και 20cm (Laborel & Laborel-Deguen, 1994). Οι μικρότερης ακρίβειας εκτιμήσεις (περίπου + 0,5 μ έως + αρκετά μέτρα) παρατηρήθηκαν σε περιογές εμφάνισης ρηγματωμένων βράχων εκτεθειμένων στη θραύση του κύματος όπου γρησιμοποιήθηκαν ως δείκτες πληθυσμοί Chthamalus καθώς και με βυθισμένους πληθυσμούς ειδών κοραλλιών (Acropora palmata) (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).



Σχήμα 12 : Αρχή μέτρησης ανυψωμένων σταθμών θάλασσας χρησιμοποιώντας βιολογικούς και μορφολογικούς δείκτες.

Πηγή : J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Biological Indicators of Relative Sea-Level Variations and of Co- Seismic Displacements in the Mediterranean Region, Journal of Coastal Research, Vol. 10, No.2, Florida 1994, p. 399

## 6.1.2 Ο προσδιορισμός της ταχύτητας της μετατόπισης

Στην περίπτωση μιας **αργής ανύψωσης** (ευστατικής, ισοστατικής ή τεκτονικής), με μια τάξη μεγέθους από λιγότερο από ένα χιλιοστό έως λίγα χιλιοστά κάθε χρόνο, οι οργανισμοί που αποτελούν βιολογικούς δείκτες και ζουν στην υποπαλιρροιακή ζώνη πεθαίνουν εξαιτίας της αλλαγής των συνθηκών που διαβιούν λόγω της ανύψωσης και τα υπολείμματά τους αργά μεταφέρονται στην μεσοπαλιρροιακή ζώνη. Οι μικροί ή αδύναμοι σκελετοί - υπολείμματα εξαφανίζονται σε διάστημα μερικών ετών ή μερικών δεκαετιών. Οι δομές υφάλων (στεφάνη από φύκη, vermetid και κοραλλιογενείς ύφαλοι), αντίθετα, διαβρώνονται, αλλά δεν καταστρέφονται ολοσχερώς, και τα υπολείμματά τους παρουσιάζουν ένα συνεχές (μη διασπασμένο) προφίλ.

Στην περίπτωση μιας πολύ γρήγορης ανύψωσης (συχνά σχετίζεται με κάποιο σεισμικό γεγονός), είναι δυνατή σε ορισμένες περιπτώσεις η διατήρηση των ανυψωμένων εύθραυστων υπολειμμάτων. Ακριβείς ενδείξεις που αποτελούν απόδειξη μιας συν-σεισμικής ανύψωσης είναι δύσκολο να καθοριστούν όμως η διατήρηση μικρών λεπτομερειών είναι γενικά η καλύτερη απόδειξη μιας ταχείας ανύψωσης.

Κάθε φορά που πολύ αδύναμα χαρακτηριστικά είναι διατηρημένα, συμπεριλαμβανομένων των μικρών λεπτομερειών των σκελετών σε μια βραχώδη ακτή εκτεθειμένη στη θραύση των κυμάτων (όπως είναι για παράδειγμα η δυτική ακτή της Κρήτης) το να έχει συμβεί κάτι ακαριαίο που οδήγησε σε μετατόπιση της ακτογραμμής θεωρείται το πλέον πιθανό. Επιπλέον αποδεικτικά στοιχεία μπορούν να θεωρηθούν κάθετες ασυνέχειες των ανυψωμένων πληθυσμών ή μορφολογικοί δείκτες (εγκοπές).

Σε περίπτωση **βύθισης της ακτογραμμής**, ο προσδιορισμός της ταχύτητας της καθοδικής κίνησης είναι πολύ πιο δύσκολος από ό, τι όταν η κίνηση είναι ανοδική, δεδομένου ότι πολλοί βιολογικοί δείκτες της στάθμης της θάλασσας είτε καταστρέφονται γρήγορα από την διάβρωση στην υποπαλιρροιακή ζώνη ή καλύπτονται από μια νέα γενιά ατόμων. Σε αυτές τις συνθήκες δεν είναι δυνατή η χρησιμοποίησή τους . Έτσι, μόνο παράκτια είδη βιοδομητών με ένα πολύ στενό κατακόρυφο εύρος ανάπτυξης, όπως η *Lithophyllum lichenoides* (Μεσόγειος) ή *Dendropoma spp*. (Τροπικές και υποτροπικές περιοχές) μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Από τέτοιες δομές, συχνά είναι δυνατόν να αντληθούν πολύτιμες πληροφορίες από τη διασπορά των υπολειμμάτων βιολογικής δραστηριότητας που βρίσκονται κάτω από το νερό. Σε περίπτωση μιας αργής βύθισης της ακτής αρκετά συχνά βρίσκονται συνεχή ή σχεδόν συνεχή βυθισμένα υπολείμματα σε ένα μεγάλο εύρος του βραχώδους υποθαλάσσιου κρημνού Αυτή είναι και η περίπτωση της στεφάνης των *Lithophyllum lichenoides* στη Δυτική Μεσόγειο ή των σχετιζόμενων με την επιφάνεια κοραλλιών, όπως *Acropora palmata*. Μια πιο γρήγορη βύθιση δεν θα παρείχε επαρκή χρόνο για την ανάπτυξη μιας βιοδομημένης στεφάνης ή ενός

39

υφάλου στο ενδιάμεσο βάθος, και έτσι οι βιοδομητές θα εμφανίζονταν σαφός χωριστά ο ένας από τον άλλο. Το πρόβλημα της ταχύτητας του ρυθμού της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας είναι σημαντικό, και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη συγκεκριμένων περιοχών. Αυτό είναι ιδιαίτερα απαραίτητο στη μελέτη ακτών σε περιοχές που υπάρχουν υποψίες ότι υφίστανται την επίδραση υδρο-ισοστατικών αντισταθμιστικών κινήσεων ή κινήσεων που συνδέονται με μετατοπίσεις επιφανειακών διογκώσεων ή κοιλοτήτων της επιφάνειας του νερού (είτε σχετίζονται με τα ρεύματα ή με το γεωειδές). Για παράδειγμα, στις βραχώδεις ακτές της βορειοανατολικής Βραζιλίας, εμφανίζονται σημαντικά ανυψωμένοι Vermetid και κοραλλιογενείς σχηματισμοί και μερικά από αυτά δείχνουν πολύ μικρή διάβρωση. Πρέπει να σημειωθεί ότι δεν έχει προταθεί καμία ικανοποιητική ερμηνεία αυτών των γρήγορων κινήσεων πάνω σε ένα σταθερό ηπειρωτικό περιθώριο (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

## 6.2 Είδη που χρησιμοποιούνται ως βιολογικοί δείκτες

Μεταξύ των θαλάσσιων βιοδομητών που ζουν στη Μεσόγειο τα πιο χρήσιμα είδη είναι αρκετά vermetids (*Dendropoma*) ή το ασβεστοφύκος (*Neogoniolithon*) στην ανατολική Μεσόγειο, τα οποία ζουν μόνο κοντά στο επίπεδο της θάλασσας ή άλλα κελύφη (*Lithophaga*, *barnacles*, κα) τα οποία μπορούν να δείξουν με μεγάλη ακρίβεια τη θέση του επιπέδου της θάλασσας (Pirazzoli, 2005). Αναλυτικά αναλύονται παρακάτω.

#### 6.2.1 Lithophaga Lithophaga (L.), Mollusca, Lamellibranchiata, Mytylidae

Τα Lithophaga (τα μύδια που χρονολογούνται ή που ανοίγουν οπές) είναι λιγότερο ή περισσότερο διαδεδομένα ελασματοβράγχια που ανοίγουν οπές σε ασβεστολίθους. Το είδος που ζει στη Μεσόγειο είναι το Lithophaga lithophaga (L.). Ο εποικισμός του υποστρώματος είναι αργός και σταδιακός, αλλά ομοιογενής και άφθονος όχι μόνο στις εξωτερικές επιφάνειες, αλλά και μέσα σε στενές ρωγμές και σε περιβάλλοντα παράκτιων σπηλαίων.

**Κάθετο Εύρος**. Τα κελύφη είναι δυνατό να βρεθούν σε ασβεστολίθους και ασβεστιτικούς ψαμμίτες, από το ανώτατο όριο της υποπαλιρροιακής ζώνης έως κάτω σε βάθος μεγαλύτερο από 30m.

Σύνδεση με τα μοντέλα διάβρωσης. Το ανώτατο όριό τους αντιστοιχεί γενικά στην κορυφή της παλιρροιακής εγκοπής ή στο εξωτερικό πεδίο του διαβρωσιγενούς παλιρροιακού πάγκου. Στην υποπαλιρροιακή ζώνη τα *Lithophaga* συνδέονται με τα εχινόδερμα τα οποία προσπαθούν να καταστρέψουν το εξωτερικό στρώμα του βράχου.

**Αντίσταση στη διάβρωση**. Τα κελύφη των *Lithophaga* κατά κανόνα, καταστρέφονται γρήγορα μετά το θάνατο του μαλακίου. Ωστόσο, τα νεκρά κελύφη μπορούν μερικές φορές να διατηρηθούν κάτω από το νερό χωρίς να ανυψωθούν, είτε μέσω της εσωτερικής καθίζησης και στερεοποίησης θαλάσσιας άμμου ή ιλύος μέσα στην οπή ή με το κλείσιμο του ανοίγματος της οπής από οργανισμούς που δημιουργούν κρούστα, οδηγώντας στο θάνατο του μαλακίου και στη διατήρηση του κελύφους του. Η διεργασία αυτή είναι συνήθης σε ρωγμές και μικρές κοιλότητες.

Υψομετρική ακρίβεια. Όπως συνήθως γίνεται μεταξύ των ευρέως διαδεδομένων ειδών, η διατήρηση των λιγοστών απομονωμένων οπών δεν μπορεί να συσχετιστεί με ένα συγκεκριμένο επίπεδο θαλάσσιου νερού. Αντίθετα, η διατήρηση μεγάλων επιφανειών του βράχου που φέρουν οπές με ένα διακριτό γραμμικό ανώτατο όριο, είναι ένας πολύ ακριβής δείκτης. Είναι, ωστόσο, αναγκαίο να επιβεβαιωθεί ότι το ανώτατο όριο δεν είναι αποτέλεσμα θαλάσσιας διάβρωσης, ή στο άνοιγμα μιας ρωγμής από την ολίσθηση βράχων διεργασίες που είναι συχνές σε κρημνώδη παράκτια περιβάλλοντα.

Ραδιοχρονολόγηση. Λόγω του μικρού βάρους των κελυφών και της δυσκολίας της διατήρησής τους, γενικά δεν είναι δυνατόν να γίνει συλλογή ομογενούς δείγματος των 30 gr που απαιτούνται για ραδιοχρονολόγηση conventional. Όμως, είναι δυνατό να γίνει ακριβής χρονολόγησης με τη μέθοδο AMS. Έχουν παρατηρηθεί πολλές φορές αποκλίσεις στις εκτιμώμενες ηλικίες δειγμάτων τα οποία, κατά τη συλλογή τους, φαινόταν να ανήκουν στην ίδια γενιά. Μια πιο προσεκτική μελέτη της θέσης συλλογής έδειξε ότι τέτοιες δυσκολίες είναι δυνατό να προκύψουν σε χώρους στους οποίους ρωγμές και κοιλότητες στο βράχο κατοικήθηκαν ξεχωριστά και σε διαφορετικές χρονικές στιγμές από τα μύδια που χρονολογούνται και ακολούθως έκλεισαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους από την ανάπτυξη των ενδολιθικών οργανισμών που δημιουργούν κρούστα ή από την εναπόθεση ιζημάτων. Στην τελευταία αυτή περίπτωση, τα κελύφη διαφορετικών ηλικιών θα μπορούσαν να διατηρηθούν τέλεια σε περίπτωση ανύψωσης και δεν θα ήταν ορατά, εάν οι ρωγμές δεν άνοιγαν δευτερογενώς από τη διάβρωση ή από την πτώση βράχων. Τέτοια φαινόμενα μπορεί να είναι σημαντικά σε περιοχές όπου συχνοί σεισμοί οδηγούν σε περιοδικό σπάσιμο του βράχου, δημιουργώντας συνθήκες ιδανικές για την ανάπτυξη νέας χλωρίδας και πανίδας απαραίτητης για την ανάπτυξη του εν λόγω μυδιού. Προβλήματα στην ακρίβεια της χρονολόγησης μπορούν επίσης να προκύψουν από είσοδο γλυκού νερού καρστικής προέλευσης, το οποίο αλλάζει την ισοτοπική αναλογία του κελύφους.

**Ανύψωση αργή / γρήγορη (συν-σεισμική).** Τα κελύφη των *Lithophaga* μπορούν να είναι άριστοι δείκτες ανοδικών συν-σεισμικών κινήσεων της ακτογραμμής, ιδίως σε μέρη όπου δεν

υπάρχουν διαθέσιμοι δείκτες όπως vermetids ή ασβεστοφύκη. Μπορούν επίσης να είναι αρκετά χρήσιμα για την ερμηνεία σύνθετων κατακόρυφων κινήσεων.

**Βύθιση αργή / γρήγορη (συν-σεισμική).** Αφού τα Lithophaga μπορούν να ζήσουν μέχρι σημαντικά βάθη, η βύθιση δεν επηρεάζει τους ζώντες πληθυσμούς με αποτέλεσμα η χρησιμοποίηση των κελυφών αυτών ως δεικτών βύθισης της ακτογραμμής είναι αδύνατη. Μια σημαντική εξαίρεση είναι η προσωρινή βύθιση που ακολουθείται από συν-σεισμική ανύψωση. Στην περίπτωση αυτής της ακολουθίας των κινήσεων, η μελέτη των ανυψωμένων οπών Lithophaga μπορεί να αποκαλύψει πολύτιμα δεδομένα σχετικά με τη διάρκεια των επεισοδίων βύθισης, ειδικά αν αυτά ήταν μικρής διάρκειας. Ο Κ. Kleeman (1973a, 1973b) αναφέρει ότι οι προνύμφες των Lithophaga εγκαθίστανται σε νέο βυθισμένο βράχο με μια καθυστέρηση μερικών ετών και ότι τα κελύφη αναπτύσσονται αρκετά αργά, φτάνοντας το μέγιστο μέγεθός τους σε περίπου 80 χρόνια. Έτσι, υπάρχει μια δυνατότητα εκτίμησης της διάρκειας μιας βραχείας βύθισης (10-100 χρόνια) χάρη στην στατιστική μελέτη του αντίστοιχου πληθυσμού των οπών των Lithophaga (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 6.2.2 Lithophyllum lichenoides Philippi (1837), Rhodophyta, Corallinacea

Αυτό το μεσοπαλιρροιακό φυτό φτιάχνει στεφάνες οι οποίες αναφέρονται με ποικίλα ονόματα όπως "trottoir à Tenarea", "trottoir à Lithothamnion", ή "trottoir à Lithophyllum tortuosum". Η στεφάνη αναπτύσσεται σε σκιερούς όρμους των κρημνών που εκτίθενται στη θραύση του κύματος και η εσωτερική τους δομή αποτελείται από ένα εξωτερικό στρώμα ζωντανού thalli, μερικά εκατοστά βάθους, μια σκληρή ζώνη που προκύπτει από διαγένεση και συγκόλληση και μια χαμηλότερη διαβρωμένη επιφάνεια που καλύπτεται από φύκη που διαβιούν στο σκοτάδι καθώς και από είδη ασπόνδυλων. Οι στεφάνες από Lithophyllum περιορίζονται στην λεκάνη της δυτικής Μεσογείου, αλλά το φυτό έχει μια ευρύτερη γεωγραφικά κατανομή.

**Κάθετη Εμβέλεια**. Το *Lithophyllum lichenoides* είναι ένα από τα μεσογειακά παράκτια είδη με τη μικρότερου εύρους κάθετη βιολογική ζώνη ανάπτυξης (30-50cm) και η στεφάνη είναι η βιογενετική δομή που αναπτύσσεται υψηλότερα (ελαφρώς πάνω από μέση στάθμη θάλασσας - χαμηλή μεσοπαλιρροιακή) στη Μεσόγειο,. Σε θέσεις που εκτίθενται στην ισχυρή δράση των κυμάτων μπορεί να απαντηθεί στεφάνη εύρους πάνω από ένα μέτρο.

Σύνδεση με το μοντέλο διάβρωσης. Στις ασβεστολιθικές ακτές, η στεφάνη από Lithophyllum αναπτύσσεται στη βάση της μεσοπαλιρροιακής εγκοπής και συνήθως τείνει να την καλύψει. **Αντίσταση στη διάβρωση**. Τα ζωντανά και μη ενοποιημένα thalli είναι εύκολο να διαβρωθούν, αλλά η ίδια η στεφάνη είναι εξαιρετικά ανθεκτική στη διάβρωση λόγω του σκληρού της πυρήνα.

**Υψομετρική ακρίβεια**. Καλή έως εξαιρετική ανάλογα με τη διατήρηση των διαβρωμένων υπολειμμάτων. Η ακρίβεια είναι γενικά περίπου ±10cm σε καλές συνθήκες, και σπάνια πάνω από ±20cm.

**Ραδιοχρονολόγηση**. Η χρονολόγηση είναι γενικά εύκολη, εάν τα δείγματα έχουν ληφθεί σωστά (υπάρχει πιθανότητα σύγχυσης με άλλα είδη δομών φυκών) και έχουν καθαριστεί από κάθε είδους δευτερογενή, ενδεχομένως νεότερη, δημιουργία κρούστας. Οι οπές από Cliona που γεμίζουν από νεότερο λεπτομερές υλικό είναι η πιο συχνή περίπτωση σφάλματος κατά τη χρονολόγηση. Αρκετοί πρόσφατοι έλεγχοι χρονολόγησης ζωντανών ή πρόσφατα πεθαμένων thalli έδωσαν «σύγχρονες» ηλικίες και όχι τιμές περίπου 400 ετών, όπως τα θαλάσσια κελύφη και έτσι φαίνεται πιθανό ότι τα *Lithophyllum lichenoides* αφομοιώνουν άμεσα το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα, χωρίς να δείχνουν «φαινόμενο αποθήκευσης», λόγω της απορρόφησης του θαλάσσιου διοξειδίου του άνθρακα.

**Ανύψωση.** Δεν υπάρχουν γνωστά παραδείγματα αργής ανύψωσης στεφάνης *Lithophyllum* στη Μεσόγειο. Μια μεμονωμένη περίπτωση τοπικής τεκτονικής ανύψωση περίπου 5m έχει μελετηθεί στις πλαγιές του ηφαιστείου Αίτνα κοντά στην Taormina (Ottman & Picard, 1954).

**Βύθιση**. Οι στεφάνες από *Lithophyllum* είναι τα περισσότερο διαδεδομένα σημάδια – ενδείξεις (αργής) βύθισης στη Δυτική Μεσόγειο. Καμία περίπτωση συν-σεισμικής βύθισης δεν έχει μελετηθεί μέχρι σήμερα στην περιοχή της Μεσογείου παρόλο που η στεφάνη των *Lithophyllum* πρέπει να είναι μια τέλεια ένδειξη τέτοιων μεταβολών (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 6.2.3 Dendropoma (Novastoa) petraeum Monterosato, Mollusca, Gastropoda, Prosobranchiata, Vermetidae

Αυτό το είδος της Μεσογείου συχνά εμφανίζεται με τη μορφή λεπτής κρούστας, αλλά στα θερμότερα μέρη της λεκάνης της Μεσογείου, μπορεί να αναπτυχθεί σε συνδυασμό με το κοραλλιογενές ροδόφυτο *Neogoniolithon notarisii* και να δημιουργήσει δομές σαν υφάλους ποικίλου σχήματος και μεγέθους όπως, στεφάνης, "trottoir" ή σχήματος ατόλης. Το *Dendropoma petraeum* ζει στις θερμότερες περιοχές της Μεσογείου μόνο. Οι μεγάλου μεγέθους "σκόπελοι" περιορίζονται στα κεντρικά και ανατολίτικα τμήματα της λεκάνης, με εξαίρεση τη βόρειο-δυτική περιοχή και τα πιο κρύα μέρη των λεκανών της Αδριατικής και του Αιγαίου. Στα σύνορα των ζωνών αυτών, είναι δυνατό να αναπτυχθούν λεπτοί μη δομικοί πληθυσμοί (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

**Κάθετο Εύρος**. Το ανώτατο όριο ανάπτυξής τους έχει καθοριστεί με μεγάλη ακρίβεια στο ανώτατο όριο της υποπαλιρροιακής ζώνης, αλλά το κατώτατο όριο είναι πολύ λιγότερο σταθερό και μπορεί να ποικίλει από 0,30 m έως 1 m κάτω από το μέσο επίπεδο της θάλασσας και ακόμα περισσότερο σε εξαιρετικές περιπτώσεις (όπως για παράδειγμα στη νότιαανατολική Ισπανία). Σε περιοχές όπου είναι έντονη η θραύση των κυμάτων, ο ύφαλος από vermetid φύκη μπορεί να αναπτυχθεί λίγο υψηλότερα (περίπου 10cm) από ότι σε περιοχές με πιο ήρεμες κυματικές συνθήκες.

Σύνδεση με το μοντέλο διάβρωσης. Το Dendropoma συνδέεται στενά με την εξωτερική πλευρά των παλιρροιακών πάγκων διάβρωσης, αλλά μπορεί επίσης να αναπτυχθεί και σε αβαθείς οριζόντιες βυθισμένες επιφάνειες.

Αντίσταση στη διάβρωση. Πετρώματα υφάλου μεγάλου πάχους και συγκολλημένα είναι πολύ ανθεκτικά σε βιολογική διάβρωση που λαμβάνει χώρα στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη καθώς και στην υποπαλιρροιακή ζώνη, αλλά οι μονοστρωματικοί πληθυσμοί ειδικά όταν αναπτυχθούν χωρίς συνδετική κοραλλιογενή φύκη, εξαλείφονται γρήγορα.

Υψομετρική ακρίβεια. Εξαιρετική (περίπου ± 5cm) για υπολείμματα σε ακτές που έχουν ανυψωθεί από σεισμό, αλλά όχι και τόσο καλή (± 20cm και περισσότερο) σε περίπτωση βύθισης λόγω του σχετικά μεγάλου κάθετου εύρους ανάπτυξης των ειδών.

**Ραδιοχρονολόγηση.** Δεν υπάρχουν προβλήματα σε καλοδιατηρημένα και καθαρισμένα υλικά.

Αργή Ανύψωση. Παρά το γεγονός ότι καμία περίπτωση δεν είναι γνωστή στη λεκάνη της Μεσογείου, μεγάλου πάχους σχηματισμοί vermetid μπορούν να αντισταθούν για αρκετές χιλιετίες στην έντονη διάβρωση που επικρατεί στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη και είναι από τους πιο γνωστούς βιολογικούς δείκτες στάθμης θάλασσας στα ζεστά νερά όπως Βραζιλία, Δυτική Αφρική, Μαδαγασκάρη.

**Γρήγορη Ανύψωση (συν-σεισμική)** Εξαιρετικός δείκτης σε όλες τις περιπτώσεις (π.χ. Κρήτη, Ρόδος).

**Βύθιση.** Μεγάλου πάχους δομές vermetid μπορούν να αντισταθούν στις διαβρωτικές διεργασίες της υποπαλιρροιακής ζώνης για μεγάλες περιόδους. Όμως αφού τα ζωντανά Dendropoma μπορούν μερικές φορές να αναπτυχθούν σε βάθη του -1m ή και περισσότερο, δεν υπάρχει κανένας πρακτικός τρόπος για να αποφασιστεί εάν ένας ύφαλος σε εκείνο το βάθος πραγματικά βυθίστηκε ή αναπτύχθηκε επί τόπου.

Η απλή παρουσία βράχου vermetid κάτω από το νερό σε μικρό βάθος, δεν είναι μια απόδειξη βύθισης από μόνη της, εκτός εάν:

(1) όλα τα vermetids είναι νεκρά και (2) το κατώτατο όριο ζωντανών vermetids είναι πιο ρηχό από το βάθος του δείγματος. Ακόμη και στην πιο ευνοϊκή περίπτωση, η κατακόρυφη

ακρίβεια θα είναι πολύ μικρότερη από ό, τι για τα ανυψωμένα vermetids (περίπου ±1m), οπότε θεωρείται ότι είναι πάντα απαραίτητη μια τοπική έρευνα των ζωντανών πληθυσμών vermetid της περιοχής που μελετάται (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Ο βράχος Dendropoma, ωστόσο, χρησιμοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία στην Κρήτη στη μελέτη ακτογραμμών που είχαν υποστεί μια σειρά πολύπλοκων σεισμικών κινήσεων, που αρχικά ήταν καθοδικές και μετά ανοδικές. Το ίδιο έγινε επίσης και με λεπτά στρώματα των πληθυσμών (Κεφαλονιά). Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, η χρήση των Dendropoma ήταν δυνατή μόνο επειδή η καθοδική κίνηση είχε ακολουθηθεί από μια ανοδική που επέτρεψε στο ανώτατο όριο των vermetids να διατηρηθεί(Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Δεδομένου ότι είναι είδη θερμών νερών, τα αποικιακά Vermetids μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως κλιματικοί δείκτες, και μια έρευνα της σημερινής γεωγραφικής τους κατανομής και της πιθανής επέκτασής τους θεωρείται χρήσιμη για την τεκμηρίωση των τρεχουσών αλλαγών της θερμοκρασίας σε περιθωριακές περιοχές (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

## 6.2.4 Vermetus triqueter Gmel. кал Serpulorbis arenarius (L.), Mollusca, Gastropoda, Prosobranchiata, Vermetidae

Αυτά τα δύο είδη των μεγάλων vermetids που είναι μονήρη έχουν σχετικές οικολογίες και τα απομονωμένα ή χαλαρά συσσωματώματα των σωλήνων τους σχηματίζουν ένα λεπτό στρώμα σε ρηχούς παράκτιους βράχους. Το Vermetus triqueter είναι πιο συχνό είδος σε σχέση με το Serpulorbis και μπορεί να οικοδομήσει μερικές φορές μικρά εξογκώματα σε συνεργασία με κοραλλιογενή φύκη που φέρουν σκληρό φλοιό (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

**Κάθετο εύρος**. Από το άνω όριο της υποπαλιρροιακής ζώνης μέχρι 20-30m στη Μεσόγειο. Στις τροπικές περιοχές του Ινδο-Ειρηνικού, ωστόσο, το Serpulorbis annulatus περιορίζεται σε βάθη μικρότερα των 3 m

**Σύνδεση με τα μοντέλα διάβρωσης**. Συχνά συνδέεται με υποπαλιρροιακές κοιλότητες και διαβρωσιγενείς πάγκους.

**Αντίσταση στη διάβρωση**. Οι νεκροί σωλήνες Vermetus και Serpulorbis καταστρέφονται σε λίγα χρόνια, όταν εκτεθούν στη μεσοπαλιρροιακή ή υποπαλιρροιακή διάβρωση.

**Υψομετρική ακρίβεια**. Δεδομένου ότι τα μονήρη vermetids έχουν ένα μεγάλο κάθετο εύρος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν το ανώτατο όριό τους μπορεί να ανιχνευθεί και να συσχετιστεί με την παράκτια μορφολογία.

**Ραδιοχρονολόγηση.** Μεγάλοι σωλήνες από μονήρη vermetids είναι εύκολο να καθαριστούν και να χρονολογηθούν με την κλασική μέθοδο ραδιοχρονολόγησης με 14C ή με την μέθοδο AMS.

Ανύψωση αργή / γρήγορη (συν-σεισμική). Η ταχεία διάβρωση των σωλήνων vermetid στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη καθιστά αδύνατη τη χρήση τους ως βιολογικούς δείκτες στάθμης θάλασσας σε περίπτωση αργής ανύψωσης. Αντίθετα, είναι μεταξύ των καλύτερων δεικτών, μαζί με είδη μικρών θαλάσσιων ασπόνδυλων, όπως Serpulidae, βρυόζωα και μονήρη κοράλλια για τον προσδιορισμό συν σεισμικών ανυψώσεων της ακτογραμμής.

**Βύθιση αργή / γρήγορη (Συν-Σεισμική)**. Αφού το εύρος στο οποίο ζουν είναι μεγάλο, τα μονήρη vermetids δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν δείκτες στην περίπτωση βύθισης, τόσο αργής όσο και γρήγορης (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 6.2.5 Oysters, Mollusca, Lamellibranchiata, Ostraeidae

Τροπικά παράκτια είδη στρειδιών αν και μπορούν να αναπτυχθούν από την επιφάνεια και προς τα κάτω για 10-20m βάθος είναι κατά περιπτώσεις σημαντικοί δομητές,. Στην Ινδο-Ειρηνική περιοχή, τα στρείδια συνήθως κατασκευάζουν παράκτιους υφάλους ποικίλου μεγέθους και ανάπτυξης. Επιπλέον μπορούν να σχηματίζουν και έναν επίπεδο και λεπτό σχηματισμό προεξοχών. Τα στρείδια μπορούν μερικές φορές να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες στάθμης θάλασσας σε υφάλμυρες περιοχές και σε λιμάνια, όπως χρησιμοποιούνται σε ανοιχτό παράκτιο περιβάλλον (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

Με εξαίρεση την ιδιαίτερη περίπτωση των μικτών κατασκευών από στρείδια (Hyotissa) και Dendropoma στις ακτές της Τουρκίας, τα στρείδια της Μεσογείου δεν είναι σημαντικοί δομητές και ζουν από την επιφάνεια προς τα κάτω σε 30-50m βάθος. Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν όπως και τα Balanus σε υφάλμυρες περιοχές και λιμάνια καθώς και σε ανοικτά περιβάλλοντα.

**Κάθετο Εύρος**. Σημαντικό (όπως και αυτό των *Balanus*), αλλά με ένα ανώτατο όριο ελαφρώς (20-30cm) χαμηλότερα από τη μέση στάθμη θάλασσας.

Σύνδεση με τα μοντέλα διάβρωσης. Καμία.

Αντίσταση στη διάβρωση Εξαιρετική.

**Υψομετρική ακρίβεια**. Όπως τα balanids.

Ραδιοχρονολόγηση. Τα στρείδια δεν εκτιμώνται πολύ για αυτό

Ανύψωση. Είναι άριστοι δείκτες για συν - σεισμικά γεγονότα που έχουν οδηγήσει σε ανύψωση ακτογραμμών σε υφάλμυρες περιοχές ή σε λιμάνια. Σε μέρη όπου η ηπειρωτική διάβρωση ήταν ενεργή μετά την ανύψωση της ακτογραμμής όταν δεν υπάρχουν βιολογικά υπολείμματα στην εξωτερική επιφάνεια του βράχου, πολλά oysters είναι δυνατόν να διατηρούνται ακόμα στο εσωτερικό των διακλάσεων και σε ρωγμές στους τοίχους του λιμανιού (όπως συμβαίνει και με τα Balanus). Έξω από τον χώρο της Μεσογείου θαλάσσης, ένα καλό παράδειγμα βρέθηκε πριν από μερικά χρόνια στον Κόλπο του Tajdurah όπου ύφαλοι από στρείδια και πληθυσμοί στρειδιών σε αποβάθρες ανυψώθηκαν περίπου 1m από σεισμό, με τους οργανισμούς στο κάτω μέρος του υφάλου να παραμένει ζωντανό.

**Βύθιση αργή/γρήγορη (συν-σεισμική).** Δεν υπάρχει κάποιο γνωστό παράδειγμα χρήσης τους για τέτοιο σκοπό(Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 6.2.6 Chthamalus sp. Arthropodia, Crustacea, Cirripedia

Οι πεταλίδες Chthamalus (ειδικά Chthamalus stellatus και C. depressus) είναι ένα είδος διαδεδομένο σε βραχώδεις ακτές της Μεσογείου όπου ζουν διάσπαρτες στη ζώνη διαβροχής (ανώτερη μεσοπαλιρροιακή και χαμηλότερη υπερπαλιρροιακή ζώνη). Οι πεταλίδες Chthamalus αν και αποτελούν όχι και τόσο καλούς δείκτες της στάθμης της θάλασσας έχουν χρησιμοποιηθεί σε μερικές περιπτώσεις(Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

**Κάθετο Εύρος**. Το ανώτατο όριο των *Chthamalus* ποικίλει ανάλογα με τις τοπικές συνθήκες του παλιρροιακού εύρους, του κυματισμού και της τοπογραφίας. Το εύρος ανάπτυξής τους μπορεί να ποικίλλει από μερικά εκατοστά σε μια επίπεδη κάθετη επιφάνεια βράχου σε ήρεμα νερά έως αρκετά μέτρα σε μια κάθετη ρωγμή κοντά σε ένα περισσότερο εκτεθειμένο προφίλ.

Σύνδεση με το μοντέλο διάβρωσης. Καμία.

**Αντίσταση στη διάβρωση**. Τα κενά κελύφη καταστρέφονται εύκολα από τη βιοδιάβρωση όταν βυθιστούν.

Υψομετρική ακρίβεια. Το κατακόρυφο εύρος των ειδών είναι τόσο ακανόνιστο που είναι αρκετά δύσκολο να συγκριθεί το ανώτατο όριο των απολιθωμένων *Chthamalus* με εκείνο του αντίστοιχου πληθυσμού που βρίσκεται εν ζωή και δεν πρέπει να αναμένεται μεγαλύτερη ακρίβεια από ±0,25 ή ακόμα ±0,5m. Κάτι ακόμη χειρότερο είναι το γεγονός ότι πρώην περίοδοι καταιγίδων μπορεί να έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη ενεργειακά αυξημένων πληθυσμών που μπορούν να ερμηνευτούν λανθασμένα ως ανυψωμένη στάθμης της θάλασσας.

**Ραδιοχρονολόγηση conventional.** Το μικρό μέγεθος των κελυφών σπάνια επιτρέπει χρονολόγηση.

**Χρονολόγηση με την μέθοδο AMS** είναι δυνατή, αλλά απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στον καθαρισμό των υπολειμμάτων, γιατί η εναπόθεση ασβεστιτικού υλικού μέσα στα κελύφη είναι σύνηθες φαινόμενο. Οι πεταλίδες Chthamalid μπορεί (και πρέπει) να χρησιμοποιούνται ως η τελευταία επιλογή δεικτών ως προς τη χρονολόγησή τους, όταν κανένα άλλο υλικό δεν έχει βρεθεί ή όταν συσχετίζονται άμεσα με μια εγκοπή.

**Ανύψωση αργή/γρήγορη (συν-σεισμική).** Αφού τα chthamalids ζουν στο ανώτερο όριο της μεσοπαλιρροιακής ζώνης διάβρωσης, υπάρχει ελάχιστη επίδραση από αυτή και τα νεκρά υπολείμματα μπορούν να διατηρηθούν ανεξάρτητα από την ταχύτητα της ανύψωσης. Συνεπώς θεωρούνται φτωχοί δείκτες συν-σεισμικών κινήσεων της ακτογραμμής.

**Βύθιση αργή/γρήγορη (συν-σεισμική).** Σχεδόν άμεση καταστροφή των κελυφών chthamalid από διάβρωση κάτω από το νερό, τα καθιστά ακατάλληλα ανεξάρτητα από την ταχύτητα της βύθισης που έλαβε χώρα (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 6.2.7 Balanus spp, Arthropoda, Crustacea, Cirripedia

Το ανώτατο όριο των πληθυσμών *Balanus* έχει χρησιμοποιηθεί ως δείκτης της στάθμης της θάλασσας του παρελθόντος. Βρίσκεται λίγο πάνω από μέση στάθμη θάλασσας στην κατώτερη μεσοπαλιρροιακή ζώνη. Είδη του γένους *Balanus* είναι δύσκολο να εντοπιστούν στο επίπεδο αυτό των ειδών, ειδικά σε νεκρό υλικό και για το λόγο αυτό συχνά ομαδοποιούνται κάτω από την ονομασία *Balanus sp*.

Τα Balanids, όπως και τα στρείδια, αναπτύσσονται σε πληθυσμούς ενός στρώματος ή συγκεντρώνονται σε προεξοχές ή μικρές στεφάνες. Είναι μεταξύ των πολύ λίγων βιοδομητών που είναι σε θέση να αναπτυχθούν σε υφάλμυρο περιβάλλον. Για το λόγο αυτό υπάρχει και το ενδιαφέρον χρησιμοποίησής τους σε μελέτες που σχετίζονται με αρχαία λιμάνια (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

**Κάθετο εύρος**. Σημαντικό, όπως τα Vermetus ή τα Lithophaga, που αρχίζει από τη μέση στάθμη θάλασσας.

Σύνδεση με τα μοντέλα διάβρωσης. Καμία.

**Αντίσταση στη διάβρωση**. Καλή όταν ανυψωθούν. Όξινα εδάφη μπορούν να διαχωρίσουν τις πεταλίδες από το υπόστρωμά τους, ειδικά σε ξύλινους πασσάλους.

**Υψομετρική ακρίβεια**. Εξαιρετική, παρέχουν ένα γραμμικό ανώτατο όριο και έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ορισμένη απόσταση σε μια επίπεδη κάθετη, εκτεθειμένη επιφάνεια.

**Ραδιοχρονολόγηση.** Αποκλίσεις της ισοτοπικής αναλογίας σε υφάλμυρα νερά μπορεί να προκαλέσει προβλήματα.

Ανύψωση αργή / γρήγορη (συν-σεισμική). Όπως και τα μονήρη vermetids, τα balanids είναι άριστοι δείκτες για συν - σεισμικά γεγονότα που έχουν οδηγήσει σε ανύψωση ακτογραμμών σε υφάλμυρες περιοχές ή σε λιμάνια. Σε μέρη όπου η ηπειρωτική διάβρωση ήταν ενεργή μετά την ανύψωση της ακτογραμμής όταν δεν υπάρχουν βιολογικά υπολείμματα στην εξωτερική επιφάνεια του βράχου, πολλά balanids είναι δυνατόν να διατηρούνται ακόμα στο

εσωτερικό των διακλάσεων και σε ρωγμές στους τοίχους του λιμανιού, μαζί με σωλήνες serpulid και άλλα είδη που συνήθως προστατεύονται εκεί.

**Βύθιση.** Τα Balanids δεν είναι ιδανικά για τη μελέτη βυθισμένων περιοχών με σημαντική. Εξαίρεση αποτελούν τα πληρωμένα με ιζήματα λιμάνια όπου το ανώτατο όριο των πληθυσμών balanid μπορεί να έχει διατηρηθεί μέσα στο ίζημα.

Υποδείξεις. Όταν μια γραμμή των νεκρών Balanids βρεθεί σε ένα ανυψωμένο κρηπίδωμα ή σε τεχνητές κατασκευές, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στο περιβάλλον ιζηματογένεσης. Αν τα απολιθώματα είναι χωρίς ίζημα (μια συχνή περίπτωση σε ανυψωμένα λόγω σεισμικής δραστηριότητας λιμάνια), τότε η χρονολόγηση των κελυφών, θα δώσει την ηλικία της ανύψωσης. Αντιθέτως, εάν βρεθεί σε περιοχή πληρωμένη με ιζήματα, τα κελύφη θα δώσουν ηλικίες της τελευταίας περιόδου που το λιμάνι ήταν γεμάτο με θαλασσινό νερό, δηλαδή, την ηλικία εγκατάλειψης ενός λιμανιού σήμερα πληρωμένου με ιζήματα ή την ηλικία της τεχνητής πλήρωσης με σκοπό την αστική ανάπτυξη (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 6.2.8 Corals

Τα κοράλλια έχουν χρησιμοποιηθεί σαν βιολογικοί δείκτες μεταβολών θαλάσσιας στάθμης σε αρκετές μελέτες. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα είδη στον τροπικό Ατλαντικό είναι τα *Acropora palmata* των οποίων οι αποικίες αναπτύσσονται στα πρώτα 5m από τη μέση στάθμη και είναι εύκολο να εντοπιστούν σε απολιθωμένο υλικό.

Κάθετο εύρος Γενικά αρκετά μεγάλο.

**Υψομετρική ακρίβεια** είναι περίπου ± λίγα μέτρα, αλλά μπορεί να βελτιωθεί από μια λεπτομερέστερη ανάλυση του σχήματος των αποικιών και της συναφούς πανίδας. Οι αποικίες των επίπεδων κοραλλιών (μικροατόλες) που ζουν σε επίπεδους υφάλους, είναι άριστοι δείκτες της στάθμης της θάλασσας, εφόσον αναπτύσσονται σε ανοικτές θάλασσες και όχι σε περιορισμένα νερά. Όπως είδαμε παραπάνω, η εντός του γένους των κοραλλιών ποικίλη μεταβλητότητα της μορφολογίας μπορεί να είναι χρήσιμη για την εκτίμηση των οικολογικών αλλαγών (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

# 7. Χρονολόγηση βιολογικών δεικτών στάθμης θάλασσας

# 7.1 Ραδιενεργός άνθρακας ( $^{14}$ C)

Γενικά θεωρείται ότι το αραγωνιτικό υλικό των κελυφών που ζουν σε θαλασσινό νερό με μεγάλη κινητικότητα κοντά η στην επιφάνεια είναι κατάλληλο για ανάλυση με ραδιοάνθρακα. Ασβεστοφύκη όπως *Lithophyllum lichenoides* έχουν επίσης αποδειχθεί εύκολα στη χρονολόγηση παρά την παρουσία εσωτερικού αποτεθειμένου υλικού και μικριτικού συνδετικού υλικού. Η πρόσφατη ανάπτυξη άμεσων υπολογιστικών μεθόδων (Tandetron) που επιτρέπουν τη χρονολόγηση των μικρών θραυσμάτων κελυφών έκανε την απόλυτη χρονολόγηση δυνατή σε θέσεις όπου δεν υπάρχουν είδη που δομούν υφάλους αλλά και σε πιθανές μολύνσεις από άλλες πηγές άνθρακα (παράγραφος 7.2, σελ52). Σε κάθε περίπτωση απαιτείται μια προσεκτική επιλογή των δειγμάτων στο πεδίο όπως και η λεπτομερής απομάκρυνση κάθε είδους δευτερογενούς απόθεσης εσωτερική ή εξωτερικής (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

O <sup>14</sup>C υπάρχει στην ατμόσφαιρα και ενσωματώνεται σε ζωντανούς οργανισμούς με την ίδια συγκέντρωση με την οποία απαντάται στην ατμόσφαιρα. Μετά το θάνατο του οργανισμού αρχίζει η ραδιενεργός διάσπαση του <sup>14</sup>C και η ραδιοχρονολόγηση χρησιμοποιεί τη διάσπαση του ανθρακικού ισοτόπου για να χρονολογήσει ανθρακικά υλικά, συμπεριλαμβανομένων διατηρημένων οργανικών υλικών όπως ξύλο, κόκαλο, τύρφη και κελύφη οστράκων. Ο χρόνος ημιζωής του <sup>14</sup>C υπολογίστηκε το 1940 σε 5.568 χρόνια και έτσι μετρώντας την ποσότητα <sup>14</sup>C που έχει μείνει στο δείγμα μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που πέρασε από το θάνατό του. Στην πραγματικότητα ο χρόνος ημιζωής είναι 5.730 χρόνια. Ο αρχικός μη ακριβής υπολογισμός όμως του χρόνου ημιζωής χρησιμοποιείται ακόμα για να γίνεται σύγκριση με ηλικίες ραδιοάνθρακα από νεότερες μελέτες. Ο υπολογισμός του <sup>14</sup>C σε δείγμα επιτυγχάνεται είτε με την συμβατική τεχνική της μέτρησης ραδιενεργών σωματιδίων που εκπέμπονται από το δείγμα (conventional τεχνική) ή με απευθείας μέτρηση των ατόμων <sup>14</sup>C στο δείγμα χρησιμοποιώντας τη φασματομετρία με επιταχυντή μάζας, μια τεχνική που ονομάζεται AMS(Accelerator Mass Spectrometry) (Haslett, 2000).

## 7.1.1 Η χρονολόγηση θαλάσσιων οργανισμών

Η βάση της τεχνικής ραδιοχρονολόγησης με άνθρακα είναι ευρέως γνωστή και χρησιμοποιείται εκτεταμένα για τον προσδιορισμό της ηλικίας γεωλογικών και αρχαιολογικών ανθρακικών υλικών μεταξύ περίπου 55.000 χρόνων πριν από σήμερα έως σήμερα. Στην περίπτωση δειγμάτων, τα οποία σχηματίστηκαν σε περιβάλλον ισοτοπικής

ισορροπίας με το ατμοσφαιρικό CO<sub>2</sub> η βαθμονόμηση γίνεται με μεγάλη ακρίβεια. Η κατάσταση όμως περιπλέκεται, όταν πρέπει να βαθμολογηθούν ηλικίες δειγμάτων που σγηματίστηκαν σε άλλες δεξαμενές ανταλλαγής του άνθρακα, όπως η θάλασσα (Φακορέλλης & Μανιάτης, 2011). Σε τέτοιες περιπτώσεις, δηλαδή όταν χρονολογούμε θαλάσσιους οργανισμούς, απαιτείται μια διόρθωση (ΔR), για να επιτραπεί η έγκυρη σύγκριση των αποτελεσμάτων με δείγματα που είναι σε ισορροπία με τις ατμοσφαιρικές και χερσαίες αποθήκες άνθρακα. Υπάργει μια καθυστέρηση στην ανταλλαγή άνθρακα μεταξύ της ατμόσφαιρας και των ωκεανών αλλά η πιο σημαντική επιρροή είναι η ανάμειξη των επιφανειακών νερών με νερό απεμπλουτισμένο σε  $^{14}$ C από τον βαθύ ωκεανό. Κατά μέσο όρο η πρότυπη διαφορά μεταξύ της δραστηριότητας του <sup>14</sup>C των παγκόσμιων θαλάσσιων ταμιευτήρων και των χερσαίων ταμιευτήρων είναι ισοδύναμο με 400 χρόνια <sup>14</sup>C. Χρησιμοποιώντας το INTCAL που είναι σύνολο δεδομένων θαλάσσιας βαθμονόμησης και κατάλληλο λογισμικό, είναι δυνατό να γίνει βαθμονόμηση των ηλικιών ραδιοχρονολόγησης και έτσι να διορθωθούν οι επιπτώσεις των ταμιευτήρων. Η καμπύλη θαλάσσιας βαθμονόμησης διαμορφώνεται σύμφωνα με την χερσαία βαθμονόμηση χρησιμοποιώντας το μοντέλο του απλού κουτιού διάχυσης. Συγκεκριμένη έρευνα στην περιοχή της Μεσογείου έχει υπολογίσει την τιμή 53±43 χρόνια για την απόκλιση του τοπικού ταμιευτήρα της Μεσογείου από το πρότυπο των ωκεανών παγκοσμίως χρησιμοποιώντας δεδομένα γνωστής ηλικίας από την ανατολική Μεσόγειο. Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται για την βαθμονόμηση των ηλικιών που έχουν προσδιοριστεί για την εν λόγω περιοχή με ραδιοάνθρακα (Shaw et al, 2010).

# 7.1.2 Οι αβεβαιότητες της χρονολόγησης με $^{14}C$

Παρόλο που η ραδιοχρονολόγηση είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται πολύ, υπάρχουν και σε αυτή κάποιες αβεβαιότητες. Η μελέτη των δακτυλίων των δέντρων έδειξε ότι τα έτη ραδιοάνθρακα δεν είναι ίδια με τα ημερολογιακά έτη. Για δείγματα ηλικίας παλαιότερης των 2000 ετών φαίνεται ότι ο ραδιοάνθρακας χρονολογεί ηλικίες νεότερες από αυτές που θα έπρεπε. Για παράδειγμα μια ηλικία ραδιοάνθρακα περίπου 6000 έτη στην πραγματικότητα προσεγγίζει τα 7000 ημερολογιακά έτη. Έτσι οι ηλικίες ραδιοάνθρακα βαθμονομήθηκαν με τις μελέτες των δακτυλίων των δέντρων και συνεπώς όλες οι ηλικίες ραδιοάνθρακα είναι τώρα βαθμονομημένες και δίνονται σαν ημερολογιακά έτη πριν από σήμερα (cal.yrs BP). Άρα η βαθμονόμηση μιας ηλικίας ραδιοάνθρακα είναι η μετατροπή της σε ημερολογιακή και γίνεται με καμπύλη υψηλής βαθμονόμησης από δενδροδακτυλίως.

Επίσης όλες οι ηλικίες ραδιοάνθρακα περιέχουν ένα εύρος σφάλματος και για το λόγο αυτό πάντα σημειώνονται με το ±. Στο επίπεδο 1σ (μια τυπική απόκλιση) υπάρχει 69% πιθανότητα η ηλικία του δείγματος να ταυτίζεται με την ηλικία που πήραμε από τη ραδιοχρονολόγηση και στο επίπεδο 2σ (τυπική απόκλιση 2σ) υπάρχει πιθανότητα 95% η ηλικία να είναι σωστή (Haslett, 2000).

## 7.1.3 Η επιλογή του δείγματος για ραδιοχρονολόγηση

Η επιλογή του δείγματος για ραδιοχρονολόγηση απαιτεί μελέτη σε βάθος. Καταρχήν θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το θέμα της μόλυνσης, και δεύτερον το θέμα της προέλευσης του ανθρακικού υλικού. Με δεδομένο το υψηλό κόστος για τη χρονολόγηση με ραδιοάνθρακα, αυτά τα ζητήματα θα πρέπει να ληφθούν υπόψη (Haslett, 2000).

## 7.2 AMS (Accelerator Mass Spectrometry)

Η τεχνική AMS (φασματομετρία με επιταχυντή μάζας) κάνει απευθείας υπολογισμό και δεν στηρίζεται σε ραδιενεργές εκπομπές οπότε είναι περισσότερο ακριβής και μπορεί να εφαρμοστεί και σε πολύ μικρά δείγματα (Haslett, 2000). Αν έχουμε για παράδειγμα ένα δείγμα κελύφους οστράκου, ένα τμήμα από το κέλυφος πρέπει να απομονωθεί από τον περιβάλλοντα βράχο και να καθαριστεί μηχανικά με αμμοβολή με σκόνη αλουμίνας, προκειμένου να αρθούν τυχόν μολύνσεις από εξωτερικό άνθρακα που προέρχονται από τον ίδιο τον βράχο ή / και από τις επιχωματώσεις. Κάθε κομμάτι πρέπει να διηθηθεί σε υδροχλωρικό οξύ μέχρι πάνω από το 50% του βάρους του δείγματος να απομακρυνθεί. Τα αποτελέσματα των ηλικιών που λαμβάνονται και από αυτή τη μέθοδο θα πρέπει να μετατραπούν σε βαθμονομημένες ημερομηνίες, οι οποίες λαμβάνονται με τη χρήση της καμπύλης βαθμονόμησης των θαλάσσιων δειγμάτων. Αυτή η καμπύλη βαθμονόμησης απαιτεί καλή γνώση της επίδρασης της θάλασσας, η οποία εξαρτάται έντονα από την εξεταζόμενη ωκεάνια περιοχή και τις τοπικές συνθήκες της κυκλοφορίας του ύδατος. Η επίδραση του αποθηκευμένου άνθρακα λαμβάνεται υπόψη με τη χρήση μιας τιμής ΔR, η οποία αντικατοπτρίζει τη διαφορά μεταξύ της πιθανής ηλικίας του ραδιενεργού άνθρακα του επιφανειακού νερού σε μια συγκεκριμένη ωκεάνια περιοχή και της μέσης ηλικίας ραδιενεργού άνθρακα των 400 ετών των επιφανειακών υδάτων των παγκόσμιων ωκεανών που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της θαλάσσιας καμπύλης βαθμονόμησης (Stiros et al, 1992).

# 7.3 U/Th

Λόγω της γρήγορης απομάκρυνσης / διάσπασης του <sup>14</sup>C, η ραδιοχρονολόγηση δεν χρησιμοποιείται σε υλικό παλαιότερο από 60.000 χρόνια, ενώ για υλικό παλαιότερο από 20.000 χρόνια υπάρχει πιθανότητα πολύ μεγάλου λάθους. Έτσι λοιπόν για τέτοιες χρονολογήσεις απαιτούνται άλλες μέθοδοι. Η μέθοδος Ουρανίου-Θορίου μοιάζει με αυτή του ραδιοάνθρακα, δηλαδή βασίζεται στη ραδιενεργό διάσπαση των ισοτόπων του ουρανίου, του θορίου και του ραδονίου σε ένα άλλο σταθερό ισότοπο. Η διαδικασία της διάσπασης είναι πολύ μεγαλύτερης διάρκειας και έτσι παλαιότερες αποθέσεις που σχετίζονται με ουράνιο μπορούν να χρονολογηθούν, συμπεριλαμβανομένου ανθρακικού υλικού όπως κοράλλια και σπηλαιοαποθέσεις (Haslett, 2000).

## 8. Η χρήση του είδους Lithophaga

# 8.1 Παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση ραδιενεργού άνθρακα για τον προσδιορισμό ηλικίας lithophagid

Οι δύο παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση του ραδιενεργού άνθρακα για τον προσδιορισμό της ηλικίας των lithophagid, είναι πολύ σημαντικοί στην Κρήτη και στην κεντρική Ελλάδα, και μπορούν να οδηγήσουν σε ηλικίες μέσω ραδιοχρονολόγησης έως και 2000 χρόνια παλαιότερες από το γεγονός ανύψωσης που έφερε τα υπολείμματα των οργανισμών αυτών στη θέση που βρίσκονται σήμερα. Η κατανόηση αυτών των παραγόντων είναι σημαντική επειδή τα lithophagids χρησιμοποιούνται για τη χρονολόγηση της ανύψωσης βραχωδών ακτογραμμών περισσότερο από άλλους θαλάσσιους οργανισμούς κυρίως διότι τα άτομα αυτά συνήθως είναι πολλά και πολύ καλά διατηρημένα.

Οι παράγοντες αυτοί προέκυψαν από τη μελέτη του μεγάλου σεισμού (Mw>8) του 365μX που έπληξε την ανατολική Μεσόγειο. Αυτός ο σεισμός εδώ και πολύ καιρό θεωρούνταν η αιτία της κλίσης που είχε η ακτογραμμή στην δυτική Κρήτη και της ανύψωσης μιας παλαιοακτής σε ύψος έως περίπου 10m. Σε μια προσπάθεια να επιβεβαιωθεί ότι αυτή η ανύψωση πραγματικά συνέβη με ένα μόνο συμβάν και όχι σταδιακά κατά την διάρκεια μιας μακράς περιόδου τεκτονικής ανύψωσης πραγματοποιήθηκαν ραδιοχρονολογήσεις σε υπολείμματα θαλάσσιων οργανισμών που βρίσκονταν μεταξύ της ανυψωμένης παλαιοακτογραμμής και της σύγχρονης στάθμης θάλασσας. Διαπίστωσαν ότι τα κοράλλια και τα βρυόζωα έδωσαν ηλικίες ραδιοχρονολόγησης σύμφωνες με την ανύψωση του μεγάλου ιστορικού σεισμού του 365μΧ (με διορθώσεις και με μετατροπές που ακολούθησαν από τις Αλλά επίσης έγιναν του ραδιοάνθρακα σε ημερολογιακά έτη). ηλικίες 14 ραδιοχρονολογήσεις σε ανυψωμένα Lithophaga, όλες από τις οποίες έδωσαν ηλικίες πολύ παλαιότερες από το 365μΧ (έως και 2000χρόνια) και οι οποίες εμφάνισαν μια απόκλιση (μεγάλο εύρος) ηλικιών από αυτές των κοραλλιών και των βρυόζωων. Τα Lithophaga είναι διαδεδομένα και άφθονα στη Μεσόγειο και στο Αιγαίο πέλαγος και συχνά διατηρούνται σε ανυψωμένες ακτογραμμές πολύ περισσότερο από τα κοράλλια κα τα βρυόζωα. Κατά συνέπεια συχνά χρησιμοποιούνται για να υπολογιστεί ο ρυθμός ανύψωσης και η διαφορά μεταξύ των ηλικιών τους με αυτή των κοραλλιών και των βρυόζωων. Υπάρχει λοιπόν μια σοβαρή ανησυχία που θέτει το ζήτημα των ορίων μέχρι τα οποία οι ηλικίες τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εντοπιστεί το ποσό της ανύψωσης ή ο χρόνος συγκεκριμένων γεγονότων ανύψωσης (Shaw et al, 2010).

## 8.1.1 Παλαιότερες αποικίες και δυναμικό διατήρησης

Τα Lithophaga φτιάχνουν αποικίες σε ασβεστολιθικά πετρώματα και ανοίγουν οπές σε αυτά, ξεκινώντας από την επιφάνεια ως νεαρά άτομα και τρυπώντας βαθύτερα μέσα στον ασβεστόλιθο ως ενήλικες. Οι είσοδοι στις οπές είναι συνεπώς μικρότερες από ό, τι το κέλυφος των ενήλικων, γεγονός που σημαίνει ότι το κέλυφος είναι συχνά δύσκολο να αποσπαστεί μετά το θάνατο, με αποτέλεσμα αυτό να ενισχύει σε μεγάλο βαθμό την διατήρησή τους. Ένα παράδειγμα σύγχυσης λόγω ανάμειξης δύο γενεών Lithophaga αποτελεί ακτή του Ευβοϊκού. Στην περίπτωση αυτή οργανισμοί του είδους μεταγενέστερων γενεών τρύπησαν το υλικό που είχε κλείσει τις οπές που είχαν δημιουργήσει παλαιότερες γενιές (Εικόνα 3, a, b). Αυτό δείχνει ότι στην ίδια θέση στο προφίλ ενός κρημνού, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν διαχρονικά αποικίες για μεγάλο χρονικό διάστημα. Σε ένα παράδειγμα από τη δυτική Κρήτη, το κέλυφος των lithophagid πρόσφερε προστασία για ένα άλλο επίμηκες δίθυρο είδος, το οποίο βρέθηκε να καταλαμβάνει το κενό κέλυφος (Εικόνα 3, Πολλά από τα κοράλλια και τα βρυόζωα που συλλέχθηκαν στη δυτική Κρήτη c, d). βρέθηκαν επίσης στις προστατευμένες κενές οπές των Lithophaga (Εικόνα 3, e), γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι υπήργαν γενιές lithophagids στο βράγο πριν τα κοράλλια και τα βρυόζωα εγκατασταθούν εκεί.

Αντίθετα, σε άλλες θέσεις όπου βρέθηκαν ανυψωμένα κοράλλια και βρυόζωα, ήταν σαφώς μεταγενέστερες αποικίες, και ανήκουν στην τελευταία φάση πριν από την ανύψωση. Μεγάλωσαν στην κορυφή όλων των άλλων ειδών που δημιουργούν κρούστες και ανοίγουν οπές, και δεν μπορούσαν να διατηρηθούν καλά τόσο λόγω της λεπτής τους, σαν ραβδί, δομής όσο και επειδή προσκολλώνται και προεξέχουν από τον ασβεστόλιθο γεγονός που τους κάνει να αποσπώνται πολύ πιο εύκολο σε σχέση με τα κελύφη των lithophagid (Εικόνα 3, f).

Αν η διαφορά στο χρόνο εποίκησης και οι δυνατότητες διατήρησης ήταν οι μοναδικές αιτίες της διαφοράς στην ηλικία μεταξύ του ραδιενεργού άνθρακα κοραλλιών-βρυόζωων και των lithophagids, θα ανέμενε κάποιος ηλικίες ανύψωσης που περιορίζονται από τα κοράλλια και τα βρυόζωα, ενώ τα lithophagids θα έπρεπε να έχουν ένα ευρύ φάσμα ηλικιών, από περίπου 6000 χρόνια πριν από σήμερα (όταν το επίπεδο της θάλασσας σταθεροποιήθηκε σχετικά στο σημερινό της επίπεδο μετά το μέγιστο της τελευταίας παγετώδους περιόδου) έως την ηλικία που έλαβε χώρα η ανύψωση. Τα lithophagids πράγματι εμφανίζουν ένα αρκετά ευρύτερο φάσμα ηλικιών σε σχέση με τα κοράλλια και τα βρυόζωα, αλλά υπάρχει επίσης και μια μετατόπιση 350 περίπου ετών μεταξύ των νεότερων ηλικιών lithophagid και του μέσου όρου ηλικιών των κοραλλιών-βρυόζωων. Οι συνέπειες του εποικισμού και η διατήρηση μπορούν να εξηγήσουν το μεγαλύτερο εύρος των ηλικιών lithophagid σε σύγκριση με αυτές των

κοραλλιών-βρυόζωων, αλλά δεν μπορεί να ερμηνεύσει τη σταδιακή μετατόπιση (Shaw et al, 2010).



**Εικόνα 3 : Ανάπτυξη μεταγενέστερων γενεών οργανισμών στις οπές που έχουν διανοιχτεί από lithophagid.** Πηγή : B. Shaw, J.A. Jackson, T.F.G. Higham, P.C. England, A.L. Thomas, Radiometric dates of uplifted marine fauna in Greece: Implications for the interpretation of recent earthquake and tectonic histories using lithophagid dates, Earth and planetary science letters 297, Elsevier, 2010, p. 399

# 8.1.2 Ενσωμάτωση παλαιού άνθρακα στα κελύφη

Σε γενικές γραμμές, τα δίθυρα για να φτιάξουν τα κελύφη τους χρησιμοποιούν άνθρακα από δύο πηγές :

1) Ο μεταβολικός άνθρακας, που προέρχεται από τα τρόφιμα, και

2) Ο διαλυμένος ανόργανος άνθρακας, που προέρχεται από το θαλάσσιο νερό.

Η κατασκευή του κελύφους έχει μελετηθεί εκτενώς στο εδώδιμο μύδι Mytilus edulis, το οποίο φτιάχνει το κέλυφός του με λιγότερο από 10% μεταβολικού άνθρακα. Το Mytilus edulis ανήκει στην ίδια οικογένεια με τα Lithophaga οπότε το ποσοστό αυτό φαίνεται να είναι ένας λογικός μέσος όρος γενικά για τα δίθυρα μαλάκια, αν και η μέγιστη παρατηρούμενη αναλογία του μεταβολικού άνθρακα σε ένα κέλυφος δίθυρων είναι 35%. Το υπόλοιπο του άνθρακα του κελύφους, και ως εκ τούτου το μεγαλύτερο μέρος, προέρχεται από  $HCO_3^-$  και τις εκπομπές  $CO^{2-3}$  – από το γύρω νερό.

Μία ιδιαιτερότητα της περίπτωσης των lithophagids είναι ότι επειδή τρυπούν χημικά το πέτρωμα, απελευθερώνονται διττανθρακικά ιόντα των οποίων η δραστηριότητα του <sup>14</sup>C αντανακλά την ηλικία της βραχώδους μάζας πάνω στην οποία αναπτύσσονται οι οργανισμοί, και όχι την ηλικία του ίδιου του οργανισμού. Εάν οποιοσδήποτε από αυτούς τους άνθρακες ενσωματωθεί στο κέλυφος των lithophagid, τότε το ποσοστό των <sup>14</sup>C έως <sup>12</sup>C στο κέλυφος θα είναι μικρότερο από ένα κέλυφος που είχε αναπτυχθεί μόνο από το θαλασσινό νερό, δίνοντας

έτσι σε μια εσφαλμένη μεγαλύτερη της πραγματικής ηλικία ραδιοάνθρακα. Συνεπώς εάν το ασβεστολιθικό πέτρωμα του παράκτιου κρημνού λειτουργεί ως πηγή άνθρακα για τα κελύφη τους, τότε αυτά τα κελύφη θα έχουν ηλικία χρονολόγησης που είναι μεγαλύτερη από ό, τι η πραγματική τους ηλικία. Με έναν παρόμοιο τρόπο, τα λιμναία μαλάκια είναι δυνατόν να δώσουν μεγαλύτερες των πραγματικών ηλικίες, όταν ραδιοχρονολογηθούν, αν ο <sup>14</sup>C αραιωθεί από το διαλυμένο διττανθρακικό των πολύ παλαιάς ηλικίας ασβεστολιθικών βράχων που αναπτύσσονται στη λεκάνη απορροής της λίμνης (Shaw et al, 2010).

## 8.2 Υποδείξεις για την επιλογή κελυφών Lithophaga.

(1) Θα πρέπει να προτιμώνται οι πληθυσμοί *Lithophaga* με ένα σαφές οριζόντιο άνω όριο (ή να συνδέονται με μια εγκαταλελειμμένη - απολιθωμένη εγκοπή διάβρωσης).

(2) Οι οπές που επιλέγονται θα πρέπει να έχουν διανοιχθεί στο φυσικό βράχο μακριά από πηγές λεπτόκοκκων ιζημάτων όπως μια παραλία ή οι εκβολές ενός ποταμού. Θα πρέπει να προτιμώνται υπολείμματα κελυφών που δεν αποτελούν μέρος υλικού ιζηματογένεσης.

(3) Πρέπει να αποφεύγεται η συλλογή κελυφών από οπές που βρίσκονται κοντά σε καρστικές πηγές γλυκού νερού και

(4) Η ανυψωμένη επιφάνεια του πετρώματος της βραχώδους ακτής δεν πρέπει να καλύπτεται από στρώμα νεκρών ενδοβιωτικών ασπόνδυλων (τρηματοφόρα, Serpulidae και πεταλίδες), που δείχνει ότι τα Lithophaga δεν αναπτύχθηκαν σε μια επιφάνεια κρημνού, αλλά σε ένα κρυφό / περιορισμένο περιβάλλον, όπως μια ρωγμή που αργότερα άνοιξε από τη διάβρωση.

Υπό την προϋπόθεση ότι ακολουθούνται οι υποδείξεις αυτές στην επιλογή των δειγμάτων που θα συλλεχθούν για ραδιοχρονολόγηση, τα κελύφη *Lithophaga* που διατηρούνται μέσα στις οπές τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία ως δείκτες των γρήγορων αλλαγών της στάθμης της θάλασσας και να θεωρηθούν καλοί δείκτες συν-σεισμικών κινήσεων (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

# 8.3 Η αξιοποίηση οπών των Lithophaga και η ακρίβεια της χρήσης τους σαν δείκτες στάθμης θάλασσας

Το μύδι Lithophaga lithophaga (L.) που διαβιεί στη Μεσόγειο μπορεί να βρεθεί σε οπές το βάθος των οποίων ποικίλει αποδεικνύοντας ότι η φύση και η λιθολογία του βράχου ευνοεί την ανάπτυξή του (σκληροί ή μαλακοί ασβεστόλιθοι και ασβεστιτικοί ψαμμίτες). Το μέγιστο μέγεθος του κελύφους σε ενήλικα άτομα έχει φθάσει μέχρι και 10cm. Στο τέλος του σταδίου της κολύμβησης των προνυμφών, μικροί οργανισμοί εγκαθίστανται στους παράκτιους

βράχους και αρχίζουν να σκάβουν ενεργά σε αυτό με συνδυασμό χημικής και μηχανικής δράση. Οι οπές είναι ατρακτοειδείς στο εξωτερικό περίγραμμα με μια κυκλική ή ελαφρώς ελλειπτική και λεία εσωτερική επιφάνεια. Μετά από μερικά χρόνια η επιφάνεια του βράχου γεμίζει με πολλές πρώτης γενιάς οπές. Όταν ένα άτομο πεθαίνει, στις δύο βαλβίδες του επιτίθενται ραγδαία νηματοειδή φύκη, δακτυλιοσκώληκες που ανοίγουν οπές και *clionid* σπόγγοι, και το καταστρέφουν, οπότε η εσωτερική επιφάνεια της οπής χαράσσεται από *clionids* και επανατρυπιέται από μια νέα γενιά *Lithophaga*, κάθετα προς τις οπές της πρώτης γενιάς. Σε μεταγενέστερο στάδιο ο μαλακός βράχος διαβρώνεται από τα εχινόδερμα (*Paracentrotus* και *Arbacia*), καταλήγοντας στην αποκαλυπτική μορφολογία μιας διαβρωτικής εγκοπής (μορφή χούφτας) με μέγεθος μερικών εκατοστών.

Αφού τα Lithophaga μπορούν να ζήσουν σε βάθος αρκετών δεκάδων μέτρων, η παρουσία των απολιθωμένων οπών γενικά θεωρείται ως ανακριβής δείκτης της θέσης της θαλάσσιας στάθμης την περίοδο που οι οργανισμοί ήταν στη ζωή. Αντίθετα όμως το ανώτατο όριο των ανυψωμένων οπών των Lithophaga, , μπορεί να προσφέρει αξιόπιστες πληροφορίες για το τότε επίπεδο της θάλασσας.

Προκειμένου να καθοριστεί η τοπική σχέση μεταξύ του ανώτατου ορίου ανάπτυξης και επιβίωσης των *Lithophaga* και του επιπέδου της στάθμης της θάλασσας, ελήφθησαν συστηματικά τεμάχη βράχου με μια σειρά χαρακτηριστικών, και διαπιστώθηκε ότι αυτό το ανώτατο όριο αντιστοιχεί με ακρίβεια στη ζώνη υποχώρησης της παλιρροιακής εγκοπής (Σχήμα 13), ή στο οριακό σημείο του παράκτιου πάγκου διάβρωσης, ή στο χαμηλότερο όριο της χαρακτηριστικής μορφολογίας που δημιουργείται από τη διαβρωτική δράση των πεταλίδων της μεσοπαλιρροιακής ζώνης (Stiros et al, 1992).



Σχήμα 13 : Τυπικό προφίλ βιολογικής δραστηριότητας και κατανομής ειδών σε ζώνες σε βραχώδεις ακτές που δομούνται από σκληρό ασβεστόλιθο

Πηγή : S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece, Earth and planetary science letters 108, Elsevier, 1992, p.111

Με άλλα λόγια, το ανώτατο όριο των οπών των *Lithophaga*, σε θέσεις όπου διατηρείται, αντιπροσωπεύει με άριστο τρόπο τη βιολογική και μορφολογική μέση στάθμη της θάλασσας την περίοδο που οι οργανισμοί ήταν εν ζωή. Οι μετρήσεις που γίνονται σε ανυψωμένες βραχώδεις ακτογραμμές λαμβάνονται μεταξύ του ανώτερου ορίου ζωντανών *Lithophaga* και του ανώτατο όριο των απολιθωμένων οπών, στο ίδιο φυσικά κάθετο προφίλ (Σχήμα 14). Σε αυτές τις συνθήκες, υπό την προϋπόθεση ότι το ανώτατο όριο των απολιθωμένων οπών στι το ανώτατο όριο των απολιθωμένων οπών, στο ίδιο φυσικά κάθετο προφίλ (Σχήμα 14). Σε αυτές τις συνθήκες, υπό την προϋπόθεση ότι το ανώτατο όριο των απολιθωμένων οπών είναι σαφώς ορατό και έχει προσδιοριστεί με ακρίβεια, εκτιμήθηκε ότι η μέση ακρίβεια εκτίμησης της στάθμης του παρελθόντος είναι +/- 10cm. Στις καλύτερες περιπτώσεις (ήρεμα νερά, χωρίς να έχει αναπτυχθεί εγκοπή) η ακρίβεια μπορεί να είναι πολύ μεγαλύτερη φτάνοντας μέχρι και +/-5cm (Stiros et al, 1992).



Σχήμα 14 : Μέτρηση ενός παλαιότερου ανυψωμένου επιπέδου της στάθμης της θάλασσας με τη βοήθεια των οπών των *Lithophaga* 

Πηγή : S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece, Earth and planetary science letters 108, Elsevier, 1992, p.111

## 9. Αναγνώριση συν σεισμικών μετατοπίσεων

Τα μορφολογικά αποτελέσματα της διάβρωσης και της βιοδόμησης που έχουν διαμορφωθεί από παλαιότερο επίπεδο της στάθμης της θάλασσας παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες για την αναπαράσταση της ιστορίας της στάθμης της θάλασσας του παρελθόντος. Μεταξύ των γεωμορφών που έχουν δημιουργηθεί από διάβρωση οι ανυψωμένες ή βυθισμένες παλιρροιακές εγκοπές δίνουν ποιοτικές πληροφορίες για την ταχύτητα (αργή, γρήγορη ή ξαφνική) της κάθετης μετατόπισης, προτείνοντας διάφορα σενάρια τεκτονικής δραστηριότητας που έχει επηρεάσει την εκάστοτε ακτή. Για να γνωρίσουμε το χρόνο της ανάπτυξής τους ή της ανύψωσης ή βύθισης, οι μορφές διάβρωσης θα πρέπει να σχετίζονται με κατάλληλα βιολογικά - οργανικά υλικά ή αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία μπορούν να χρονολογηθούν (Pirazzoli, 2005).

#### 9.1 Ανύψωση

Όταν μια ανύψωση της ξηράς είτε οφείλεται σε ευστατικά, ισοστατικά ή τεκτονικά αίτια, είναι αργή (με ένα ρυθμό που κυμαίνεται από λιγότερο από ένα χιλιοστό έως λίγα χιλιοστά ανά έτος), οι βιολογικοί δείκτες (οι παράκτιοι οργανισμοί και οι μορφές που προκαλεί η δράση τους) που ζουν στην υποπαλιρροιακή ζώνη πεθαίνουν με την ανύψωση της βραχώδους ακτής και τα υπολείμματά τους μεταφέρονται αργά στο επίπεδο της μεσοπαλιρροιακής ζώνης όπου για πολλά χρόνια υφίστανται τα αποτελέσματα της δράσης των μαλακίων patellacean και των cyanophytes που διανοίγουν οπές. Τέτοια μικρά βιολογικά μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως οι στεφάνες που διαμορφώνονται από vermetid, τα κοράλλια ή οι αποικίες βρυόζωων σταματούν να αναπτύσσονται και εξαφανίζονται σε χρονικό διάστημα λίγων ετών έως μερικών δεκαετιών. Αντίθετα οι δομές υφάλων (στεφάνες φυκών, vermetid και κοραλλιογενείς ύφαλοι), , αλλοιώνονται άλλοτε λιγότερο και άλλοτε περισσότερο, αλλά δεν καταστρέφονται, με αποτέλεσμα τα διαβρωμένα υπολείμματά τους να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες του επιπέδου στο οποίο βρισκόταν η στάθμη της θάλασσας την περίοδο της δημιουργίας τους. Τέτοιες ενδείξεις έχουν βοηθήσει σε μελέτες αναπαράστασης της στάθμης της θάλασσας σε πολλά παράκτια μέρη του κόσμου που χαρακτηρίζονται από την παρουσία υπερυψωμένων υφάλων ή δομών από φύκη.

Σε περίπτωση μιας πολύ γρήγορης ανύψωσης της ξηράς (που κατά κανόνα συνδέεται με ένα σεισμικό γεγονός), η διατήρηση των ανυψωμένων υπολειμμάτων στο μέτωπο της βραχώδους ακτής εξαρτάται τόσο από την ταχύτητα όσο και από το κατακόρυφο ύψος (Η) της μετατόπισης (Σχήμα 15). Εάν το (D) είναι μικρότερο ή ίσο με το εύρος (Η) της

60

μεσοπαλιρροιακής ζώνης (ιδιαίτερα σε ακτές που είναι εκτεθειμένες στη δράση των θαλάσσιων διεργασιών), τα εκτεθειμένα υπολείμματα μεταφέρονται ανοδικά στη νέα μεσοπαλιρροιακή ζώνη διάβρωσης και γρήγορα καταστρέφονται από τις διαβρωτικές διεργασίες, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Όταν το (D) είναι μεγαλύτερο από το (H) (όπως σε ένα ήρεμο παράκτιο βραχώδες περιβάλλον με μια μικρού εύρους μεσοπαλιρροιακή ζώνη), τα εύθραυστα κελύφη μεταφέρονται απευθείας στην ανώτερη μεσοπαλιρροιακή ζώνη ή την υπερπαλιρροιακή ζώνη όπου ο ρυθμός διάβρωσης από τις θαλάσσιες διεργασίες είναι πολύ πιο αργός, και έτσι μπορούν να διατηρηθούν για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Η καλή τους διατήρηση ευνοείται σε ξηρές περιοχές όπως η νότια Ελλάδα καθώς και όταν τα εύθραυστα κελύφη αναπτύσσονται σε μια κοιλότητα ή στο εσωτερικό μιας προεξέχουσας επιφάνειας της βραχώδους ακτής οπότε προστατεύονται από την άμεση επίδραση του νερού της βροχής. Τα ακριβή κριτήρια – ενδείξεις - που μαρτυρούν μια συν-σεισμική ανύψωση είναι δύσκολο να προσδιορισθούν επακριβώς, αλλά η διατήρηση των λεπτομερειών των βιολογικών και μορφολογικών υπολειμμάτων είναι γενικά η καλύτερη απόδειξη μιας ταχείας ανύψωσης.

(Laborel & Laborel-Deguen, 1994).



Σχήμα 15 : Διάγραμμα που δείχνει την τεκτονική ανύψωση παράκτιων τεμαχών με τη επακόλουθη διάβρωση της ανυψωμένης στεφάνης από vermetid από κατακόρυφες ανοδικές κινήσεις σταδιακά αυξανόμενου ύψους.

Αν η ανύψωση είναι μικρή (τέμαχος 2) τα dendropoma ανυψώνονται με αποτέλεσμα να μεταφερθούν στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη διάβρωσης οπότε καταστρέφονται από τις θαλάσσιες διαβρωτικές διεργασίες σε διάστημα λίγων ετών. Αν η ανύψωση είναι μεγαλύτερη (τεμάχη 3 και 4) τότε μέρος ή όλοι οι σωληνοειδείς σχηματισμοί dendropoma ανέρχονται στην υπερπαλιρροιακή ζώνη και διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα

Πηγή : J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Biological Indicators of Relative Sea-Level Variations and of Co- Seismic Displacements in the Mediterranean Region, Journal of Coastal Research, Vol. 10, No.2, Florida 1994, p. 400

## 9.1.1 Εξαιρέσεις στην αναγνώριση συν σεισμικών μετατοπίσεων

## 9.1.1.1 Η περίπτωση των ειδών της ανώτερης μεσοπαλιρροιακής ζώνης

Στην περίπτωση μιας ανοδικής τεκτονικής κίνηση μιας βραχώδους ακτογραμμής, τα σταθερά είδη που ζουν στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη χάνουν τη ζωή τους ακριβώς όπως αυτά της υποπαλιρροιακής ζώνης, αλλά τα υπολείμματά τους έχουν μικρότερη απόσταση να διανύσουν πριν μεταφερθούν στην υπερπαλιρροιακή ζώνη σε σχέση με εκείνα τα είδη που ζουν στην υποπαλιρροιακή ζώνη και, ως εκ τούτου, υπόκεινται στην μεσοπαλιρροιακή διάβρωση για μικρότερο χρονικό διάστημα. Επιπλέον αυτό σημαίνει ότι μπορούν να διατηρηθούν σε περίπτωση πιο αργής τεκτονικής ανοδικής κίνησης. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για κάποιους οργανισμούς οι οποίοι αναπτύσσονται στην ανώτερη μεσοπαλιρροιακή ζώνη, όπως οι πεταλίδες chthamalid. Τα είδη αυτά, ακόμη και μια πολύ μικρή τεκτονική ανύψωση της ξηράς θα φέρει τα υπολείμματά τους έξω από τη μεσοπαλιρροιακή διάβρωση ακόμη και αν δεν είναι μια ταχεία - απότομη - κίνηση. Τα είδη chthamalids διατηρούνται σε όλες τις περιπτώσεις ανοδικών κινήσεων της ακτής με αποτέλεσμα να μην αποτελούν ποτέ μια καλή απόδειξη συν-σεισμικής κίνησης, εκτός εάν και άλλοι τύποι δεικτών (μορφολογικών ή βιολογικών) οδηγούν σε τέτοιο συμπέρασμα (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

# 9.1.1.2 Η περίπτωση προστατευμένης από τις θαλάσσιες διεργασίες περιοχής και περιοχής καλυμμένης με ίζημα

Το κάθετο εύρος της μεσοπαλιρροιακής ζώνης σε προστατευμένες από τις θαλάσσιες διεργασίες περιοχές είναι πολύ περιορισμένο σε σχέση με τις εκτεθειμένες στην ανοιχτή θάλασσα περιοχές, οπότε η δράση της διάβρωσης στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη είναι αδύναμη. Τα ανυψωμένα βιολογικά – οργανικά υπολείμματα ενδέχεται έχουν διατηρηθεί εξαιρετικά και να δίνουν τη δυνατότητα πολύ ακριβών μετρήσεων και χρονολόγησης υπό την προϋπόθεση ότι η διάβρωση από τις εξωγενείς διεργασίες όπως η δράση της βροχής και του ανέμου δεν τα έχει αλλοιώσει σημαντικά. Η συν-σεισμική φύση της ανύψωσης της ακτής πρέπει να επιβεβαιώνεται από την απουσία ενδιάμεσων ενδείξεων σε πάγκους που να μαρτυρούν βιολογική επίθεση σε κελύφη στρειδιών κτλ. Σε θέσεις όπου λαμβάνει χώρα απόθεση ιζημάτων, όπως λιμάνια ή λιμνοθάλασσες, είτε από φυσικές διεργασίες ίζηματογένεσης είτε τεχνητά, η διατήρηση των εύθραυστων κελυφών – υπολειμμάτων οργανισμών μετά το θάνατό τους από ιζήματα ή τεχνητές επιχωματώσεις. Σε μια σταδιακά με σχετικά αργούς ρυθμούς ανυψούμενη ακτή, η απόπλυση των ιζημάτων από το νερό της βροχής ενδέχεται να αποκαλύψει λεπτομερή βιολογικά

σημάδια στάθμης θάλασσας, των οποίων η τέλεια διατήρηση μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη ερμηνεία συν-σεισμικής κίνησης. Το σφάλμα αυτό μπορεί γενικά να αποφευχθεί με μια ιζηματολογική μελέτη του περιβάλλοντος (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 9.1.1.3 Η περίπτωση της ενδοβιωτικής πανίδας

Οι οργανισμοί που ζουν σε ρωγμές ή κοιλότητες του παράκτιου βράχου είναι με φυσικό τρόπο προστατευμένοι από την μεσοπαλιρροιακή διάβρωση αφού διαβιούν σε ένα σκοτεινό περιβάλλον που τα κυανοβακτήρια που προκαλούν διάβρωση δεν μπορούν να αναπτυχθούν και τα μαλάκια που μπορούν να τα καταστρέψουν δεν προτιμούν τέτοια μικροπεριβάλλοντα καθώς δεν βρίσκουν τροφή. Έτσι τα σπασμένα ανυψωμένα πετρώματα της ακτής (ή η τοιχοποιία λιμανιών) συχνά μπορούν να φέρουν στο φως άριστα διατηρημένα υπολείμματα μικρών ενδοβιωτικών vermetids, balanids και serpulid σκώληκων σε θέσεις όπου κάθε άλλος τύπος βιολογικού υπολείμματος έχει εντελώς καταστραφεί από καιρό. Παρόμοια προβλήματα απαντήθηκαν αρκετές φορές κατά τη διάρκεια ερευνών σε Ελληνικές ακτές, ιδίως στον Κόλπο της Κορίνθου και στη δυτική ακτή του Ευβοϊκού κόλπου. Σε τέτοιες περιπτώσεις, είναι γενικά δύσκολο να προσδιοριστεί το υψόμετρο αναφοράς με την αντίστοιχη στάθμης της θάλασσας εκτός εάν μπορεί να ανιχνευτεί το άνω όριο των ενδοβιωτικών πληθυσμών (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

# 9.1.2 Ελάχιστη ταχύτητα μιας συν-σεισμικής κίνησης

Οι ερωτήσεις που παραμένουν σε μελέτες συν-σεισμικών μετατοπίσεων της ακτής είναι : Ποια είναι η ελάχιστη ταχύτητα μιας συν-σεισμικής κίνησης, και που πρέπει να τεθεί το όριο μεταξύ της «Ταχεία νεοτεκτονικής» και της «συν-σεισμικής» κίνησης;

Η απάντηση στο ερώτημα αυτό μπορεί να δοθεί μερικές φορές τουλάχιστον για τις παράκτιες περιοχές από τη μελέτη των βιολογικών δεικτών. Ο χώρος της σεισμικά ενεργής ανατολικής Λεκάνης της Μεσογείου αποτελεί μια περιοχή όπου έχουν λάβει χώρα πολλές κοντινών στιγμιαίες ανυψώσεις ακτών υπό τη δράση σεισμών. Σε μια βραχώδη ακτή εκτεθειμένη στις θαλάσσιες διεργασίες όπως αυτή της δυτικής Κρήτης, τη διατήρηση των υπολειμμάτων ευαίσθητων ειδών όπως τα βρυόζωα ή τα μικρά κοράλλια με όλα τους τα στοιχεία είναι τόσο τέλεια που αυτά τα υπολείμματα δεν θα μπορούσαν να είχαν εκτεθεί στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη για περισσότερο από μερικές ώρες ή ακόμα και λιγότερο, αν το νερό ήταν τρικυμιώδες τη στιγμή του σεισμού. Αντιστρόφως, καλά διατηρημένα στρείδια ή κελύφη *Lithophaga* που συνδέονται με ένα διαταραγμένο μορφολογικό προφίλ παράκτιου κρημνού είναι άριστοι

δείκτες τεκτονικών κινήσεων, αλλά η ανύψωση μπορεί να διήρκησε μερικές ώρες, εβδομάδες ή μήνες. Ένας μέτριος βαθμός διάβρωσης σε ένα διαταραγμένο προφίλ υποδηλώνει μια γρήγορη κίνηση, τεκτονική, αν και μπορεί να εμφανίστηκε με αργό ρυθμό (ή ακόμα και να μην έγινε αντιληπτή) από τον σύγχρονο παρατηρητή. Σε ορισμένες περιπτώσεις, γραπτά ιστορικά αρχεία, όπως αυτά που υπάρχουν για το λιμάνι της Σελεύκειας στην Πιερία μπορούν να παρέχουν σημαντικές πληροφορίες οι οποίες ενισχύουν τις βιολογικές ενδείξεις (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 9.1.3 Αποδείζεις στιγμιαίας συν - σεισμικής ανύψωσης μιας ακτογραμμής

## 9.1.3.1 Πολύ ισχυρές αποδείζεις

Πολύ ισχυρές ενδείξεις συν-σεισμικής ανύψωσης μιας βραχώδους ακτογραμμής είναι τα ανυψωμένα υποπαλιρροιακά γαρακτηριστικά που είναι τέλεια διατηρημένα, συμπεριλαμβανομένων των λεπτομερειών των σκελετών οργανισμών των παράκτιων πετρωμάτων μιας βραχώδους ακτής εκτεθειμένης στη θραύση των κυμάτων. Παραδείγματα τέτοιων ενδείξεων αποτελούν οι περιοχές της δυτικής ακτής της Κρήτης, η Ρόδος, ή νότια Κεφαλονιά. Οι γραμμές που αποτελούν το ανώτερο όριο των ανυψωμένων οπών των Lithophaga που έχουν διατηρήσει μέσα σε αυτές το κέλυφός τους αποτελεί μια πολύ καλή απόδειξη με την προϋπόθεση ότι τα κελύφη δεν αναπτύχθηκαν σε ένα περιβάλλον ενδοβιωτικό ή με την προϋπόθεση ότι δεν προστατεύτηκαν από ιζήματα που τα κάλυψαν και στη συνέχεια αποκαλύφτηκαν με την απομάκρυνση των αποθέσεων (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 9.1.3.2 Αδύναμες αποδείζεις.

Υπάρχουν περιπτώσεις παράκτιων κρημνών όπου καλά διατηρημένα ανυψωμένα υπολείμματα είναι αυτά των μεσοπαλιρροιακών ή ενδοβιωτικών ειδών. Πρέπει όμως στη συνέχεια να αναζητηθούν πρόσθετα στοιχεία όπως η κατακόρυφη ασυνέχεια των υπολειμμάτων των ανυψωμένων πληθυσμών ή η παρουσία μορφολογικών δεικτών, όπως εγκοπές (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 9.1.3.3 Δεν υπάρχουν καθόλου αποδεικτικά στοιχεία.

Θέσεις όπου, για παράδειγμα, ανυψωμένα *Chthamalus* είναι οι μοναδικοί δείκτες της ανύψωσης (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

## 9.1.4 Αποδείξεις αργής ανύψωσης

Αυτή η περίπτωση φαίνεται να είναι σπάνια στην περιοχή της Μεσογείου. Θα μπορούσε να συμπεράνει κανείς την αργή ανοδική κίνηση της ξηράς από την ολοκληρωτική καταστροφή όλων των ειδών απροστάτευτων, εύθραυστων υπολειμμάτων, όπως συμβαίνει στα μονήρη *vermetids* κατά τη διάρκεια της αργής μετάβασής τους από τη μεσοπαλιρροιακή ζώνη και από την διάβρωση των βιοδομημένων χαρακτηριστικών όπως η στεφάνη που φτιάχνουν τα φύκη και τα *vermetid*, η οποία θα παρουσίαζε ένα συνεχόμενο και όχι αποσπασματικό προφίλ στο μέτωπο του κρημνού.

Έχουν γίνει λίγες μελέτες που να λαμβάνουν υπόψη αυτό το πρόβλημα και η πιο ενδιαφέρουσα περίπτωση είναι αυτή των ακτών οι οποίες υπάρχει περίπτωση να έχουν υποστεί την επίδραση υδρο-ισοστατικών αντισταθμιστικών κινήσεων (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

#### 9.2 Βύθιση

Ο προσδιορισμός της ταχύτητας μιας βύθισης της βραχώδους ακτογραμμής είναι πολύ πιο δύσκολος σε σχέση με τον προσδιορισμό εκείνης της ανύψωσης, δεδομένου ότι πολλοί βιολογικοί δείκτες της στάθμης της θάλασσας είτε καταστρέφονται γρήγορα από την υποπαλιρροιακή διάβρωση ή δεν μπορούν να έχουν καμία χρησιμότητα ως δείκτες στάθμης θάλασσας ακόμη και αν διατηρηθούν εκτός και εάν η καθοδική κίνηση τους οδηγήσει σε βάθος μεγαλύτερο από το κατώτατο όριο του κατακόρυφου εύρους ανάπτυξης των εν λόγω ειδών. Έτσι μόνο παράκτια είδη βιοδομητών που ζουν σε ένα πολύ στενό, κατακόρυφο εύρος, όπως τα Lithophyllum lichenoides ή τα Dendropoma petraeum μπορεί να έχουν κάποια χρήση ως δείκτες αναπαράστασης της στάθμης θάλασσας του παρελθόντος. Για τέτοιες στεφάνες είναι δυνατό να ληφθούν πληροφορίες από την κατανομή των βυθισμένων υπολειμμάτων τους κάτω από το νερό: συνεχή ή σχεδόν συνεχή βυθισμένα υπολείμματα γενικά απαντώνται σε περίπτωση αργών καθοδικών κινήσεων της ακτογραμμής. Αυτή είναι η περίπτωση των βυθισμένων στεφανών Lithophyllum που έχουν παρατηρηθεί στη Δυτική Μεσόγειο. Μια πιο γρήγορη αλλαγή δεν θα μπορούσε να παρέχει επαρκή χρόνο για την ανάπτυξη μιας βιοδομημένης στεφάνης σε ενδιάμεσο βάθος και έτσι οι βυθισμένες στεφάνες θα εμφανίζονταν σαφώς διαχωρισμένες η μια από την άλλη (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Δυστυχώς, το όριο μεταξύ "Ταχείας" και «Συν-σεισμικής» κίνησης είναι εξαιρετικά δύσκολο να εντοπιστεί. Ανυψωμένες στεφάνες *vermetid* στη Δυτική Κρήτη έχουν μελετηθεί και έχει βγει το συμπέρασμα ότι έχουν υποβληθεί σε μια σειρά κατακόρυφων καθοδικών κινήσεων πριν από την τελική τους ανύψωση (η οποία ήταν χωρίς αμφιβολία συν-σεισμική). Η συνσεισμική φύση αυτών των καθοδικών κινήσεων αμφισβητήθηκε πρόσφατα από τον W. Adey (1986) με βάση μια σύγκριση που επιχείρησε με τα προκαταρκτικά αποτελέσματα των βυθισμένων στεφανών *Lithophyllum* στη δυτική Μεσόγειο (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Η αντίρρηση του W.Adey (1986) είναι ενδιαφέρουσα : ο βυθισμένος και ανυψωμένος σχηματισμός της Δυτικής Κρήτης είναι χωρισμένος ο ένας από τον άλλον από καθορισμένα κάθετα βήματα και έτσι φαίνεται να έχουν βυθιστεί με μια σειρά γρήγορων καθοδικών κινήσεων που εναλλάσσονται με διαστήματα στασιμότητας (ή πιο αργής βύθισης), καθώς μπορούν να αναγνωριστούν αρκετές διακριτές ακτογραμμές (Σχήμα 5, Σχήμα 12). Σύμφωνα με τον ίδιο στοιχεία για μια στιγμιαία συν-σεισμική καθοδική μετατόπιση δεν είναι τόσο εμφανή όσο η ανοδική απότομη κίνηση της χέρσου. Αντίθετα, πρόσφατες μελέτες σχετικά με τις βυθισμένες στεφάνες των *Lithophyllum* στη δυτικό Μεσογείου δεν έχουν καταφέρει να αποδείξουν με στοιχεία κάποια τέτοια διαδοχή στεφανών και βημάτων, που είχαν προταθεί από τις πρώτες αρχικές μελέτες (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

# 10. Ανυψωμένες και βυθισμένες παλαιοακτογραμμές στην Ελλάδα

## 10.1 Γενικά

Στο εκτενές αυτό κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια συλλογής και καταγραφής όλων (ή των περισσότερων) ερευνητικών εργασιών που έχουν κατά καιρούς εκπονηθεί στον ελλαδικό χώρο και αφορούν βραχώδεις ακτές και ενδείξεις συν-σεισμικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης. Πέρα από τις απόψεις των συγγραφέων των αντίστοιγων εργασιών επιγειρήθηκε η σύνταξη ενός καταλόγου (Πίνακας 14, σελ.162) όπου αναφέρονται αναλυτικά περιοχή που έχει μελετηθεί στην Ελλάδα καταρχήν αν έχει εντοπιστεί ανυψωμένη ή βυθισμένη παλαιοακτογραμμή και σε ποιο ύψος από τη μέση στάθμη θάλασσας, ποιος ήταν ο γεωμορφολογικός ή/και βιολογικός δείκτης από τον οποίο έγινε η αναγνώριση, από ποιο ύψος έγινε η λήψη του δείγματος στις θέσεις που έγινε ραδιοχρονολόγηση, τα αποτελέσματα των εν λόγω χρονολογήσεων σε yr BP ή σε ημερολογιακά έτη, αν έχουν εντοπιστεί αρχαιολογικά ευρήματα και τέλος την χρονολογία και το μέγεθος του σεισμού με τον οποίο οι διάφοροι συγγραφείς συσχέτισαν την ανύψωση. Για ενδείξεις που δεν υπάρχει βιβλιογραφικά σύνδεση με σεισμικά γεγονότα επιχειρήθηκε η συσχέτιση με βάση τους καταλόγους των Παπαζάχος και Παπαζάχου (1989) και του Σεισμολογικού σταθμού του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης (κατάλογος σεισμών 550π.Χ-Σεπτέμβριος 2009, εύρεση στην ιστοσελίδα : http://geophysics.geo.auth.gr/ss/).

Επιπλέον δημιουργήθηκε μια ψηφιακή βάση δεδομένων με τις θέσεις αυτές βραχωδών ακτών όπου έχουν αναφερθεί ενδείξεις ανύψωσης ή βύθισης και απεικονίστηκαν σε ένα χάρτη της Ελλάδας (Κεφάλαιο 10.4, σελ. 153 και Παράρτημα Β)

Η ανατολική Μεσόγειος είναι η πιο σεισμικά ενεργή περιοχή της Ευρώπης και άρα πολλές από τις ακτές της είναι εκτεθειμένες σε τσουνάμι και σεισμούς. Αυτά τα γεγονότα μπορούν να δημιουργήσουν γρήγορες προσωρινές αλλαγές του επιπέδου της θάλασσας(τσουνάμι) ή μακροχρόνιες αλλαγές μέσω συν - σεισμικής βύθισης ή ανύψωσης της ξηράς ή μεταβολές στην παράκτια μορφολογία (Cundy, 2005). Όταν σε μια περιοχή έχουν λάβει χώρα κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου τέτοιες κινήσεις, η περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως σεισμοτεκτονικά ενεργή και σε ορισμένες περιπτώσεις είναι δυνατό να προβλεφθούν πιθανές περιοχές επικείμενων σεισμών μεγάλου μεγέθους αλλά και να προβλεφθούν οι κατακόρυφες κινήσεις του φλοιού που είναι πιθανό να συνοδεύουν τέτοιους σεισμούς (Pirazzoli et al, 1994a).
## 10.2 Σεισμικές κινήσεις κατά μήκος του τόξου

Στις ζώνες υποβύθισης των νησιωτικών τόξων, σεισμικά γεγονότα μεγάλων εντάσεων συχνά συνοδεύονται από κατακόρυφες μετατοπίσεις που προκαλούν την ανύψωση ή τη βύθιση των στοιχείων που αποτελούν ενδείξεις – δείκτες της στάθμης της θάλασσας. Μια ενδελεχής εξέταση των ενδείξεων αυτών μας επιτρέπει να καθορίσουμε :

α) μια κατά προσέγγιση ηλικία, την κατανομή και την διαδοχή των κάθετων μετατοπίσεων κατά μήκος της ακτής,

β) τα όρια μεταξύ τεκτονικών τεμαχών με διαφορετική τεκτονική συμπεριφορά,

γ) τη μέση ταχύτητα και τη συχνότητα των νεοτεκτονικών κινήσεων (Pirazzoli et al, 1982).

# 10.2.1 Κρήτη

# Χρονολογούμενοι βιολογικοί δείκτες θαλάσσιας στάθμης με μορφολογικούς δείκτες και αρχαιολογικά και ιστορικά στοιχεία

Στα πλαίσια της μελέτης των δεικτών στάθμης θάλασσας του παρελθόντος της Κρήτης που πραγματοποιήθηκαν από τους P. Pirazzoli et al.(1982), οι ακτές της δυτικής Κρήτης και τα Αντικύθηρα, μελετήθηκαν συστηματικά και με λεπτομέρεια, με εξαίρεση τις στρατιωτικές βάσεις, ενώ αντίθετα οι ακτές της κεντρικής Κρήτης μελετήθηκαν με λιγότερη λεπτομέρεια επειδή η λιθολογία είναι λιγότερο ευνοϊκή για την διατήρηση των δεικτών της στάθμης της θάλασσας. Τέλος στην ανατολική Κρήτη η έρευνα που έγινε ήταν συστηματική αλλά οι περισσότερες από τις ακτογραμμές του Ολόκαινου ήταν βυθισμένες και οι υποβρύχιες έρευνες ήταν περιορισμένες.

Γενικά οι ακτογραμμές αναγνωρίστηκαν είτε από τα ίχνη που άφησε η θαλάσσια διάβρωση στους ασβεστολιθικούς βράχους, από τις βιοδομημένες στεφάνες των οργανισμών που ζουν μεταξύ υποπαλιρροιακής και μεσοπαλιρροιακής ζώνης ή από αρχαιολογικά υπολείμματα (Pirazzoli et al, 1982).



Χάρτης 1 : Κρήτη και Αντικύθηρα.

Οι αριθμοί στο χάρτη αντιστοιχούν σε θέσεις που αναφέρονται στο κείμενο

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.29

#### 10.2.1.1 Ανυψωμένες εγκοπές

#### Δυτική Κρήτη

Στη δυτική Κρήτη πρόσφατες ακτογραμμές εμφανίζονται σε ανυψωμένες θέσεις στα δυτικά του Ρεθύμνου (Χάρτης 1). Στη βορειότερη ακτή και στην πεδιάδα του Μεσαρά στη νότια ακτή το υψόμετρό τους σταδιακά αυξάνεται προς το νοτιοδυτικό άκρο του νησιού όπου φτάνει περίπου τα +9m. Αν και είναι συνήθως δύσκολο να διακριθούν περισσότερες από τρεις ή τέσσερις ακτογραμμές (Εικόνα 4), οκτώ ανυψωμένες ακτογραμμές αναγνωρίστηκαν και χρονολογήθηκαν στην Μονή της Χρυσοσκαλίτισσας και πέντε στα Φαλάσαρνα. Δύο ακτογραμμές επίσης χρονολογήθηκαν στην Αγία Ρουμέλη και στον Τίμιο Σταυρό, και μια σε εννέα άλλες τοποθεσίες (Pirazzoli et al, 1982) (Πίνακας 1).

Locality		Lat. N	Long. E	
No.	name			
Western Crete				
2	Yeoryoúpolis	35°22′	24°16′	
12	Ay. Theodhoroi	35°32′	23°56′	
23	Kamerelou	35°36′	23°36′	
31	Falásarna	35°30'	23°34′	
33	Peristerias	35°23'	23°33′	
36	Moni Khrisoskalitisas	35°19′	23°32′	
42	Pévkoi	35°15′	23°49′	
45	Ay. Rouméli	35°14'	23°57′	
47	Akr. Plaka	35°12′	24°01′	
48	Koúrta	35°12′	24°01′	
50	Cape Moúros	35°12'	24°04′	
52	Timios Stavrós	35°12′	24°06′	
56	Plakás Bay	35°11′	24°24′	
Antikythira	-			
8A	Kamaréla	35°52'	23°16′	
1A	Potamós	35°52'	23°17′	
4A	Kaminakia	35°53′	23°17′	
6A	Stavrotó	35°50'	23°19′	
7 <b>A</b>	Faros	35°49′	23°19′	

# Πίνακας 1: Θέσεις και συντεταγμένες χρονολογημένων ακτογραμμών στην Δυτική Κρήτη και τα Αντικύθηρα

Τα νούμερα αντιστοιχούν στα αντίστοιχα του Χάρτης 1

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.33



Εικόνα 4 : Πλάκα , 2,5km βόρεια από τα Φαλάσαρνα( θέση 31). Αρκετές κυματοειδείς εγκοπές είναι εμφανείς μεταξύ +5,1 και +6,4m

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.30

## Αντικύθηρα

Στα Αντικύθηρα η ανώτερη ακτογραμμή βρίσκεται στα +2,7μ ενώ κάποιες ακόμα ανυψωμένες ακτογραμμές είναι εμφανείς, από τις οποίες εννέα αναγνωρίζονται σε δύο όμοια τμήματα από διαφορετικές όμως τοποθεσίες (Εικόνα 5 και Εικόνα 6). Πέντε από τις ακτές στα Αντικύθηρα χρονολογήθηκαν και στον Πίνακας 1 και Πίνακας 3 φαίνονται οι θέσεις και τα χαρακτηριστικά των δειγμάτων (Pirazzoli et al, 1982).



Εικόνα 5 : Ποταμός, Αντικύθηρα( θέση 1Α). Εννέα ανυψωμένες ακτογραμμές στον ασβεστόλιθο μεταξύ +1,1 και +2,7m. Η βάση του μέτρου βρίσκεται

στο επίπεδο V στο +1,5m

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.31



Εικόνα 6: Καραμέλα, Αντικύθηρα( θέση 8Α).

Εννέα ανυψωμένες ακτογραμμές είναι ορατές, τρεις από τις οποίες, στις θέσεις όπου βρίσκονται τα βέλη, χρονολογήθηκαν και αντιστοιχούν στα επίπεδα Ι, ΙV και V

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.31

## Ανατολική Κρήτη

Στην κεντρική Κρήτη υπάρχουν πολύ λίγα σαφή δεδομένα αφού η λιθολογία της ακτής δεν ευνοεί την διατήρηση των αρχαίων ακτογραμμών. Ωστόσο στα ανατολικά της τάφρου της Ιεράπετρας υπάρχουν σχετικά καλά διατηρημένα ίχνη αρχαίας ακτογραμμής. Γύρω από τη χερσόνησο της Σητείας τα επίπεδα των ακτογραμμών του Τυρρηνίου μειώνονται σταδιακά από τη δύση προς την ανατολή κατά μήκος της νότια ακτής ενώ στην ανατολική ακτή φαίνεται να εξαφανίζονται κάτω από το νερό (Πίνακας 2). Επιπλέον υπάρχουν Ρωμαϊκά ερείπια η βύθισή των οποίων είναι όλο και πιο εμφανής στα βόρεια κατά μήκος της ανατολικής ακτής.

Συνολικά στη χερσόνησο της Σητείας κυριαρχεί μια κλίση προς το βορρά (τέμαχος C, Χάρτης 2). Στα νότια αυτού του τεμάχους στο νησάκι Στρόγγυλο οι ανυψωμένοι θαλάσσιοι πάγκοι και οι εγκοπές αποδεικνύουν την ύπαρξη τουλάχιστον επτά ακτογραμμών διαβαθμισμένων μεταξύ των αποθέσεων του Τυρρηνίου στα +8/+10m και του σημερινού επιπέδου της θάλασσας (δεν υπάρχει αντιστοίχηση με την ακτή της Κρήτης) (Pirazzoli et al, 1982).

Locality		Altitude of dated shorelines				
		Tyrrhenian	Roman			
		(m)	(m)			
Khrisi-Ke	oufonisi block					
Kh	Khrisi	$+2 \text{ to } +6^{(1)}$				
Kf	Koufonisi	+30 to $+40$ ? <sup>(1)</sup>	+ 2(3.4)			
St	Strongilò	+ 10(1)	+ 0.9(5)			
Ori Sıtıa	s block					
Kd	Koudhounáta	+ 30(2)				
Kt	Koutsounari	+20 to +25 <sup>(2)</sup>	- 0.2(6.7.4)			
MY	Makris Yialós	+ 15 <sup>(2)</sup>				
Ka	Kapsás (W of -)	$+8$ to $+10^{(2)}$				
	Kapsás (E of -)	$+6$ to $+7^{(2)}$				
CG	Cape Goúdhoura	+ 5.5(2)	_			
Xi	Xirókambos	<0(2)?	-			
ΚZ	Káto Zákros	<0 ?	$-1.0^{(8,7,4)}$			
Pa	Palaiókastron	<0?	<-2.0 <sup>(8,4)</sup>			
CS	Cape Sidheros	<0?	«0 <sup>(9)</sup>			

(1) Symeonidis (1967), (2) Angelier (1979), (3) Flemming (1978),

(4) Flemming and Pirazzoli (1981), (5) Montaggioni et al. (1981),

(6) Davaras (1978), (7) Pirazzoli (1979b), (8) Pirazzoli (1980),

(9) Spratt (1865).

#### Πίνακας 2 : Υψόμετρο Τυρρήνιων και Ρωμαϊκών ακτογραμμών στη νοτιοανατολική Κρήτη

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.40



Χάρτης 2 : Προτεινόμενα όρια τεμαχών της λιθόσφαιρας που επηρεάστηκαν από ανεξάρτητες τεκτονικές κινήσεις κατά τη διάρκεια του τέλους Ολοκαίνου

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.39

#### 10.2.1.2 Βιολογικοί Δείκτες

Όπως φαίνεται στον Πίνακας 3, για την χρονολόγηση των ανυψωμένων εγκοπών με ραδιενεργό άνθρακα χρησιμοποιήθηκαν γαστερόποδα και ειδικά το Dendropoma,, ροδοφύκη όπως το Neogoniolithon και το Lithophyllum αλλά και άλλα ασβεστοφύκη. Εκτός όμως από αυτά τα δείγματα έχουν γίνει πολλές ακόμα δειγματοληψίες στην περιοχή.

Τα πολύ εύθραυστα βρυόζωα της υποπαλιρροιακής ζώνης που σώζονται εκτεθειμένα πάνω από το νερό, δείχνουν ότι «πέρασαν» τη μεσοπαλιρροιακή ζώνη, όπου η διάβρωση είναι έντονη, πολύ γρήγορα, χωρίς να καταστραφούν και άρα ανυψώθηκαν από μια ταχεία σεισμική κίνηση και όχι από αργή μη σεισμική (Stiros, 2009).

Οι ηλικίες που προέκυψαν με ραδιοχρονολόγηση για τα κοράλλια και τα βρυόζωα που εκτέθηκαν μεταξύ της παλαιοακτογραμμής και του σημερινού επιπέδου της θάλασσας είναι σύμφωνες, στο πλαίσιο του σφάλματος της μέτρησης, μεταξύ τους και με την χρονολογία του σεισμού. Αλλά οι ηλικίες του ραδιενεργού άνθρακα που προσδιορίστηκαν για τα δίθυρα *Lithophaga Lithophaga* που βρέθηκαν στο ίδιο υπόβαθρο είναι τουλάχιστον από 350 μέχρι και 2000 χρόνια, παλαιότερα από την χρονολογία του σεισμού που τους ανύψωσε πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Shaw et al, 2010). Έτσι θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παράμετροι που αναφέρονται στο κεφάλαιο 8.1.

Συγκεκριμένα άλλοι οργανισμοί που έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία για τη χρονολόγηση της ανύψωσης είναι κοράλλια (Stenocyathus vermiformus, Caryophyllida (sp.) and Balanophyllia regia) και βρυόζωα (Myriapora truncata) (Shaw et al, 2010).

#### 10.2.1.3 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης

#### Δυτική Κρήτη και Αντικύθηρα

Συνολικά στη δυτική Κρήτη και τα Αντικύθηρα αναγνωρίστηκαν με βεβαιότητα έντεκα παλαιές γραμμές στάθμης θάλασσας (Ι, ΙΙ, ΙΙΙ, ΙΙΙΑ, ΙV, IV', IVA, V, VI, VII, VIII). Οι θέσεις των δειγμάτων και τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στους Πίνακας 1 και 3. Όλες αυτές οι ακτογραμμές αντιστοιχούν σε μια σύντομη περίοδο σταθερότητας της στάθμης της θάλασσας μεταξύ 4000 και 1530 yr B.P με μια μέση διάρκεια περίπου 250 ετών. Η ανύψωση, η ασυνέχεια των βιοδομών και τα μοντέλα διάβρωσης δείχνουν γρήγορες αλλαγές της σχετικής στάθμης της θάλασσας.

Μερικές εφήμερες ανεστραμμένες μετατοπίσεις φαίνεται να έχουν προηγηθεί των κάθετων κινήσεων τουλάχιστον τρεις φορές. Αυτό το φαινόμενο αποδείχθηκε από πετρογραφικές και μορφολογικές παρατηρήσεις. Για παράδειγμα λεπτές τομές των βιόλιθων από το επίπεδο ΙV' έδειξαν την παρουσία δύο γενεών θαλάσσιου υλικού οι οποίες διαχωρίζονται από μια υποαερόβια φάση διαγένεσης. Μετά τη δημιουργία τους οι βιόλιθοι υποβλήθηκαν στην ακολουθία ανύψωση – βύθιση και νέα ανύψωση. Για το επίπεδο IV μια σύντομη φάση ανύψωσης φαίνεται να αναγνωρίζεται από την έναρξη του σχηματισμού μιας υπολειμματικής κοιλότητας η οποία είναι χαρακτηριστικό διάβρωσης στη ζώνη διαβροχής που λαμβάνει χώρα σε βάρος των δομημένων στεφανών αυτού του επιπέδου. Τέλος ίχνη οπών από Cliona στο υψηλότερο επίπεδο Ι αποδεικνύουν μια σύντομη φάση βύθισης ακριβώς πριν την τελική ανύψωση.

Η ραγδαία αλλαγή που έλαβε χώρα το 1530±40yr B.P η οποία έφερε τη σχετική στάθμη της θάλασσας πίσω στη σημερινή της θέση θα μπορούσε να έχει συμβεί μόνο από ένα ξαφνικό απότομο γεγονός (π.χ. σεισμός). Αυτό αποδείχθηκε από στοιχεία θαλάσσιων βιολογικών δεδομένων, από πετρογραφικές αναλύσεις και από ραδιοχρονολογήσεις (οι διάφορες ακτογραμμές είναι περισσότερο ή λιγότερο παράλληλες μεταξύ τους) (Pirazzoli et al, 1982).

#### Ανατολική Κρήτη

Οι δύο χαμηλότερες ακτογραμμές στο νησάκι Στρόγγυλο, είναι του Ολόκαινου και η υψηλότερη από αυτές στα +0,9m χρονολογήθηκε στο 2200 ±100 yr B.P (MC -2199). Άρα η τεκτονική συμπεριφορά της Κρήτης διαφέρει από αυτή των γειτονικών μικρών νησιών Χρυσή και Κουφονήσι (Λευκή). Εν κατακλείδι φαίνεται πως ένα ενεργό ρήγμα υπάρχει μεταξύ Κρήτης και Στρόγγυλου. Είναι πιθανό να υπάρχει ένα ρήγμα μετασχηματισμού που προεκτείνει την νοτιοανατολική τάφρο της Κρήτης προς την ανατολή και διαχωρίζει το λιθοσφαιρικό τέμαχος C της χερσονήσου της Σητείας από το τέμαχος του φλοιού του Χρυσή – Κουφονήσι (Pirazzoli et al, 1982).

Locality	Altitude (m above MSL)	Material *	<sup>14</sup> C dating	<sup>14</sup> C dating		
	(iii above MSL)		age (yr B.P.)	laboratory No.	(sucremies)	
8A	2.7 ±0.1	D+N	1,530± 70	MC-2430	1	
1A	$2.7 \pm 0.1$		not dated		1	
4A	2.2 ±0.1 b	D+N	1,490 ± 70 <sup>d</sup>	MC-2438	1	
6A	2.7 ±0.1		not dated		1	
7A	$2.7 \pm 0.1$	D+N	1,490 ± 70 <sup>d</sup>	MC-2435	1	
36	$7.9 \pm 0.2$	N+D	1,550± 80	MC-2238	1	
36	$7.8 \pm 0.3$	D+CA	$1,565 \pm 70$	MC-2110	1	
36	7.8 ±0.3	D+CA	$1,595 \pm 70$	MC-2110I	1	
36	7.8 ±0.3	D+CA	$1.555 \pm 70$	MC-2110H	I	
36	6.5 ±0.2 °	D+CA	$1,575 \pm 70$	MC-2114	1	
33	$7.0 \pm 0.2$	D	$1,580 \pm 70$	MC-2109	1	
52	$3.6 \pm 0.1$		not dated		1 ?	
31	6.6 ±0.3	N	1,780± 90	MC-2200	п	
36	$7.7 \pm 0.2$	D+CA	1,710± 80	MC-2195	п	
12	3.1 ±0.1	D	1,850± 70	MC-2115	III I	
23	$5.2 \pm 0.2$	D+N	$1,810 \pm 70$	MC-2116	111	
8A	$2.5 \pm 0.1$		not dated		111	
lA	2.5 ±0.1		not dated		111	
4A	$2.0 \pm 0.1^{b}$	D+N	1,880± 70	MC-2439	111	
4A	$2.0 \pm 0.1^{b}$	D+N	1,800 ± 70	MC-2437	ш	
4A	$2.0 \pm 0.1^{b}$	D+N	1.830± 70	MC-2437b	Ш	
6A	$2.45 \pm 0.1$	N+D	$1,870 \pm 70$	MC-2433	111	
7A	2.5 ±0.1	D+N	$1,870 \pm 70$	MC-2436	ш	
31	$6.4 \pm 0.3$	V + N	$1,875 \pm 100$	MC-2193	ш	
36	$7.5 \pm 0.2$	D+CA	$1,870 \pm 80$	MC-2282	111	
42	$7.0 \pm 0.3$	D	$1,850 \pm 70$	MC-2101	111	
45	4.2 +0.1	N ?	$1.860 \pm 70$	MC-2102	III	
56	$1.7 \pm 0.1$	D?	1,880± 70	MC-2105	111	
8A	2.3 ±0.1		not dated		III A	
1A	$2.35 \pm 0.1$		not dated		111_	
2	$1.5 \pm 0.1$	D	$2,030 \pm 70$	MC-2100	IV	
8A	$2.15 \pm 0.1$	D+N	$1,920 \pm 70^{\text{d}}$	MC-2431	IV	
1A	$2.15 \pm 0.1$		not dated		IV	
4A	$1.7 \pm 0.1^{b}$	D+N	$2,180 \pm 80$	MC-2440	IV	
36	$7.3 \pm 0.3$	D+CA	$2,225 \pm 70$	MC-2111	IV	
36	$7.2 \pm 0.2$	D+CA	$2,000 \pm 70$	MC-2272	IV	
36	7.3 ±0.2	D+CA	$2,250 \pm 70$	MC-2273	IV	
47	4.3 ±0.1	D	$1.980 \pm 70$	MC-2106	IV	
48	$4.4 \pm 0.1$	D	$2,030 \pm 70$	MC-2107	IV	

Locality No.	Altitude (m above MSL)	Material *	<sup>14</sup> C dating	Correlations (shorelines)	
	(		age (yr B.P.)	laboratory No.	(,
50	3.8 ±0.1	D	2,080± 70	MC-2108	IV
52	3.1 ±0.1	D	2,050± 70	MC-2104	IV
8A	$1.95 \pm 0.1$		not dated		IV'
1A	$2.0 \pm 0.1$		not dated		IV'
6A	$2.0 \pm 0.1$	N+D	$2,340 \pm 80$	MC-2434	IV'
36	$7.1 \pm 0.2$	D+CA	2,280 ± 70 <sup>d</sup>	MC-2274	IV'
36	$7.1 \pm 0.2$	D+CA	$2,500 \pm 70$	MC-2500	IV'
45	2.5 ±0.1 °	v	$2,400 \pm 70$	MC-1378	IV'
45	2.5 ±0.1 °	v	2,400± 70	MC-1379	IV'
52	$2.7 \pm 0.1$	N	2,610 ± 70	MC-2103	IV' or IVA
8A	1.75±0.1		not dated		IVA
1A	$1.75 \pm 0.1$		not dated		IVA
8A	$1.45 \pm 0.1$	D+N	2,970± 70	MC-2432	v
1A	$1.5 \pm 0.1$		not dated		v
36	$7.0 \pm 0.3$	D+CA	3,000 ± 70	MC-2112	v
36	$6.8 \pm 0.2$	D+CA	3,050± 70	MC-2275	v
36	5.6 ±0.2 °	D+CA	$2,830 \pm 70$	MC-2420	v
8A	$1.2 \pm 0.1$		not dated		VI ?
1A	$1.3 \pm 0.1$		not dated		VI ?
31	5.9 ±0.3	V + CA	3,400 = 100	MC-2194	VI
31	5.9 ±0.3	V+CA	2,800 ± 70 <sup>d</sup>	MC-2279	VI
31	5.6 ±0.5	D+CA	3,420± 90	MC-2429	VI
36	$6.7 \pm 0.3$	D+CA	$3,290 \pm 70$	MC-2113	VI
36	$6.5 \pm 0.3$	D+CA	$3,330 \pm 80$	MC-2421	VI
36	6.5 ±0.2	D+CA	$2,900 \pm 80^{\circ}$	MC-2276	VI
8A	$1.0 \pm 0.1$		not dated		VII ?
1 <b>A</b>	$1.1 \pm 0.1$		not dated		VII ?
31	4.8 ±0.5	D+L+CA	3,930± 90	MC-2428	VII
36	$6.3 \pm 0.2$	L	3,870 ± 90	MC-2424	VII
31	$4.0 \pm 0.5$	D+CA	4,200 ± 90	MC-2427	VIII

\* D: Dendropoma; V: Vermetids; N: Neogoniolithon; L: Lithophyllum; CA: other calcareous algae.

b Local collapse of 0.5 m.

" Local collapse of 1.3 m.

<sup>d</sup> Slightly contaminated by younger material?

\* Infralittoral fauna: indicates that sea-level was slightly above the sample.

# Πίνακας 3: Χρονολογημένες ακτογραμμές στη δυτική Κρήτη και τα Αντικύθηρα και οι διορθώσεις των ηλικιών ( οι αριθμοί των θέσεων φαίνονται στο Χάρτης 1)

Πηγή : P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece), Tectonophysics, 86 (1982), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, p.34-35

#### 10.2.1.4 Ιστορία μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας

Στα δυτικά ένα λιθοσφαιρικό τέμαχος Α με μήκος περίπου 150km που συμπεριλαμβάνει τα Αντικύθηρα και τα Λευκά Όρη, φαίνεται να έχει υποβληθεί σε δέκα καθοδικές κινήσεις της τάξης εκατοστών. Συνολικά η καθοδική κίνηση του τεμάχους Α ήταν περίπου 1,5m και δεν συνοδεύτηκε από αξιοσημείωτη κλίση. Απ'την άλλη μεριά στα ανατολικά, η απουσία ανυψωμένων ακτογραμμών και η διαφορετικότητα των μορφών θαλάσσιας διάβρωσης δείχνουν ότι η σχετική στάθμη θάλασσας παρέμεινε σταθερή κατά τη διάρκεια της ίδιας περιόδου.

Το 1530±40yr BP ένα σεισμικό γεγονός, το επίκεντρο του οποίου ήταν πιθανόν στην περιοχή του ακρωτηρίου Κριός, ανύψωσε και έδωσε κλίση στο λιθοσφαιρικό τέμαχος B με μήκος περίπου 200km προς τα βορειοανατολικά με μια κίνηση. Το τέμαχος B ταιριάζει με το τέμαχος A προς τα βορειοδυτικά αλλά εκτείνεται περισσότερο από το A προς την Ανατολή. Το τέμαχος B δεν είναι εντελώς άκαμπτο και υπάρχουν κάποιες πτυχώσεις ή ρηγματώσεις ειδικά στη νότια ακτή, οπότε φαίνεται να αποτελεί ένα μεμονωμένο τέμαχος της λιθόσφαιρας.

Η έλλειψη στοιχείων που θα βοηθούσαν στον προσδιορισμό των τεμαχών A και B με βεβαιότητα δεν αναμένεται αφού υπάρχουν πρόσφατες κινήσεις. Οι εικόνες από δορυφόρο LANDSAT δεν δείχνουν την ύπαρξη ρηγμάτων. Τα ρήγματα μπορούν να είναι θαμμένα από πρόσφατα ιζήματα. Η πεδιάδα του Μεσαρά και η λεκάνη του Ηρακλείου είναι οι μόνες περιοχές όπου τα ρήγματα που οριοθετούν το τέμαχος B στα ανατολικά θα μπορούσαν να επηρεάσουν το νησί χωρίς να είναι ορατά. Ομοίως τα ιζήματα της λεκάνης του Ρεθύμνου θα μπορούσαν να αποκρύπτουν ρήγματα που οριοθετούν το τέμαχος A στα ανατολικά. Τα πιθανά όρια των λιθοσφαιρικών τεμαχών A και B φαίνονται στο Χάρτης 2 (Pirazzoli et al, 1982).

#### 10.2.1.5 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Το τέμαχος Α μετακινήθηκε οριζόντια (ολίσθησε) χωρίς να πάρει κλίση μετά από την επίδραση μιας σειράς δονήσεων μεταξύ 4000 και 1700 yr B.P.

Η κλίση του τεμάχους B 1530±40yr B.P φαίνεται να είχε διαφορετική προέλευση. Για να πάρει κλίση ένα τέμαχος μήκους 200km και για να ανυψωθεί 10m, θα πρέπει να δράσουν δυνάμεις βαθύτερου επιπέδου. Για το τέμαχος B ικανοποιητική εξήγηση δίνουν οι δυνάμεις που σχετίζονται με την υποβύθιση του ωκεάνιου φλοιού της Ιόνιας λεκάνης κάτω από το Ελληνικό τόξο. Τεμάχη σαν το B συχνά απαντώνται στη νοτιοδυτική Ιαπωνία και χαρακτηρίζονται από μεγάλου μεγέθους σεισμούς, από τους οποίους μπορούν να ανυψωθούν

και έτσι να μας δώσουν στοιχεία μιας έντονης δραστηριότητας υποβύθισης που συνδέεται με ταχείες παραμορφώσεις. Στην Ιαπωνία όπως και στο Ελληνικό τόξο, οι κλίσεις συνήθως προσανατολίζονται προς την υποβύθιση αλλά ενώ γύρω από την Ιαπωνία οι κινήσεις τείνουν να είναι προβλέψιμες κάτω από ανάλογες συνθήκες, οι κατακόρυφες κινήσεις στο Ελληνικό τόξο είναι ακανόνιστες. Έτσι στη δυτική Κρήτη μπορούν να παρατηρηθούν Πλειστοκαινικές ακτογραμμές πάνω ή και κάτω από τις ακτογραμμές του Ολόκαινου. Οι παρατηρούμενες κινήσεις στην Κρήτη και τα Αντικύθηρα φαίνεται να αντιστοιχούν σε σχετικά μεμονωμένα τεκτονικά παροξυσμικά φαινόμενα (Pirazzoli et al, 1982).

Συγκεκριμένα την κίνηση του λιθοσφαιρικού τεμάχους B, (Χάρτης 2) που περίπου 1.530 χρόνια BP ανυψώθηκε σπασμωδικά και έγειρε προς τη σημερινή του θέση, αποκαλύπτοντας πολλά αρχαία λιμάνια πάνω από το νερό, ο P. Pirazzoli τη συσχέτισε με άλλες ανυψώσεις σε ακτές της ανατολικής Μεσογείου, και υποστήριξε ότι αυτό δείχνει έναν τοπικό τεκτονικό παροξυσμό που ανήκει στον «Πρώιμο Βυζαντινό Τεκτονικό παροξυσμό» (Early Byzantine Tectonic Paroxysm –EBTP) (Stiros & Pirazzoli, 1995).

Έτσι μπορεί να διατυπωθεί η άποψη ότι το 365 μ.Χ. ένας μεγάλος (Mw>8) σεισμός ανύψωσε τη δυτική Κρήτη, ανυψώνοντας μια ακτογραμμή επιστρωμένη από θαλάσσιους οργανισμούς, και έως 10m θαλάσσιου υποστρώματος κάτω από αυτό (Shaw et al, 2010). Ένα τέτοιο μέγεθος σεισμού είναι πολύ μεγαλύτερο από τα γνωστά γεγονότα που έχουν επηρεάσει το Ελληνικό Τόξο και την ευρύτερη Ανατολική Μεσόγειο στους σύγχρονους και πρόσφατους ιστορικού χρόνους. Ωστόσο ένα σημείο που ακόμα δεν έχει αποσαφηνιστεί είναι εάν ήταν ένα καταστροφικό γεγονός «παγκόσμιο» (αλλά σε τοπική βάση) ή εάν αντίθετα ήταν μια το αποτέλεσμα πολλών αξιοσημείωτων σεισμών που έλαβαν χώρα μεταξύ του 355 και 450 μ.Χ. (Stiros, 2001). Πρόσφατα ο S. Stiros (2010) αναφέρει πως δεν ήταν ένα μεμονωμένο γεγονός αλλά ανήκε σε μια σεισμική ακολουθία η οποία επηρέασε πολλές περιοχές και ήταν συγκεντρωμένη σε τόσο μικρό χρονικό διάστημα ώστε δικαιολογημένα οι αρχαίοι θεώρησαν την ακολουθία αυτή σαν ένα παγκόσμιο γεγονός.

#### 10.2.2 Ρόδος

# Χρονολογούμενοι βιολογικοί δείκτες θαλάσσιας στάθμης με μορφολογικούς δείκτες και αρχαιολογικά και ιστορικά στοιχεία

Η Ρόδος αποτελεί το ανατολικό όριο του νησιωτικού τόξου του Αιγαίου και το σχήμα καθώς και η μορφολογία της οφείλεται κατά κύριο λόγο στο νεοτεκτονισμό, ο οποίος έδρασε κατά το Αν. Νεογενές και κυρίως κατά το Τεταρτογενές και αντιπροσωπεύεται από την παρουσία ρηξιγενών ζωνών, επιμέρους ρηγμάτων καθώς και από τις κατακόρυφες κινήσεις των διαφόρων ρηξιτεμαχών (Βερυκίου - Παπασπυριδάκου et al, 2004).

Η θέση των παλαιότερων ακτογραμμών είχε συναχθεί από τους δείκτες της στάθμης της θάλασσας, όπως οι θαλάσσιες εγκοπές και οι πάγκοι, οι οργανικές κατασκευές, οι οπές των Lithophaga και από αρχαιολογικά ερείπια - ευρήματα (Pirazzoli et al, 1989). Αρχαιολογικοί δείκτες της στάθμης της θάλασσας αντιστοιχούν γενικά σε λατομεία ελαφρώς βυθισμένα μεταξύ της πόλης της Ρόδου και της Καλλιθέας, υποδηλώνοντας παλαιότερη στάθμη θάλασσας περίπου 0,4m χαμηλότερα από το σημερινό. Επιπλέον, σποραδικά όστρακα παγιδευμένα σε θαλάσσιες οργανικές κρούστες δείχνουν μια ιστορική ηλικία για την στιγμή της συγκόλλησης τους στο βιοδόμημα (Pirazzoli et al, 1989).

Οι κατακόρυφες κινήσεις λοιπόν αναλύθηκαν από τους P. Pirazzoli et al. (1989), σε μεμονωμένα τμήματα του φλοιού και αυτό γιατί κάθε τέμαχος φαίνεται να επηρεάζεται από μια σχετικά συγκεκριμένη τεκτονική ιστορία, αλλά και λόγω της φύσης των δεδομένων που αναλύθηκαν :

(α) τα χαρακτηριστικά διάβρωσης της στάθμης της θάλασσας συχνά είχαν βυθιστεί και ήταν μη αναγνωρίσιμα από την βιοδιάβρωση (β) οι κοντινές παράλληλες ακτογραμμές ήταν στενές και μερικές φορές περισσότερο από τη βιολογική ζώνωση και των δεικτών (γ) λόγω των διαφόρων φάσεων ανύψωσης – βύθισης και ξανά ανύψωσης, σε κάποια δείγματα παρατηρήθηκαν αποθέσεις διαφόρων ηλικιών (Pirazzoli et al, 1989).

Σύμφωνα με το υψόμετρο και το σχήμα των ανυψωμένων ακτών και την πετρογραφική και ραδιομετρική ανάλυση των θαλασσίων βιοδομητών, το συμπέρασμα που βγήκε είναι ότι η ανατολική ακτή του νησιού αποτελείται από οκτώ μικρά τεμάχη φλοιού (A έως H, με μήκος μικρότερο από 20km), που το καθένα παρουσιάζει μια διαφορετική τεκτονική συμπεριφορά, αν και η γενική τάση είναι αυτή της ανύψωσης που αυξάνεται προοδευτικά από το νότο προς το βορρά (Pirazzoli et al, 1989) (Χάρτης 3).



Χάρτης 3: Θέσεις των ανυψωμένων ακτών στη Ρόδο. Τα οκτώ τεμάχη του φλοιού και ο αριθμός των προφίλ για κάθε τέμαχος.

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, *Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece)*, Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.111

#### 10.2.2.1 Ανυψωμένες εγκοπές

Ανυψωμένες θαλάσσιες εγκοπές με διάφορα προφίλ έχουν παρατηρηθεί σε ασβεστολιθικούς κρημνούς της ανατολικής ακτής της Ρόδου (Εικόνα 7).



Εικόνα 7: Ρόδος, Ακρωτήρι Λαδικό. Μια σειρά από κυματοειδείς εγκοπές διάβρωσης σε ασβεστολιθικούς κρημνούς της ΒΑ Ρόδου.

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, *Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece)*, Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.90 Οι περισσότερες από αυτές έχουν δημιουργηθεί από τη θαλάσσια βιοχημική διάβρωση ή χημική διάλυση (κυρίως από διαδικασίες βιοδιάβρωσης) και ανήκουν σαφώς στις εγκοπές παλιρροιακού τύπου.

Στη Ρόδο παρατηρήθηκαν διάφορα προφίλ εγκοπών μεταξύ των οποίων εκείνες που το ύψος της συνεχούς ανυψωμένης εγκοπής είναι της ίδιας τάξης με το παλιρροιακό εύρος ή εκείνες που το ύψος της εγκοπής σαφώς υπερβαίνει το παλιρροιακό εύρος. Σε μερικές άλλες περιπτώσεις όμως, το ύψος της εγκοπής ήταν σαφώς πολύ μεγάλο, ακόμα και σε σχέση με την τοπική συνήθη δραστηριότητα των κυμάτων και η ανάπτυξή τους αποδόθηκε σε άλλες διαδικασίες, όπως τριβή (π.χ. στο προφίλ 11,

Σχήμα 16), αδυναμία του βράχου (π.χ. προφίλ 3,

Σχήμα 16 και το προφίλ 3, Σχήμα 17) ή σε σχετικές κινήσεις της στάθμης της θάλασσας που δημιουργούν πολυκυκλικά προφίλ διάβρωσης (π.χ. προφίλ 9, Σχήμα 20) (Pirazzoli et al, 1989).

# Περιοχή μεταξύ της πόλης της Ρόδου και της Καλλιθέας (Τέμαχος Φλοιού Α)

Στο σχήμα που ακολουθεί συνοψίζονται οι παλαιές ακτογραμμές που προσδιορίστηκαν στο βορειότερο τμήμα του νησιού (

Σχήμα 16). Σε κάθε προφίλ (η θέση του οποίου φαίνεται στο χάρτη του ίδιου σχήματος αλλά και στο γενικό Χάρτης 3), αριστερά βρίσκονται οι ανυψωμένοι ασβεστόλιθοι και δεξιά οι διάφορες παλαιότερες στάθμες θάλασσας (Pirazzoli et al, 1989).



Σχήμα 16: Ίχνη διάβρωσης και βιοδομών Ολοκαινικών ανυψωμένων ακτογραμμών μεταξύ της πόλης της Ρόδου και της Καλλιθέας. Α1-Α7 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.96

Ίχνη διάβρωσης επτά ανυψωμένων ακτογραμμών έχουν παρατηρηθεί σε σχεδόν σταθερό επίπεδο, αν και ασυνεχή, κατά μήκος αυτού του τμήματος της ακτής. Αυτές αναφέρονται ως A1 έως A7, στο

Σχήμα 16. Επιπλέον, πολυάριθμα ελαφρώς βυθισμένα παράκτια λατομεία δείχνουν ότι σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια της ιστορικής περιόδου, το επίπεδο της θάλασσας ήταν περίπου 0,4m κάτω από τη σημερινή. Αν και συνολικά οκτώ προηγούμενες ακτογραμμές θα μπορούσαν να αναφερθούν στο τέμαχος Α, εμφανίζονται όλες μαζί μόνο στη θέση 4. Κάθε ακτογραμμή είναι αναγνωρίσιμη σε τρεις τουλάχιστον θέσεις, με εξαίρεση την ακτογραμμή Α5, η οποία είναι σαφώς αναγνωρίσιμη μόνο στην περιοχή 4. Τα χαρακτηριστικά της διάβρωσης που βρέθηκαν στις θέσεις 11 και 12 αντιστοιχούν σε μορφές τριβής που αναπτύχθηκαν σε ένα περιβάλλον εκτεθειμένο στη δράση της παράκτιας άμμου και των κροκαλών και είναι επομένως λιγότερο ακριβείς θέσεις για να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες του επιπέδου της θάλασσας (Pirazzoli et al, 1989).

#### Φαληράκι (Τέμαχος Φλοιού Α-Β)

Ανάμεσα στην παραλία Φαληράκι και σε αυτή της Αφάντου, ανυψωμένα υπολείμματα απολιθωμένων ακτογραμμών εμφανίζονται αμέσως νότια από το Φαληράκι και στην περιοχή του ακρωτηρίου Λαδικό (Σχήμα 17). Στις θέσεις 1 έως 3, νότια από το Φαληράκι, ανύψωση περίπου 1m, φαίνεται από θαλάσσιες αποθέσεις και από εγκοπές διάβρωσης σε ασβεστολιθικά πετρώματα (Pirazzoli et al, 1989).



Σχήμα 17: Ίχνη ανυψωμένων ακτογραμμών κοντά στο Φαληράκι και το ακρωτήρι Λαδικό. Β1-Β6 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.103

#### Ακρωτήρι Λαδικό (Τέμαχος Φλοιού Β)

Γύρω από το ακρωτήριο, μια εντυπωσιακή σειρά από συνεχείς κυματοειδείς εγκοπές, δείχνει τουλάχιστον έξι επάλληλες ακτογραμμές (Εικόνα 7). Διάσπαρτα υπολείμματα θαλάσσιων αποθέσεων επέτρεψαν να προσδιοριστεί η ιστορία των αλλαγών της σχετικής στάθμης

θάλασσας. Η ανώτερη ακτογραμμή B1, στο +3,75m, είναι μια καλά διατηρημένη παλιρροιακή εγκοπή (Pirazzoli et al, 1989).

#### Ακρωτήρι Θεοδόκο (Βαγιές) και Τσαμπίκα (Τέμαχος Φλοιού C-D)

Νότια του κόλπου της Αφάντου, διατηρούνται στους κρημνούς ίχνη παλαιότερων ακτογραμμών κοντά στα ακρωτήρια Θεοδόκο και Τσαμπίκα. Οι πρώτες μελέτες και οι πρώτες ηλικίες ραδιοχρονολόγησης στα προφίλ 1 και 8 (Σχήμα 18) έδειξαν πως μεταξύ αυτών των περιοχών πρέπει να διέρχεται ένα ρήγμα. Όμως η περαιτέρω ανάλυση των νέων δειγμάτων πρότεινε ότι οι δύο περιοχές είναι πιθανό να έχουν επηρεαστεί από την ίδια ακολουθία κατακόρυφων κινήσεων κατά τη διάρκεια του τέλους του Ολοκαίνου (Pirazzoli et al, 1989)



Σχήμα 18: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών μεταξύ των περιοχών Θεοδόκο και Τσαμπίκα. C1-C5 και D1-D7 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.105

#### Από το ακρωτήριο του Αρχάγγελου έως το Χαράκι (Τέμαχος Φλοιού Ε)

Η ακτή αποτελείται εδώ από μια ποικιλία ασβεστολίθων, λιγότερο ή περισσότερο ευδιάβρωτων. Οι προηγούμενες ακτογραμμές σπάνια απαντώνται καλά διατηρημένες (Σχήμα 19). Τα διαθέσιμα στοιχεία δείχνουν ότι η ανύψωση συνέβη σταδιακά, κατά πάσα πιθανότητα σε βήματα (Pirazzoli et al, 1989).



Σχήμα 19: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών από το ακρωτήριο του Αρχάγγελου έως το Χαράκι. Ε1-Ε5 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.107

#### Λίνδος (Τέμαχος Φλοιού F)

Στην περιοχή της Λίνδου, ίχνη διάβρωσης έξι επάλληλων ακτογραμμών βρίσκονται καλά διατηρημένα σε πολλούς κρημνούς (Σχήμα 20 και Εικόνα 8). Όπως και σε άλλα μέρη της ανατολικής ακτής του νησιού της Ρόδου, η παλαιότερη ακτογραμμή είναι η δεύτερη σε υψόμετρο (F2), σε ύψος περίπου +2,0m, και γνώρισε μια ακολουθία από φάσεις ανύψωσηςβύθισης και επανεμφάνισης (Pirazzoli et al, 1989).



Σχήμα 20: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών στην περιοχή της Λίνδου. F1-F6 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.109



Εικόνα 8: Λίνδος, όρμος Αγίου Παύλου , τέμαχος F, θέση 6 στο χάρτη (Σχήμα 20). Τα βέλη δείχνουν 6 ανυψωμένες ακτογραμμές στον ασβεστολιθικό κρημνό, μεταξύ της σημερινής στάθμης θάλασσας και του +2,,4m

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.110

# Μεταξύ Λάρδου και Γενναδίου (Τέμαχος Φλοιού G)

Εκτός από την εγκοπή στο +0,9m έως +1,0m, άλλες δύο παράλληλες συνεχείς μικρές εγκοπές, ορατές σε λίγους μεμονωμένους βράχους κοντά στο δρόμο, στη δυτική πλευρά του όρμου Λάρδου, έχουν μετρηθεί σε ύψος περίπου +0,6m και +0,4m αντίστοιχα (Σχήμα 21) (Pirazzoli et al, 1989).



Σχήμα 21: Ίχνη ανυψωμένων Ολοκαινικών ακτογραμμών μεταξύ Λάρδου και Γενναδίου. F1-F6 είναι προηγούμενες στάθμες θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.110

#### Η νότια ακτή του ακρωτηρίου Λαχανιά (Τέμαχος Φλοιού Η)

Τα δεδομένα δείχνουν μια ανύψωση λίγων εκατοστών που σταδιακά μειώνεται προς το νότο και που χρονολογείται στους ιστορικούς χρόνους (Pirazzoli et al, 1989).

#### 10.2.2.2 Βιολογικοί Δείκτες

Οι θαλάσσιες αποθέσεις σε παράκτιους βράχους αποτελούνται από barnacles (πεταλίδες), σιμεντωμένα ιζήματα πλήρωσης εγκοπών (Π.χ. στο προφίλ 5,

Σχήμα 16) ή, συχνότερα, από επιστρώσεις βιοδομημένου υλικού σε ασβεστολιθικούς κρημνούς. Οι τελευταίες αποτελούνται από vermetid gastropods, ασβεστολιθικά ερυθρά φύκη, σκώληκες serpulid που ζουν σε σωλήνες και τρηματοφόρα που δημιουργούν κρούστα. Αυτές οι επιστρώσεις συνήθως δείχνουν ότι τα παλαιότερα επίπεδα χαμηλής παλίρροιας βρίσκονταν πάνω από την απόθεση. Ο ακριβέστερος καθορισμός της θέσης της στάθμης της θάλασσας σχετίζεται με την ερμηνεία των θαλάσσιων συγκεντρώσεων μέσα στη βιοδομή.

Μεταξύ των οργανισμών που δομούν από τα οποία ελήφθησαν δείγματα στη Ρόδο από τους P. Pirazzoli et al.(1989), ο πιο ακριβής δείκτης είναι το vermetid Dendropoma και το ασβεστοφύκος Neogoniolithon notarisii, τα οποία ζουν στο ανώτερο όριο της υποπαλιρροιακής ζώνης. Αυτοί οι δομητές συχνά αναπτύσσουν μια τυπική στεφάνη ή ακόμα και ένα στρώμα ("trottoir"), των οποίων η ανώτερη επιφάνεια φτάνει το επίπεδο της θάλασσας. Άλλες χρήσιμες ενδείξεις είναι δυνατό να παρέχονται από το Lithophyllum cf. lichenoides Philippi, επίσης γνωστό για την ανάπτυξή του, με τη μορφή "trottoirs", το οποίο μπορεί να ζήσει ακόμη υψηλότερα από το επίπεδο της θάλασσας σε σκιερά τμήματα της βραχώδους ακτής. Ομοίως, το Goniolithon papillosum είναι χαρακτηριστικό του κατώτερου τμήματος της μεσοπαλιρροιακής ζώνης, το οποίο αντέχει στη έκθεση στην άμεση ηλιακή ακτινοβολία και την ανάπτυξη στο πάνω μέρος του ή στα εκτεθειμένα υποστρώματα, «trottoirs». Χρήσιμες αν και λιγότερο ακριβείς ενδείξεις έχουν επίσης ληφθεί από άλλα είδη ασβεστοφυκών.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί οπές από Lithophaga είναι δυνατό να βρεθούν σε οποιοδήποτε βάθος στις παράκτιες περιοχές. Κάποιοι σκληροί ασβεστολιθικοί κρημνοί στη Ρόδο έχουν οπές στο μέτωπό τους έως και αρκετές δεκάδες μέτρα ψηλά, που αντιστοιχούν σε παλαιές (μη χρονολογημένες) υψηλότερες στάθμες θάλασσας. Αυτές οι οπές εξαφανίζονται στο επίπεδο όπου βρίσκονται τα χαρακτηριστικά διάβρωσης του Ολοκαίνου (για παράδειγμα, στο προφίλ 7, Σχήμα 17). Στη θέση 6 (

Σχήμα 16) ωστόσο οι οπές Lithophaga ξαφνικά διακόπτονται στο επίπεδο των πλέον υψηλών εγκοπών του Ολόκαινου. Η απουσία οπών εκεί οφείλεται στη διαβρωτική δράση του A1 επιπέδου της θάλασσας (Pirazzoli et al, 1989).

#### 10.2.2.3 Χρονολόγηση ανύψωσης

Η ηλικίες που προέκυψαν από τη χρονολόγηση των δειγμάτων από τους P. Pirazzoli et al.(1989) φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Crustal	Profile	Analyzed	Elevation	Lat.	Long.	Apparent
block *	no.	sample	above MSL	North	East	<sup>14</sup> C age
			(m)			(yr B.P.)
A	5	2RO11	2.4	36°23′	28°17'	$5550 \pm 120$
Α	6	2RO10	3.2	36°23′	28°17'	$5070 \pm 120$
Α	6	2RO9	3.0	36°23'	28°17′	3990 ± 80
A	6	2RO8	2.35	36°23'	28°17'	$2280 \pm 110$
Α	7	2RO6	2.1	36°23'	28°17′	
Α	8	2RO5	$1.1 \pm 0.3$	36°22'	28°17′	855 ± 70
A	9	2RO4	$1.5 \pm 0.2$	36°22'	28°17′	390 ± 70
A-B	1	2RO12	0.7	36°20'	28°15′	895 ± 70
A–B	1	2RO13	0.55	36°20'	28°15′	Greek-Roman
в	6	2RO15	1.55	36°20'	28°15'	
в	6	2R014	1.15	36°20'	28°15'	3045 + 80
в	6	2RO16	0.9	36°20'	28°15'	2040 T 00
в	8	2RO19	3.45	36°19'	28°15'	
в	8	2RO18	3.3	36°19″	28°15'	4895 + 100
в	8	2RO17	2.6	36°19'	28°15'	3465 ± 80
в	8	R10	1.9	36°19'	28°15'	4050 + 80
в	8	2RO20	2.4	36°19'	28°15'	
в	8	2RO21	1.85	36°19′	28°15'	
Ċ	1	R11	2.8	36°15'	28°10′	$4270 \pm 100$
с	1	R12	2.8	36°15'	28°10'	$4340 \pm 100$
С	1	2RO22	2.85	36°15″	28°13'	
с	1	2RO23	2.05	36°15'	28°13′	$5480 \pm 100$
с	1	2RO24	1.15	36°15′	28°13'	
С	1	2RO25	0.7	36°15′	28°13'	2580 ± 70
						2745 ± 75
D	5	2RO26	2.2	36°14′	28°12′	
D	8	R13	3.1	36°13'	28°09'	$3500 \pm 100$
						3700 ± 100
D	8	R14	21	36°13'	28° 09'	4530 ± 100
D	8	R15	1.8	36°13'	28°09'	4420 ± 100
D	8	2RO27	3.2	36°14'	28°12'	4440 1 100
D	8	2RO28	2.6	36°14'	28°12'	
D	10	2RO43	3.35	36^13'	28°11'	
D	10	2RO46	2.5	36°13'	28°11'	
D	10	2RO44	1.95	36°13'	28°11'	
D	10	2RO47	0.9	36°13'	28°11'	
D	10	2RO45	0.5	36°13′	28°11′	$1205 \pm 100$
E	3	2RO42	1.0	36°11'	28°11′	$3255 \pm 100$
E	9	2RO31	1.3	36°08'	28°10′	$4900 \pm 100$
E	9	2RO29	1.2	36°08'	28°10'	2630 ± 70
E	9	2RO30	0.3	36°08'	28°10′	1840 ± 60
F	1	2RO39	1.3	36°06'	28° 08'	5010 + 100
F	2	2RO40	1.9	36°06'	28°08'	4550 + 100
F	4	2RO41	1.7	36°06'	28° 08'	3590 + 80
F	10	2RO37	1.2	36*04'	28*07'	$2620 \pm 70$
F	10	2RO38	1.0	36°04'	28°07'	
G	1	2RO36	0.8	36°04'	28°03'	3620 ± 60
G	4	2RO35	0.7	36°03'	28°00'	$1330 \pm 60$
G	4	2RO34	0.55	36°03'	28°00'	
G	5	2RO32	0.45	36°02'	28°00'	
G	5	2RO33	0.45	36°02′	28°00'	2980 ± 80
н	Cape					
	Lacania	R5	0.3	35°57′	27°54′	1850 ± 70

#### Πίνακας 4: Θέσεις δειγματοληψίας και φαινόμενες ηλικίες ραδιοάνθρακα, (οι διορθώσεις φαίνονται στον Πίνακας 5 και οι θέσεις στο Χάρτης 3)

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.93-94 Όλα τα δείγματα που περιείχαν δύο γενιές θαλάσσιου λεπτόκοκκου υλικού, οι οποίες γενιές χωρίζονται από μια φάση διαγένεσης διορθώθηκαν χρονολογικά (Πίνακας 5) (Pirazzoli et al, 1989).

Crustal	Sample no.	Total sample		Second generation of cements				Ages deduced	
block		apparent age (yr B.P.)	relative 14C	% of total sample m <sub>2</sub>	estimated possible time of deposition		relative 14C	for the first generation of	
			activity A <sub>1+2</sub>		latest (yr B.P.)	earliest (yr B.P.)	activity A <sub>2</sub>	cements (yr B.P.)	
A	2RO9	<b>3990</b> ± 80	0.61	28	2280	3500	0.75 0.65	4720 4150 } 44	35 ± 365
A	2 <b>RO</b> 11	$5550 \pm 120$	0.50	19	2280	3500	0.75 0.65	$\begin{pmatrix} 6524 \\ 6082 \end{pmatrix}$ 63	03 ± 341
А	2RO10	5070 ± 120	0.53	14	2280	3500	0.75 0.65	$5660 \\ 5410 $ 55	35 ± 245
В	2RO17	3465 ± 80	0.65	12	2000	3000	0.78 0.69	$\left. \frac{3690}{3580} \right\} = 36$	$35 \pm 135$
В	R10	4050 ± 80	0.60	26?	1200	3000	0.86 0.69	5450 4550 50	00 ± 530
C-D	2RO23	5480 ± 100	0.51	20	2700	4350	0.715 0.58	$\begin{pmatrix} 6260 \\ 5700 \end{pmatrix}$ 59	80 ± 380
C-D	R14	4530 ± 100	0.57	30	2700	4350	0.715 0.58	$\begin{pmatrix} 5450\\ 4590 \end{pmatrix}$ 50	20 ± 530
C-D	R15	4420 ± 100	0.58	38	2700	4350	0.715 0.58	$\begin{pmatrix} 5620 \\ 4420 \end{pmatrix}$ 50	20 ± 700
F	2R.O40	4550 ± 100	0.57	25	2700	3250	0.715 0.67	$\binom{5230}{5000}$ 51	15 ± 215
F	2RO41	3590 ± 80	0.64	30	2700	3250	0.715 0.67	$\begin{pmatrix} 4000 \\ 3750 \end{pmatrix}$ 38	75 ± 205
G	2RO36	3620 ± 60	0.64	15	800	2300	0.905	$\frac{4200}{3860}$ 40	30 ± 230
G	2RO33	2980 ± 80	0.69	27	800	2300	0.905	$\frac{4020}{3250}$ 36	35 ± 465

Πίνακας 5: Διορθώσεις ηλικιών για όσα δείγματα είχαν δυο γενιές θαλάσσιου λεπτόκοκκου υλικού, διαχωρισμένες από μια περίοδο έκθεσης στην επιφάνεια (σχετίζεται με τον Πίνακας 4)

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.100

Η ηλικία της ανώτερης ακτογραμμής σε γενικές γραμμές μειώνεται από το Βορρά προς το Νότο. Σε τρεις περιπτώσεις ωστόσο (A2, B2, G1) το επίπεδο της θάλασσας επέστρεψε και πάλι στο ίδια θέση και έτσι δύο διαφορετικές ηλικίες αντιστοιχούν στην ίδια ακτογραμμή. Η ανώτερη ακτογραμμή δεν είναι η παλαιότερη σε διάφορα τεμάχη (A, C-D, F).

Η μόνη γενική τάση σε όλα τα τεμάχη είναι αυτή της ανύψωσης για τις πιο πρόσφατες κινήσεις.

Παρά το γεγονός ότι δεν υπάρχει ένας κανόνας ώστε να υπολογίζεται η πιο πιθανή ηλικία μέσα σε κάθε εύρος αβεβαιότητας, άλλα στοιχεία μπορούν να περιορίσουν αυτό το εύρος και να προτείνουν αυστηρότερους περιορισμούς. Στο δείγμα 2RO11, για παράδειγμα, η εγκοπή

της ακτογραμμής A2, είναι κατ 'ανάγκην παλαιότερη από τη βιοδόμηση που την γέμισε και ήταν απαραίτητοι τουλάχιστον μερικοί αιώνες ώστε να σχηματιστεί η εγκοπή στο σκληρό ασβεστολιθικό βράχο. Σε αυτή την περίπτωση, η πραγματική ηλικία της πρώτης γενιάς υλικού βρίσκεται στο τελευταίο μέρος του εύρους αβεβαιότητας και αυτό σημαίνει ότι η δεύτερη γενιά πρέπει να έχουν αποτεθεί κατά την έναρξη της φάσης βύθισης.

Σε άλλες περιπτώσεις, ωστόσο, η δεύτερη γενιά υλικού έχει αποτεθεί κατά πάσα πιθανότητα προς το τέλος της αντίστοιχης φάσης βύθισης, μετατοπίζοντας την πραγματική ηλικία της πρώτης γενιάς προς το αρχικό μέρος του εύρους αβεβαιότητας. Αυτή ήταν ίσως η περίπτωση, για παράδειγμα, των δειγμάτων 2RO14 και 2RO15, αφού τουλάχιστον μερικοί αιώνες ανύψωσης ήταν αναγκαίοι για να δημιουργηθεί η ακτογραμμή C5-D6, πριν τα δείγματα 2RO12 και 2RO11 αποτεθούν σε υψηλότερο επίπεδο (Pirazzoli et al, 1989).

#### Περιοχή μεταξύ της πόλης της Ρόδου και της Καλλιθέας (Τέμαχος Φλοιού Α)

Μεταξύ των συλλεχθέντων δειγμάτων ασβεστολιθικών φυκών που ελήφθησαν από το τέμαχος Α, κανένα δεν περιείχε πολύ ακριβείς δείκτες του επιπέδου της θάλασσας. Ωστόσο, λόγω της θέσης τους σε σχέση με το προφίλ της διάβρωσης, τα δείγματα **2RO9**, **2RO10** και **2ROII** θεωρούνται ότι ανήκουν στο προηγούμενο υψηλότερο επίπεδο της θάλασσας Α1. Έχουν δείξει φαινομενικές <sup>14</sup>C ηλικίες 3990±80, 5070±120 και 5550±120 yr B.P. αντίστοιχα. Το δείγμα **2ROI1**, ειδικότερα, είναι ένα βιόλιθος που αποτελείται από κοραλλιογενή φύκη, από Serpulidae και τρηματοφόρα, και καλύπτει σχεδόν εξ ολοκλήρου το βαθύτερο μέρος μιας συνεχούς παλιρροιακής εγκοπής. Η εγκοπή είναι ως εκ τούτου παλαιότερη από το βιόλιθο και άρα το επίπεδο Α2 που αντιστοιχεί στην εγκοπή είναι παλαιότερο από το επίπεδο Α1.

Το δείγμα **2RO8**, το οποίο σύμφωνα με το υψόμετρό του, πρέπει να έχει αποτεθεί από μια επιφάνεια θάλασσας κοντά στο A1, ή στο A2, είναι πολύ νεότερο (2280±110 yr B.P.).

Τέλος δύο δείγματα Chthamalus χρονολογήθηκαν στο  $855\pm70$  yr B.P. (**2RO5**, το οποίο συλλέχθηκε μεταξύ +0,8 και +1,4m, πιθανώς αντιστοιχεί στη στάθμη A5) και στο 390±70 yr B.P. (**2RO4**, το οποίο συλλέχθηκε μεταξύ +1,3 και +1,7m και που αντιστοιχεί στη στάθμη της θάλασσας A5 ή A4) (Pirazzoli et al, 1989).

Ο Ν. Flemming (1978) έχει αποδώσει τα παράκτια λατομεία μεταξύ της πόλης της Ρόδου και της Καλλιθέας είτε στην περίοδο κατά την οποία η κλασική Ελληνική πόλη ιδρύθηκε (περίπου 2400-2300 yr B.P.) ή στην εποχή των Ιπποτών του Αγίου Ιωάννη (περίπου 640-430 yr B.P.). Όντως το δείγμα 2RO8 αποδεικνύει ότι 2280±110 έτη B.P. το σχετικό επίπεδο της θάλασσας ήταν σχεδόν 4m πάνω από το δάπεδο των λατομείων και τα δείγματα 2RO5 και 2RO4 δείχνουν ότι τα λατομεία ήταν επίσης βυθισμένα κατά το μεσαίωνα. Η πιο πιθανή

περίοδος χρήσης των λατομείων, τα οποία είναι τώρα ελαφρώς βυθισμένα είναι τα Ρωμαϊκά χρόνια, όπως και πολλές άλλες περιοχές της Μεσογείου. Αυτό σημαίνει ότι έλαβε χώρα μια ταχεία πτώση 3,8m της σχετικής στάθμης της θάλασσας (από περίπου +3,4m έως -0,4m) λίγο μετά την απόθεση του 2RO8 δείγματος (2280 ±110 yr B.P.). Αυτή η πτώση αντιστοιχεί κατά πάσα πιθανότητα σε μια ξαφνική ανοδική κίνηση που συνόδευσε το μεγάλο σεισμό που είναι γνωστό ότι έλαβε χώρα το 222 π.Χ. και που κατέστρεψε τον Κολοσσό στο λιμάνι της Ρόδου (Pirazzoli et al, 1989).

#### Φαληράκι (Τέμαχος Φλοιού Α-Β)

Θραύσματα ηλικιών μεταξύ του τρίτου αιώνα π.Χ. και του τέταρτου αιώνα μ.Χ. έχουν βρεθεί παγιδευμένα σε στεφάνες Neogoniolithon notarisii σε ύψος +0,5 έως +0,6m, ενώ θαλάσσιες αποθέσεις φτάνουν το +1,0m και ένα δείγμα από ασβεστοφύκος το οποίο συλλέχθηκε στο +0,7m χρονολογήθηκε 895±70 yr B.P. Όλα αυτά αποδεικνύουν μια πρόσφατη ανύψωση, που ακολούθησε μια περίοδο σταθερότητας της στάθμης της θάλασσας στο +1m, και μια τεκτονική συμπεριφορά αρκετά διαφορετική από αυτή που παρατηρήθηκε στο τέμαχος A και σε κάποια εκατοντάδες μέτρα νότια, κοντά στο ακρωτήριο Λαδικό (Pirazzoli et al, 1989).

#### Ακρωτήρι Λαδικό (Τέμαχος Φλοιού Β)

Το επίπεδο της θάλασσας που αντιστοιχεί στην ακτογραμμή B1 έχει χρονολογηθεί 4895±100 yr B.P. με βάση ένα δείγμα φύκους αποτελούμενο από Lithophyllum cf. lichenoides, που συλλέχθηκε ελαφρώς πάνω από τη βάση της εγκοπής (Εικόνα 9). Ένα χαμηλότερο επίπεδο της θάλασσας Β4, το οποίο έχει αφήσει λίγα καθαρά χαρακτηριστικά διάβρωσης, αναγνωρίστηκε λόγω της εμφάνισης στεφάνης Neogoniolithon notarisii στο ύψος +1.9m και χρονολογήθηκε στο 4050±80 yr B.P. Αργότερα μια κρούστα φυκών που αναπτύχθηκε σε +2,6m συσχετίστηκε με το επίπεδο της θάλασσας B2 και χρονολογήθηκε στο 3465±80 yr Β.Ρ. Τα δύο τελευταία δείγματα, ωστόσο, μαζί με άλλα δείγματα που συλλέχθηκαν σε υψόμετρο μεταξύ +1,55 και +2,6m, εμφάνισαν φαινόμενα διαγένεσης και χρειάστηκαν διόρθωση. Ως εκ τούτου, ελήφθησαν διορθωμένες ηλικίες 5000±530 yr BP (όχι πολύ νεότερη από τη B1) και 3635±135 yr B.P. αντίστοιχα (Πίνακας 5). Η φάση ανύψωσης σχετίζεται με την ακτογραμμή B5 ή με ένα ελαφρώς χαμηλότερο επίπεδο θάλασσας το οποίο χρονολογήθηκε στο 3045±80 yr B.P από ένα δείγμα Lithophyllum lichenoides. Κατά τη διάρκεια της φάσης βύθισης που ακολούθησε το επίπεδο της θάλασσας έφτασε σε ένα ύψος +2,6 και +3,3 m, καθιστώντας το προφίλ της εγκοπής B2 ευρύτερο. Τέλος οι μικρές εγκοπές Β2 και Β6 πιθανώς να αντιστοιχούν σε δύο σύντομες περιόδους σχετικής σταθερότητας της

στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια της τελευταίας φάσης ανύψωσης (Pirazzoli et al, 1989).



Εικόνα 9 : Λαδικό Ρόδου, τέμαχος Β, θέση 8.

#### Κάτω από την εγκοπή που αντιστοιχεί στην ανώτερη στάθμη θάλασσας B1, φαίνεται καλά μια βιοδομημένη στεφάνη που αντιστοιχεί σε μια νεότερη στάθμη B4

Πηγή : P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece), Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 1989, p.104

#### Ακρωτήρι Θεοδόκο (Βάγιες) και Τσαμπίκα (Τέμαχος Φλοιού C-D)

Το παλαιότερο επίπεδο θάλασσας είναι πιθανό να αντιστοιχεί στην εγκοπή C2 – D2 στο +2,3 έως +2,45m. Τα δείγματα των φυκών RO14, RO15, 2RO23, 2RO24 έδωσαν ηλικία παλαιότερη των 5000 yr BP (για διορθωμένες ηλικίες, βλέπε Πίνακας 5), και δείχνουν χαρακτηριστικά διαγένεσης, γεγονός που υποδηλώνει μια σειρά φάσεων ανύψωσης, βύθισης και επανανύψωσης μετά την απόθεσή τους. Σύμφωνα με το υψόμετρο των δειγμάτων που αναλύθηκαν, αυτή η ακολουθία θα ήταν δυνατή μόνο εάν το επίπεδο της θάλασσας είχε πρώτα πέσει κάτω από +1,15m (πιθανόν C5 - D6) και μετά σε σύντομο χρονικό διάστημα, είχε ανέλθει στην ανώτατη ακτογραμμή (C1-D1), ελαφρά πάνω από τα +3m

Περίπου 4300 yr B.P. η ανώτερη εγκοπή (C1-D1) ήταν ήδη αρκετά βαθιά ώστε να καταστεί δυνατή η δημιουργία κρούστας Neogoniolithon notarisii στο δάπεδό της.

Λίγο αργότερα, μια σειρά ανυψωτικών κινήσεων επηρέασε τη σχετική στάθμη της θάλασσας κάνοντάς την να μειωθεί κατά βήματα. Το δείγμα 2RO25 αποτελούμενο από Amphiroa, και το οποίο ίσως αντιστοιχεί στην ακτογραμμή C3-D3, περιλαμβάνει θραύσματα άγνωστης ηλικίας και έχει χρονολογηθεί 2580±70 και 2745±75 yr B.P. Μια χαμηλότερη κρούστα από φύκη στο ύψος +0,5m, έδωσε ηλικίες 1205±100 yr B.P (Pirazzoli et al, 1989).

#### Από το ακρωτήριο του Αρχάγγελου έως το Χαράκι (Τέμαχος Φλοιού Ε)

Το παλαιότερο διαθέσιμο δείγμα φύκους (2RO31), στο +1.3m, χρονολογήθηκε στο 4900±100 yr B.P. και θα μπορούσε μόνο να έχει αναπτυχθεί πολύ κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας, αφού περιέχει τα είδη Neogoniolithon notarisii και Goniolithon papillosum. Η αντίστοιχη ακτογραμμή είναι πιθανώς η E2, στο +1,5m, που φαίνεται στο σκληρό ασβεστολιθικό προφίλ από μια μικρή συνεχή εγκοπή, αλλά μπορεί επίσης να είναι η E1, δεδομένου ότι οι δύο ακτογραμμές απέχουν πολύ λίγο υψομετρικά μεταξύ τους.

Περίπου στο 2630±70 yr B.P. το επίπεδο της θάλασσας ήταν ακόμα πολύ κοντά στην ίδια θέση, όπως φαίνεται από το παρουσία του Ν. notarisii στο δείγμα 2RO29. Μετά το επίπεδο της θάλασσας έπεσε λίγο, προφανώς σε τρία στάδια, και έφτασε στο E5, περίπου το 1840±60 yr BP, όταν ένα φύκος Ν. notarisii αναπτύχθηκε έως και +0,3m. Το τελευταίο βήμα ανύψωσης έφερε το επίπεδο της θάλασσας στη σημερινή του θέση (Pirazzoli et al, 1989).

#### Λίνδος (Τέμαχος Φλοιού F)

Η ακτογραμμή F2 έχει χρονολογηθεί (μετά τη διόρθωση της ηλικίας) μεταξύ 3800 και 5000 yr B.P. Ο κύκλος ανύψωσης και βύθισης της ακτογραμμής F2, συνέβη λίγο μετά τα 3800 yr B.P., οπότε οι θαλάσσιες αποθέσεις θα μπορούσαν να αναπτυχθούν στο προφίλ 10 (Σχήμα 20), μόλις κάτω από μια εγκοπή σε περίπου +1,5m. Αργότερα, καθοδικές κινήσεις έφεραν την ακτογραμμή κάτω σε δύο βήματα έως τη σημερινή της θέση (Pirazzoli et al, 1989).

#### Μεταξύ Λάρδου και Γενναδίου (Τέμαχος Φλοιού G)

Παρά την κατακόρυφη εγγύτητά τους, χρονολογήθηκαν και οι δύο αυτές ακτογραμμές. Ένα δείγμα φύκους που συλλέχθηκε στο +0,8m, στη βάση της ακτογραμμής G1 έχει χρονολογηθεί στα 4030±230 yr B.P. (διορθωμένη ηλικία).

Στη θέση 5, ένας απομονωμένος ασβεστολιθικός βράχος με καλά αναπτυγμένη ζωντανή στεφάνη Neogoniolithon στη βάση του, δείχνει μια εγκοπή στο 0,9±0.1m (που αντιστοιχεί στην ακτογραμμή G1), αλλά στερείται ομόλογα απολιθωμένα φύκη σε αυτό το επίπεδο. Κοντά στην ακτή, σε ένα ελαφρώς χαμηλότερο επίπεδο, η ακτογραμμή G2, χρονολογήθηκε στο 3635±465 yr B.P. (διορθωμένη ηλικία) από κρούστες φυκών (Neogoniolithon notarisii, που αναπτύχθηκαν μεταξύ +0,4 και +0,5m, ελαφρώς κάτω από έναν ανυψωμένο ακτόλιθο). Μια περιοδική ανύψωση, που αντιστοιχεί πιθανώς στη στάθμη θάλασσας G3, αποκαλύπτεται από τυπικά χαρακτηριστικά διαγένεσης σε όλα τα δείγματα παλαιότερα των 3000 yr B.P. Αργότερα, μια αύξηση της σχετικής στάθμης της θάλασσας φτάνει το G1 και πάλι ή σε ελαφρώς υψηλότερο θέση, βύθισε όλες τις προηγούμενες ακτογραμμές, αφήνοντας πολλές επιστρώσεις Neogoniolithon notarisii πάνω από μια ασθενώς ενοποιημένη αμμώδη

πλατφόρμα. Ένα δείγμα Neogoniolithon, συλλέχθηκε σε 0,7m και χρονολογήθηκε στο 1330±60 yr B.P.

Μια τελευταία, πιο πρόσφατη κίνηση ανύψωσης προκάλεσε την εμφάνιση όλης της σειράς των παράλληλων ακτών (Pirazzoli et al, 1989).

# 10.2.2.4 Ιστορία μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας και αποδείζεις ταχείας ανύψωσης

Επιβεβαιώθηκε η ύπαρξη στη Ρόδο πολλών μικρών τεμαχών φλοιού, με μήκος μικρότερο από 20km, με ανεξάρτητη τεκτονική συμπεριφορά. Κάθε τέμαχος έχει επηρεαστεί από κινήσεις ανύψωσης και βύθισης, με μια επανάληψη χρόνου που ποικίλει από μερικούς αιώνες έως χίλια ή δυο χιλιάδες χρόνια. Αν και πολλά σημάδια διάβρωσης των ακτογραμμών έχουν εκτεθεί σε θαλάσσια βιοδιάβρωση λόγω της βύθισης και είναι ως εκ τούτου κακώς διατηρημένα, τα δεδομένα που έχουν διατηρηθεί επαρκούν σε πολλές περιπτώσεις ώστε να συναχθεί ότι οι κατακόρυφες κινήσεις ήταν συχνά ταχείες και πιθανώς συνόδευαν ισχυρούς σεισμούς (Pirazzoli et al, 1989).

Σε γενικές γραμμές, επιβεβαιώνεται μια τάση τεκτονικής ανύψωσης, η οποία σταδιακά αυξάνεται από νότο στο βορρά, και η μέση ταχύτητά της ποικίλει από το μηδέν στο Πρασσονήσι έως περίπου 1mm / yr στο βόρειο τμήμα του νησιού. Τα ποσοστά αυτά είναι πολύ μεγάλα σε σχέση με το μέσο όρο που επικρατεί στην αρχή του Πλειστόκαινου ή ακόμα και από την τελευταία μεσοπαγετώδη περίοδο. Αυτό υποδηλώνει ότι οι τεκτονικές κινήσεις, είναι το αποτέλεσμα ενός συνόλου επιταχύνσεων, επιβραδύνσεων ακόμη και ανατροπών των τάσεων (Pirazzoli et al, 1989).

## 10.2.2.5 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Διάφορα αποδεικτικά στοιχεία στην ανατολική Μεσόγειο έχουν δείξει ότι ένα σύνολο τεκτονικών γεγονότων, δηλαδή ο Πρώιμος Βυζαντινός Τεκτονικός Παροξυσμός (EBTP) έλαβε χώρα περίπου 1530 yr B.P. Οι πιο δραστικές τεκτονικές κινήσεις έχουν αναφερθεί στην Κρήτη. Μια ανασκόπηση των αρχαιολογικών διαθέσιμων στοιχείων, δείχνει κατακόρυφες μετακινήσεις στο Ελληνικό Τόξο που θα μπορούσαν να σχετίζονται με το EBTP ή με την προπαρασκευαστική του φάση (Pirazzoli et al, 1989).

Το νησί της Ρόδου δεν φαίνεται ωστόσο να έχει επηρεαστεί ιδιαίτερα από αυτόν τον τεκτονικό παροξυσμό. Αν και μερικές μετατοπίσεις των ακτογραμμών μπορούν να χρονολογηθούν στο 1.530 yr B.P., καμία από αυτές τις κινήσεις δεν φαίνεται να έχει σχέση με τις προηγούμενες και τις επόμενες (Pirazzoli et al, 1989).

Υπάρχει πράγματι μια αντίθεση μεταξύ του γήινου φλοιού στην περιοχή της Ρόδου και του μεγάλου μεγέθους του τεμάχους που χαρακτηρίζει το δυτικό τμήμα του Ελληνικού Τόξου. Αυτή η απόκλιση πιθανώς σχετίζεται με την οριακή θέση της Ρόδου, στο πλαίσιο του Ελληνικού τόξου και στο σύστημα της τάφρου, όπου διεργασίες υποβύθισης εξακολουθούν να είναι, ενδεχομένως, ενεργές, στη δυτική πλευρά. Στην ανατολική πλευρά, οι σημαντικές κινήσεις ανάμεσα στην ανατολική Μεσόγειο και το Αιγαίο, λαμβάνουν χώρα κατά πάσα πιθανότητα κατά μήκος του ρήγματος μετασχηματισμού της τάφρου του Στράβωνα και του Πλινίου, αφήνοντας στα βορειοδυτικά μια ευρεία περιοχή, συμπεριλαμβανομένης της Ρόδου, όπου η λιθόσφαιρα είναι εξαιρετικά κατακερματισμένη από ακανόνιστα κατανεμημένες τεκτονικές πιέσεις (Pirazzoli et al, 1989).

Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η μεγαλύτερη επεισοδιακή κατακόρυφη μετατόπιση ακτογραμμής που έχει παρατηρηθεί στη Ρόδο, περίπου 3,8m, συσχετίζεται με έναν σεισμό του 222 π.Χ., γνωστού από ιστορικές πηγές (Stiros & Pirazzoli, 1995). Ο σεισμός αυτός που εκτόπισε την ακτογραμμή από το A1 στο A8 με μια μόνο κίνηση ανύψωσης είναι αυτός που κατέστρεψε τον Κολοσσό στο λιμάνι της Ρόδου.

#### 10.2.3 Νησιά του Ιονίου

Τα νησιά του Ιονίου και το Ιόνιο πέλαγος που τα περιβάλλει, αντιστοιχούν σε μια περιοχή μετάβασης μεταξύ της θεωρητικής υποβύθισης κατά μήκος του Ελληνικού τόξου που τελειώνει κοντά στην Κεφαλονιά (Χάρτης 4) και της ηπειρωτικής σύγκρουσης βορειότερα. Τα Ιόνια νησιά πιθανόν σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς σαν αποτέλεσμα του έντονου συμπιεστικού τεκτονισμού και της ανύψωσης που άρχισε στο κατώτερο Πλειόκαινο. Η σημερινή τεκτονική δομή αποτελείται από βορειοανατολικές έως βόρειο-βορειοανατολικές τάσεις. Η συμπιεστική τεκτονική και η σχετική με αυτή ανύψωση είναι ακόμα ενεργή όπως φαίνεται από την έντονη σεισμικότητα, τον εστιακό μηχανισμό των νησιών και τις παράκτιες κινήσεις που έχουν συσχετιστεί με τους σεισμούς του 1953.

Παλαιές ακτογραμμές έχουν αναγνωριστεί από ίχνη θαλάσσιας διάβρωσης (εγκοπές, πάγκοι, παλιρροιακές κοιλότητες, ανυψωμένες οπές, θαλάσσιους αχινούς ή σπόγγους), από θαλάσσιες βιοδομές (στεφάνες ή κρούστες από απολιθωμένα vermetids, ασβεστοφύκη, barnacles, κτλ) και από βυθισμένα αρχαιολογικά ερείπια.

Επειδή τα περισσότερα δείγματα που συλλέχθηκαν από τους P. Pirazzoli et al.(1994a), ήταν μικρά, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος AMS. Όλες οι ηλικίες ραδιοάνθρακα υπολογίστηκαν με πιθανότητα 0,95(2σ) και βαθμονομήθηκαν σε χρόνια π.Χ ή μ.Χ, με χρήση της καμπύλης

βαθμονόμησης θαλάσσιων δειγμάτων και της επίδρασης ταμιευτήρα που είναι 320±25 χρόνια για τη Μεσόγειο (Pirazzoli et al, 1994a).

Σαφείς αποδείξεις δυο ανυψώσεων βρέθηκαν στο κεντρικό τμήμα της Κέρκυρας και της Κεφαλονιάς και μια ανύψωση στη νοτιοδυτική χερσόνησο της Ζακύνθου, ενώ έγινε εκτίμηση ότι ανοδικές και καθοδικές κινήσεις φαίνεται να έχουν επικρατήσει στο βόρειο τμήμα της Λευκάδας. Το γεγονός ότι δεν ήταν δυνατό να βρεθούν ακριβή στοιχεία κατακόρυφων κινήσεων σε άλλες παράκτιες περιοχές των Ιονίων νησιών, δεν αποκλείει το ενδεχόμενο δράσης κατακόρυφων σεισμοτεκτονικών κινήσεων στην περιοχή, ειδικά αφού οι γεωλογικές συνθήκες ή η έκθεση στη δράση των κυμάτων αποτελούν δυσμενή στοιχεία για την διατήρηση απολιθωμένων ιχνών ακτογραμμής. Το μικρό πλάτος των ανυψωτικών κινήσεων (από μερικά εκατοστά έως ένα μέτρο) είναι επίσης ένα δυσμενές γεγονός για τη διατήρηση των εύθραυστων απολιθωμένων βιοδομών, το οποίο αποδεικνύει, εφόσον υπάρχουν υπολείμματα, ότι η ανύψωση ήταν γρήγορη. Βέβαια ο συν σεισμικός χαρακτήρας μιας κίνησης μπορεί να συναχθεί και από ένα σύνολο άλλων δεικτών (μορφολογικών, στρωματογραφικών, κα).

Μόνο δυο ανυψωμένες ακτογραμμές είναι ανεπαρκής αριθμός για να υπολογιστεί ο μέσος χρόνος επαναφοράς των συν σεισμικών κινήσεων στα νησιά του Ιονίου. Μπορεί όμως να ειπωθεί ότι ο χρόνος επαναφοράς είναι πιθανότατα της τάξης των μερικών χιλιάδων χρόνων. Με δεδομένο ότι η τελευταία κίνηση έλαβε χώρα το 1953 μ.Χ και/ή μεταξύ του 4<sup>ου</sup> και του 6<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ (όπως θα φανεί στα κεφάλαια 10.2.3.1, 10.2.3.2, 10.2.3.3, 10.2.3.4, 10.2.3.5), μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι στα νησιά του Ιονίου, αντίθετα από τη γειτονική περιοχή του Κορινθιακού κόλπου, δεν επίκειται ένας νέος σεισμός μεγάλου μεγέθους ούτε οι συνσεισμικές κινήσεις που θα τον συνόδευαν (Pirazzoli et al, 1994a).



Χάρτης 4 : Χάρτης της περιοχής των νησιών του Ιονίου.

Η έντονη γραμμή δείχνει τις ανυψωμένες ακτογραμμές του Ολοκαίνου, η ισοβαθής των 3000m το βορειότερο άκρο του Ελληνικού τόξου και η αρίθμηση αντιστοιχεί σε περιοχές που μελετήθηκαν από τους P. Pirazzoli et al.(1994a) και αναφέρονται στο κείμενο ( το IT αντιστοιχεί στην Ιόνια επώθηση στη Ζάκυνθο)

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.398

## 10.2.3.1 Ζάκυνθος

# Χρονολογούμενοι βιολογικοί δείκτες θαλάσσιας στάθμης με ελάχιστους μορφολογικούς δείκτες

Στην Κέρκυρα τη Λευκάδα και τη Ζάκυνθο η λιθολογία των ακτών είναι συχνά δυσμενής στη διατήρηση ιχνών που έχουν απομείνει από παλαιά επίπεδα της θάλασσας. Ωστόσο στη νοτιοανατολική χερσόνησο της Ζακύνθου υπάρχουν τέτοιες ενδείξεις

#### 10.2.3.1.1 Μορφολογικοί και βιολογικοί δείκτες ανυψωμένης ακτογραμμής

Έχει αναγνωριστεί μια ανυψωμένη ακτογραμμή, περίπου 1m, σε διάφορες περιοχές στη νοτιοανατολική χερσόνησο του νησιού. Συγκεκριμένα, ένα βραχώδες ακρωτήριο, ελαφρώς ανατολικά της ακτής δείχνει καλά διατηρημένες κρούστες από κοραλλιογενή φύκη σε κάθετες επιφάνειες και άφθονα υπολείμματα vermetid σε ανυψωμένες παλιρροιακές κοιλότητες (Σχήμα 22). Μια θετική διαφορά της στάθμης της θάλασσας της τάξης των

110±10cm υπολογίστηκε από άμεσες υψομετρικές μετρήσεις νεκρών χαρακτηριστικών (*Dendropoma*) λαμβάνοντας ως σημείο αναφοράς τα αντίστοιχα ζωντανά χαρακτηριστικά στην ίδια πλευρά της ακτής (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Κοντά στη πιο νότια άκρη αυτής της χερσονήσου μια θαλάσσια αναβαθμίδα πιθανόν Πλειστοκαινικής ηλικίας παρουσιάζει μια μεγάλη επιφάνεια στο +10-20m αποτελούμενη από κροκαλοπαγές και μπλε μάργες, δείχνει ότι στη θέση αυτή υπάρχει μια μακροπρόθεσμη τάση ανύψωσης. Δεν παρατηρήθηκαν σε άλλες περιοχές του νησιού σημάδια ανυψωτικών κινήσεων του Ολοκαίνου.

Στη βόρεια ακτή κοντά στην Αγία Αικατερίνη (Χάρτης 4, θέση 22), έχουν βρεθεί σημάδια λατομείων, σε ψαμμίτη του Πλειόκαινου, βυθισμένα στο -0,3m στη βάση ενός μικρού λόφου, όπου υπάρχουν επίσης ερείπια αρχαίων τοίχων και όστρακα (Pirazzoli et al, 1994a).





Το υπόβαθρο φέρει ίχνη παλιρροιακής διάβρωσης με τέλεια διατηρημένα επί τόπου Vermetus triqueter και λεπτές δομές από φύκη στις κάθετες επιφάνειες

Πηγή : J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Biological Indicators of Relative Sea-Level Variations and of Co- Seismic Displacements in the Mediterranean Region, Journal of Coastal Research, Vol. 10, No.2, Florida 1994, p. 403

#### 10.2.3.1.2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης

Οι θαλάσσιες βιοδομές που ανήκουν στην ανυψωμένη ακτογραμμή της νοτιοανατολικής χερσονήσου του νησιού έδωσαν ηλικίες μεταξύ 520-200cal π.Χ και 200-500cal μ.Χ ( Πίνακας 6 και Σχήμα 22), όταν η ανύψωση έλαβε χώρα πιθανόν σεισμικά (Pirazzoli et al, 1994a). Η πολύ γρήγορη, συν-σεισμική φύση της αλλαγής αυτής εντοπίστηκε από την τέλεια διατήρηση των βραχύβιων δειγμάτων όπως *V. Triqueter* των οποίων τα λεπτά κελύφη δεν έδειξαν κανένα ίχνος μεσοπαλιρροιακής βιοδιάβρωσης (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Sample	Locality				Material dated	Elevation	Estimated palaeoMSL	Conventional	Calibrated
	No	Name	Lat. N	Long. E		(m above present counterpart)	(m above present MSL)	$\begin{array}{l} 14C \text{ age } \pm \\ 1\sigma^a \text{ yr BP} \end{array}$	age <sup>b</sup> ± 2σ yr AD/BC
					Vermetus				210BC-
91ZA1	25	Rahi	37°44'	20°56'	triqueter	$+1,05 \pm 0,1$	$+1,1 \pm 0,1$	$2290 \pm 70$	AD130
					Calcareous				
91ZA2	25	Rahi	37°44'	20°56'	algae	$+1,05 \pm 0,1$	$+1,1 \pm 0,1$	$2190 \pm 60$	80BC-AD240
91ZA4	23	Lavia Cape	37°45'	20°57'	Dendropoma	$+0.8 \pm 0.1$	$+0.8 \pm 0.1$	$2560 \pm 60$	520-200BC
		Lavia			Vermetus				
91ZA5	23	Cape	37°45'	20°57'	triqueter	$+0,8 \pm 0,1$	$+0,8 \pm 0,1$	$1960 \pm 60$	200-500AD
<sup>a</sup> =withou	<sup>a</sup> =without age reservoir correction (i.e., for $\delta^{13}$ C=12‰ PDB)								
$^{b}$ -calculated using the computer program for radiocarbon age calibration proposed by stuiver and Reimer (1986) and taking AR									

=-80± 25 for marine samples

# Πίνακας 6 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από τη Ζάκυνθο που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.399

Συνοψίζοντας, στη Ζάκυνθο είναι περιορισμένα τα στοιχεία για κινήσεις τεμαχών του φλοιού το Ολόκαινο στη νοτιοδυτική χερσόνησο η οποία έχει μήκος 8km και πλάτος 1,5-3km. Εκεί σύμφωνα με τη νεότερη ηλικία που λήφθηκε από μια ανυψωμένη ακτογραμμή μια ανύψωση της τάξης των 0,95±0,15m έλαβε χώρα πιθανόν συνσεισμικά κατά τη διάρκεια ή αμέσως μετά την περίοδο 200-500cal μ.Χ. Η ανυψωμένη περιοχή φαίνεται να είναι περιορισμένη στα βορειοδυτικά από την Ιόνια επώθηση (Pirazzoli et al, 1994a).

## 10.2.3.1.3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα

Άρα η ανύψωση στη Ζάκυνθο φαίνεται να έχει προκύψει από τους σεισμούς της περιόδου του Πρώιμου Βυζαντινού Τεκτονικού Παροξυσμού (350-550μ.Χ) (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.2.3.2 Κεφαλονιά

Έχουν βρεθεί σημάδια δυο ακτογραμμών του Ολοκαίνου που και οι δύο είναι καλύτερα διατηρημένες στο ΝΑ τμήμα του νησιού.

# 10.2.3.2.1 Μορφολογικοί και βιολογικοί δείκτες ανυψωμένων ακτογραμμών

Από την ακτογραμμή στο χαμηλότερο υψόμετρο, η οποία αντιστοιχεί στην ανύψωση που έλαβε χώρα κατά τους σεισμούς του 1953, έχουν μείνει αναγνωρίσιμα ίχνη σε διάφορες 100 παράκτιες περιοχές γύρω από τον κύριο πυρήνα του νησιού και η ακτογραμμή αυτή φτάνει το μέγιστο υψόμετρο +0,7m στην περιοχή του Πόρου (Χάρτης 4, θέση 18).

Η ακτογραμμή αυτή απεικονίστηκε συστηματικά (Σχήμα 23) με τη μέτρηση της υψομετρικής διαφοράς μεταξύ των ανώτερων ιχνών των ανυψωμένων υπολειμμάτων των Vermetid Dendropoma και /ή του Vermetus triqueter ή και των οπών Lithophaga (που συχνά περιείχαν και τα κελύφη στη θέση ανάπτυξης) σε σχέση με τα ομόλογά τους ζωντανά. Τα περιθώρια αβεβαιότητας στους υπολογισμούς της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας είναι μικρότερα από ±0,1m (Πίνακας 7) και επομένως είναι συστηματικά μικρότερα από τις κατακόρυφες κινήσεις που μετρήθηκαν (Pirazzoli et al, 1994a).



Σχήμα 23 : Γεωμορφολογικές και θαλάσσιες βιολογικές παρατηρήσεις της ανύψωσης του 1953 στην Κεφαλονιά.

#### Οι θέσεις με το αστέρι φαίνεται να έχουν ανυψωθεί από το σεισμό του 1953, τα μεγάλα νούμερα δείχνουν τη συν σεισμική ανύψωση σε εκατοστά. Δεν φαίνεται να έχουν λάβει χώρα μετασεισμικές κατακόρυφες μετατοπίσεις μεταξύ 1953 και 1992

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.402

Κοντά στο Αργοστόλι (Χάρτης 4, θέση 21) και στον Πόρο, το υψόμετρο της ακτογραμμής του 1953 ήταν εντυπωσιακά παρόμοιο με τους υπολογισμούς της συν σεισμικής ανύψωσης που είχε συναχθεί από τις αναφορές του σεισμού του 1953 (Σχήμα 23). Αυτή είναι μια καθαρή απόδειξη ότι την συνσεισμική ανύψωση του 1953 δεν ακολούθησαν μετασεισμικές κινήσεις.

Από την άλλη πλευρά αρκετά στοιχεία δείχνουν την εμφάνιση προσεισμικών κινήσεων βύθισης. Μια τέτοια περίπτωση αποτελεί και η περιοχή 1km βόρεια του χωριού Καραβόμυλος (Χάρτης 4, θέση 16) (Pirazzoli et al, 1994a). Αυτή η ανατολική ακτή του νησιού, κοντά στο χωριό Καραβόμυλος, φέρει ανυψωμένα Vermetids τα οποία, με την πρώτη ματιά, φαίνονται να συσχετίζονται με μια ανυψωμένη εγκοπή. Ωστόσο, το ανώτατο όριο των

νεκρών Vermetids είναι 25-30cm πάνω από την κορυφή της ανυψωμένης παλιρροιακής εγκοπής αντί να είναι ίδιο ή πολύ κοντά την τελευταία, όπως συμβαίνει για τους πληθυσμούς που ζουν σε μια σταθερή ακτή. Οι σωλήνες *Dendropoma* βρίσκονται πάνω από την κορυφή σε ένα στρώμα και φαίνεται πως ανήκουν στο ίδιο γένος. Αυτό ερμηνεύεται ως το αποτέλεσμα μιας ακολουθίας συμβάντων (Σχήμα 24) (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

1) το επίπεδο 1 αντιστοιχεί στη θέση της μέσης στάθμης θάλασσας κατά τη διάρκεια μιας αρκετά μεγάλης, τεκτονικά ήρεμης, περιόδου (αρκετοί αιώνες) που απαιτήθηκε για τη δημιουργία της εγκοπής με *Dendropoma* πριν το 1953.

2) Μια μικρή ανύψωση της σχετικής στάθμης της θάλασσας επέτρεψε στα Dendropoma να εγκατασταθούν στο ανώτερο τμήμα του προφίλ της εγκοπής (επίπεδο 2). Αυτή η κίνηση η οποία ενδέχεται να ήταν βαθμιαία ώστε να μην την παρατήρησαν οι κάτοικοι, πρέπει να διήρκησε μερικές δεκαετίες ώστε να επιτρέψει την πλήρη αποίκιση της επιφάνειας του βράχου από Dendropoma, χωρίς να τροποποιηθεί το προφίλ της εγκοπής (δεν υπήρχε χρόνος για τη προς τα πάνω μετατόπιση της ίδιας της εγκοπής). Αυτή η βύθιση πρέπει να συνεχίστηκε μέχρι το 1953 αφού όλα τα ανυψωμένα κελύφη Dendropoma στην εγκοπή ανήκουν στην ίδια γενιά.

3) Μια πολύ γρήγορη συν σεισμική ανύψωση της τάξης του 0,5±0,1m, έφερε τη μέση στάθμη θάλασσας στη σημερινή της θέση (επίπεδο 3). Η σχεδόν στιγμιαία φύση της κίνησης ανύψωσης φαίνεται από τη σχεδόν τέλεια διατήρηση των νεκρών σωλήνων Vermetid, οι οποίοι δεν έχουν υποστεί την ενεργή βιοδιάβρωση της μεσοπαλιρροιακής ζώνης (Pirazzoli et al, 1994a).

4) Η παρούσα περίοδος της σχετικής σταθερότητας της στάθμης της θάλασσας αντιστοιχεί στη εκσκαφή μιας αρχικής παλιρροιακής εγκοπής της τάξης των 3 έως 5cm σε 40 χρόνια. Δηλαδή, περίπου 1mm ανά έτος, ποσοστό το οποίο ταιριάζει με τα αποτελέσματα εκτιμήσεων από τη βόρεια Αδριατική και την Κρήτη (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).



Σχήμα 24 : Καραβόμυλος Κεφαλονιά. Η στάθμη της θάλασσας σήμερα είναι 35cm χαμηλότερα από το σημείο τομής των πλευρών της εγκοπής

Πηγή : J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Biological Indicators of Relative Sea-Level Variations and of Co- Seismic Displacements in the Mediterranean Region, Journal of Coastal Research, Vol. 10, No.2, Florida 1994, p. 404

**Τα υψόμετρα που μετρήθηκαν για τη δεύτερη ακτογραμμή** που φτάνει το +1,2m κοντά στον Πόρο φαίνονται στο Σχήμα 25.



Σχήμα 25 : Υψόμετρο σε εκατοστά παλαιότερης ακτογραμμής που μετρήθηκαν στο νησί της Κεφαλονιάς Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.403

Σύμφωνα με τη μορφολογία των εγκοπών και των πάγκων που ανήκουν σε αυτή την ακτογραμμή, η ανύψωση φαίνεται να ήταν σχετικά γρήγορη, πιθανόν ξαφνική.

Τα αρνητικά υψόμετρα στο Σχήμα 25 αντιστοιχούν στο βάθος που τέμνονται οι δύο πλευρές των μη χρονολογημένων εγκοπών που μετρήθηκαν υποβρύχια κοντά στο Αργοστόλι και στα ανατολικά της Σάμης (Χάρτης 4, θέση 17). Υποθέτοντας ότι οι υποθαλάσσιες εγκοπές αντιστοιχούν στην ίδια ανυψωμένη ακτογραμμή, η οποία χρονολογήθηκε στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού, η σεισμοτεκτονική κίνηση που έλαβε χώρα μεταξύ 350cal μ.Χ και 710cal
μ.Χ θα είχε δώσει κλίση στο μεγαλύτερο μέρος του κεντρικού τμήματος του νησιού της Κεφαλονιάς προς τα βορειοδυτικά, όπως στην περίπτωση των σεισμών του 1953 (Pirazzoli et al, 1994a).

Στον κόλπο Μύρτου (βορειοδυτικά του νησιού), στους κρημνούς του σκληρού ασβεστόλιθου, χωρίς καμία παλιρροιακή εγκοπή, μια άμεση μέτρηση έγινε μεταξύ του ανώτερου ορίου των νεκρών ανυψωμένων επιστρώσεων με Dendropoma και του ανώτατου ορίου των ζωντανών πληθυσμών του ίδιου είδους. Σε υπολείμματα λεπτά και ανομοιόμορφα και σε ισχυρή θαλάσσια διάβρωση, η παρατήρηση ήταν δύσκολη και η κάθετη ακρίβεια ήταν μόνο±10cm για μια ανύψωση των + 50cm. Αυτή η ανυψωτική κίνηση έλαβε χώρα στους σεισμούς του 1953 μ.Χ (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

Σε διάφορες θέσεις κατά μήκος της νότιας ακτής του νησιού έχουν αναφερθεί Πλειστοκαινικές θαλάσσιες αποθέσεις σε υψόμετρα μεταξύ 6,5 και 21,6m, που έχουν σχηματίσει αναβαθμίδες σε τοπικό επίπεδο και που θεωρούνται Τυρρήνιας ηλικίας. Στην ίδια περιοχή έχουν αναφερθεί και άλλα θαλάσσια ιζήματα που φτάνουν το υψόμετρο των 200m. Αυτά που βρίσκονται πάνω από το +100m πρέπει να είναι του Πλειοκαίνου. Άρα στο νότιο τμήμα του νησιού, η τάση ανύψωσης του Τεταρτογενούς πρέπει να ήταν σχετικά αργή (Pirazzoli et al, 1994a).

## 10.2.3.2.2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης

Οι φαινόμενες ηλικίες ραδιοάνθρακα των θαλάσσιων οργανισμών που πέθαναν από την ανύψωση του 1953 (χαμηλότερη υψομετρικά ακτογραμμή), ήταν χρήσιμες για τη βαθμονόμηση των ηλικιών ραδιοάνθρακα στην ανατολική Μεσόγειο, αφού οι δοκιμές ατομικών βομβών στο πλαίσιο του ψυχρού πολέμου δεν είχε επηρεάσει το περιβάλλον πριν το 1956. Όμως τα πρώτα αποτελέσματα έδειξαν για την Κεφαλονιά μεγάλη διασπορά ηλικιών, η οποία φαίνεται να καταλαμβάνει έναν ή περισσότερους αιώνες παλιότερα από τα 400 χρόνια που αντιστοιχούν στο παγκόσμιο μέσο όρο ( $\Delta R=0$ ) ή από 320±25 χρόνια ( $\Delta R=-80\pm25$ ) που προτάθηκε από τους S.Stiros et al.(1992) (Πίνακας 7). Αυτή η διασπορά έχει αποδοθεί στην επίδραση υποθαλάσσιων καρστικών πηγών που είναι πολλές και εμφανίζονται κατά μήκος των ακτών του νησιού (Pirazzoli et al, 1994a).

Οι πέντε ραδιοχρονολογήσεις ανυψωμένων δειγμάτων που ανήκουν στη δεύτερη ακτογραμμή και που συλλέχθηκαν από το νοτιοανατολικό μέρους του νησιού έδειξαν ηλικίες που κυμαίνονται μεταξύ 3060-2570cal π.Χ και 350-710cal μ.Χ (Πίνακας 7). Για να διορθωθεί η

104

πιθανή μόλυνση των κελυφών από παλαιότερο καρστικό νερό, οι ηλικίες ραδιοάνθρακα στην Κεφαλονιά διορθώθηκαν υποθέτοντας ότι η τοπική φαινομενική ηλικία του νερού της θάλασσας αντιστοιχεί στην ηλικία των κοντινών ανυψωμένων κελυφών που θανατώθηκαν το 1953 όταν ανυψώθηκαν από τη συνσεισμική κίνηση. Η ποιο πρόσφατη ηλικία που λήφθηκε (350-710cal μ.Χ) είναι πιθανόν να περιλαμβάνει τη στιγμή που ανυψώθηκε η παλαιά ακτογραμμή (Pirazzoli et al, 1994a).

Sample	Locality				Material dated	Elevation	Estimated palaeoMSL	Conventional	Calibrated
	No	Name	Lat. N	Long. E		(m above present counterpart)	elevation (m above present MSL)	$14C \text{ age } \pm 1\sigma^a \text{ yr BP}$	$age^{b} \pm 2\sigma$ yr AD/BC
		Poros			Vermetus				AD1953
90CF11	18	harbour	38°09'	20°47'	triqueter	+0,55	$+0,6 \pm 0,05$	$785 \pm 60$	earthquake
90CF12	18	Poros harbour	38°09'	20°47'	Marine crust	+1,3	$+1,2 \pm 0,1$	4290 ± 90	2360- 1750BCc
90CF12- B	18	Poros harbour	38°09'	20°47'	Marine crust	+1,1	$+1,2 \pm 0,1$	4870 ± 80	3060- 2570BCc
90CF8	19	Bay South of Poros	38 °08'	20°48'	Dendropoma	+0,5	+0,6 ± 0,05	$450 \pm 60$	AD1953 earthquake
90CF9	19	Bay South of Poros	38°08'	20°48'	Vermetus triqueter	+1,1	$+1,2 \pm 0,1$	$1820 \pm 70$	ADC 350- 710
90CF10	19	Bay South of Poros	38°08'	20°48'	Vermetids	+1,05	$+1,2 \pm 0,1$	$2360\pm70$	340BC- ADc140
90CF4	20	3km North of Scala	38°06'	20°49'	Dendropoma	+0,3	$+0.3 \pm 0.05$	$695 \pm 60$	AD1953 earthquake
90CF5	20	3km North of Scala	38°06'	20°49'	Lithophaga	+0,5	$+0,6 \pm 0,05$	$2410 \pm 70$	60BC- ADc390
90CF6	20	3km North of Scala	38°06'	20°49'	Lithophaga	+0,6	$+0,6 \pm 0,05$	3090 ± 70	880- 400BCc
90CF13	16	Karavomylos	38°16'	20°37,5'	Vermetids	+0,5	$+0,5 \pm 0,05$	675 ± 70	AD1953 earthquake
90CF14	15	West of Myrtos	38°20'	20°31'	Vermetids	+0,7	$+0.7 \pm 0.05$	600 ± 80	AD1953 earthquake
90CF2	21	Katavothres	38°12'	20°29'	Vermetids	+0,15	$+0,3\pm0,05$	$760 \pm 60$	AD1953 earthquake

<sup>a</sup> =without age reservoir correction (i.e., for  $\delta^{13}C=12$ ‰ PDB

<sup>b</sup> =calculated using the computer program for radiocarbon age calibration proposed by stuiver and Reimer (1986) and taking  $\Delta R = -80 \pm 25$  for marine samples

<sup>c</sup> =provisional calibration made by deducing directly from nearby shells killed by emergence in AD 1953

# Πίνακας 7 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από την Κεφαλονιά που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.399

Σε αρκετά σημεία στο νησί της Κεφαλονιάς (Αργοστόλι, Πόρος, Καραβόμυλος), φαίνεται ότι οι σεισμοί του 1953 έλαβαν χώρα μετά από μια περίοδο αργής ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας η οποία προφανώς συνδέεται με μια προς τα καθοδική κίνηση του υποβάθρου του νησιού. Σε περίπτωση που αυτή η κίνηση αποδειχθεί ότι είναι προ-σεισμική και συνδεθεί με την «προετοιμασία» των μεγάλων σεισμών, τότε μια περιοδική (σχετικά ανέξοδη) βιολογική παρακολούθηση των πληθυσμών των ζώων της ακτογραμμής θα να είναι ιδιαίτερα χρήσιμη ως προληπτική πηγή πληροφοριών (Laborel & Laborel-Deguen, 1994).

# 10.2.3.2.3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Συνοψίζοντας, το μεγαλύτερο τμήμα της Κεφαλονιάς επηρεάστηκε από δυο κάθετες μετατοπίσεις κατά τη διάρκεια του τέλους Ολοκαίνου πιθανόν μεταξύ 350 -710cal μ.Χ και το 1953 μ.Χ. Και οι δύο αυτές κινήσεις οδήγησαν στην ανύψωση του νοτιοανατολικού τμήματος του νησιού (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.2.3.3 Κέρκυρα

Πολύ λίγα ίχνη ακτογραμμών του Ολόκαινου που διαφέρουν υψομετρικά από τη σημερινή ακτογραμμή βρέθηκαν στο νησί κυρίως λόγω της συχνής παρουσίας Νεογενών και πρόσφατων ιζημάτων τα οποία δημιουργούν δυσμενείς γεωλογικές συνθήκες για τη διατήρηση των απολιθωμένων βιοδομών και χαρακτηριστικών διάβρωσης.

Οι βόρειες και βορειοδυτικές ακτές του νησιού δεν έχουν ενδείξεις πρόσφατης ανύψωσης (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.2.3.3.1 Μορφολογικοί και βιολογικοί δείκτες ανυψωμένης ακτογραμμής

Στην ανατολική ακτή στην πόλη της Κέρκυρας (Χάρτης 4, θέση 1) υπάρχουν άδειες οπές Lithophaga στο +1m, σε κάποιους βράχους έξω από τους τοίχους του Βενετικού κάστρου (Σχήμα 26). Δεδομένου ότι οι τοίχοι αυτοί ξαναφτιάχτηκαν το 1790 μ.Χ και η βάση τους από τεμάχη ασβεστολίθου δεν έχουν ανυψωμένες οπές από οργανισμούς, η ανύψωση εδώ έγινε σίγουρα πριν από αυτή τη χρονιά αλλά η ακριβής τους ηλικία δεν έχει προσδιοριστεί.

Μεταξύ του αεροδρομίου (Χάρτης 4, θέση 2) και του Μπούκαρη (Χάρτης 4, θέση 3) υπάρχουν άφθονα στοιχεία του Vermetid Dendropoma παρά το σχετικό βόρειο γεωγραφικό πλάτος του νησιού. Αρκετά κελύφη Vermetid Dendropoma, Vermetus triqueter βρέθηκαν νεκρά σε ύψος 15±5cm πάνω από το ανώτατο όριο των αντίστοιχων ζωντανών, γεγονός που αποδεικνύει μια μικρή πρόσφατη ανύψωση.

Κοντά στο Άγιο Γεώργιο (Χάρτης 4, θέση 4) στη νότια ακτή, ένας διαβρωσιγενής παράκτιος πάγκος έχει δημιουργηθεί σε ύψος +2m σε ύφαλο του Μειόκαινου. Αυτός μπορεί να αντιστοιχεί στην ακτογραμμή της τελευταίας μεσοπαγετώδους περιόδου, αφού κελύφη από Strombus και Conus έχουν βρεθεί σε υψηλότερη αναβαθμίδα σε ύψος +15m. Εδώ δεν βρέθηκαν ίχνη ανύψωσης του Ολόκαινου (Pirazzoli et al, 1994a).



Σχήμα 26 : Μη χρονολογημένες, ανυψωμένες και διαβρωμένες οπές Lithophaga σε βράχους μπροστά από βορειοανατολικό τοίχο της Σπιανάδας στην Κέρκυρα (Χάρτης 4. θέση 1)

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.400

Πολύ σαφή ίχνη ανυψωμένων ακτογραμμών του τέλους Ολοκαίνου φαίνονται στο ακρωτήριο Πλιτήρι (Χάρτης 4, θέση 6) στη δυτική ακτή του κεντρικού τμήματος του νησιού. Αποτελούνται από ένα μικρό πάγκο περίπου +0,8m πάνω από τον σημερινό ενεργό πάγκο και από υπολείμματα ενός διαβρωμένου πάγκου στο +1,6m με μια εγκοπή στο ένα άκρο (Σχήμα 27). Ο πάγκος στο +0,8m φαίνεται πιο καλά διατηρημένος από αυτόν που βρίσκεται στο +1,6m και είναι σίγουρα νεότερος αλλά δεν έχουν βρεθεί απολιθώματα. Ανυψωμένες ενδείξεις διάβρωσης φαίνονται κατά μήκος 9km μεταξύ του Αγίου Γόρδιου (Χάρτης 4, θέση 5) και του όρμου Έρμονες (Χάρτης 4, θέση 8) (Pirazzoli et al, 1994a).



Σχήμα 27 : Γεωμορφολογική ανάπτυξη των διαβρωτικών σημαδιών στο ακρωτήρι Πλιτήρι (Χάρτης 4, θέση 6)

1)μια βαθιά εγκοπή δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια μιας περιόδου σταθερότητας της σχετικής στάθμης της θάλασσας (επίπεδο 1) στο +1,6m,

2),πτώση της σχετικής στάθμης της θάλασσας(από το επίπεδο 1 στο επίπεδο 2) στο +0,8m, η οποία οδήγησε στη διάβρωση του δαπέδου της εγκοπής και στη δημιουργία ενός νέου πάγκου στο +0,8m 3)νέα πτώση της σχετική στάθμης της θάλασσας στη σημερινή της θέση(από το επίπεδο 2 στο επίπεδο 3) οδήγησε σε νέα διάβρωση και στη δημιουργία νέου πάγκου στη σημερινή στάθμη θάλασσας. Παράλληλα η πρώτη εγκοπή στο επίπεδο 1, γίνεται ακανόνιστη από τη δράση της διακοπτόμενης εκτόξευσης νερού από τη δράση των κυμάτων

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.400

# 10.2.3.3.2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης

Η ακτογραμμή +1,6m αναπτύχθηκε μεταξύ 3030-2750 και 790-400cal π.Χ (Σχήμα 28 και Σχήμα 29) όταν ανυψώθηκε. Η ηλικία ανύψωσης του πάγκου στο +0,8m δεν ήταν δυνατόν να προσδιορισθεί (Pirazzoli et al, 1994a).



Σχήμα 28 : Παράκτιο προφίλ και θέσεις χρονολογημένων δειγμάτων κοντά στην παραλία Πέλεκας (Χάρτης 4, θέση 7)

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.400



Σχήμα 29 : Παράκτιο προφίλ και θέσεις χρονολογημένων δειγμάτων κοντά στον Άγιο Γόρδιο (Χάρτης 4, θέση 5)

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.401

Sample	Locality				Material dated	Elevation	Estimated palaeoMSL	Conventional	Calibrated
	No	Name	Lat. N	Long. E		(m above present counterpart)	elevation (m above present MSL)	$14C \text{ age } \pm 1\sigma^{a} \text{ yr BP}$	$age^{b} \pm 2\sigma$ yr AD/BC
		Pelekas			Vermetus				1680-
91KE3	7	beach	39°35'	19°49'	triqueter	$+1,2 \pm 0,1$	$+1,6 \pm 0,1$	$3490 \pm 70$	1360BC
		Pelekas							790-
92KE4	7	beach	39°35'	19°49'	Vermetids	$+1,25 \pm 0,1$	$+1,6 \pm 0,1$	$2750 \pm 60$	400BC
91KE5-		Pelekas				$+1,25 \pm$			3030-
A	7	beach	39°35'	19°49'	Lithophaga	0,15	$+1,6 \pm 0,1$	$4540 \pm 60$	2750BC
91KE5-									1740-
В								$3540 \pm 70$	1400BC
011055		Ag.							1.650
91KE/-	5	Gordios	200221	100501	T :4h h	1 25 . 0 1	16.01	2480	1650- 1270DC
A	5	Beach	39*33	19*50*	Litnophaga	$+1,25\pm0,1$	$+1,6 \pm 0,1$	$3480 \pm 60$	13/0BC
91KE/-								2760 . 70	2030-
В								$3/60 \pm 70$	1050BC
		Ag.							1900
011/159	5	Gordios	200221	100501	Lithophaga	$+15 \pm 0.1$	$+1.6 \pm 0.1$	$2650 \pm 70$	1890- 1510PC
91KE0	5	Deach	39 33	19.50	Liutophaga	$+1,5 \pm 0,1$	$+1,0 \pm 0,1$	3030 ± 70	1310BC
		Ag.			Vormotus				2020
91KE10	5	Beach	300331	19°50'	triqueter	$\pm 0.8 \pm 0.1$	$+1.6 \pm 0.1$	$3760 \pm 70$	1650BC
<sup>a</sup> -without	t age recerve	pir correctio	$\frac{3735}{1000}$	$^{13}C - 12\%$	PDR	$10,0 \pm 0,1$	$1,0 \pm 0,1$	5700 ± 70	1050BC
$b$ -calculated using the computer program for radiocarbon age calibration proposed by stuiver and Reimer (1986) and taking $\Lambda R$ -									

 $80\pm 25$  for marine samples

#### Πίνακας 8 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από την Κέρκυρα

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.399

#### 10.2.3.3.3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Συνοψίζοντας, δύο κινήσεις ανύψωσης των 0,8m η καθεμία έλαβαν χώρα στο κεντρικό τμήμα του νησιού, η μια ακριβώς ή λίγο μετά το 790-400cal π.Χ και η άλλη σε μια πρόσφατη μη προσδιορισμένη ηλικία (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.2.3.4 Λευκάδα

Κατά μήκος των περισσότερων ακτών της Λευκάδας η λιθολογία είναι δεν ευνοεί τη διατήρηση των ανυψωμένων ιχνών των ακτογραμμών. Ωστόσο στο βορειότερο τμήμα έχουν αναγνωριστεί κάποια τέτοια ίχνη (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.2.3.4.1 Δείκτες ανυψωμένης ακτογραμμής

Στο βόρειο τμήμα της Λευκάδας, κοντά στον Άγιο Ιωάννη (Χάρτης 4, θέση 10) κάποιες ανυψωμένες εγκοπές αποτελούν υπολείμματα μιας ελαφρώς υψηλότερης από τη σημερινή θαλάσσιας στάθμης (Εικόνα 10).



**Εικόνα 10 : Ανυψωμένη εγκοπή κοντά στον Άγιο Ιωάννη της Λευκάδας** Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.401

Στο κοντινό αμμώδες και χαλικώδες φραγματικό αιγιαλό που απομονώνει μια μικρή λιμνοθάλασσα βόρεια της Λευκάδας, ανυψωμένοι ακτόλιθοι επιβεβαιώνουν την ύπαρξη ενός παλαιότερου υψηλότερου σχετικού επιπέδου θάλασσας 0,5-1m πάνω από το σημερινό, το οποίο χρονολογήθηκε από θραύσματα κελυφών που περιέχονταν σε αυτούς, ενώ για την ταχύτητα της κίνησης ανύψωσης δεν υπάρχουν πληροφορίες. Κατά μήκος αυτού του φράγματος, φαίνονται πολλές μεγάλες μη χρονολογημένες πλάκες ακτολίθων σε βάθος 2-5m, που αντιστοιχούν σε χαμηλότερες στάθμες θάλασσας.

Κοντά στη νότια είσοδο της λιμνοθάλασσας (Χάρτης 4, θέση 12), υπάρχει ένας βυθισμένος αρχαίος μόλος μήκους 600m. Αυτός ο μόλος κατασκευάστηκε τον 5° αιώνα π.Χ και λειτουργούσε κατά τη διάρκεια του 4<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. Η ανώτερη επιφάνεια του μόλου αυτού που σώζεται έχει διαταραχθεί έντονα κατά τη διάρκεια των αιώνων αλλά σε κάποια απόσταση από τη σημερινή ακτογραμμή, το εγκάρσιο προφίλ του μόλου δείχνει πλάτος περίπου 10m στην επιφάνεια και 25m στην βάση. Σε πολλά σημεία έχουν βρεθεί μεγάλου μήκους πλάκες που έχουν επεκταθεί. Το βάθος τους ποικίλει μεταξύ 2,8±0,3m και 1,8±0,3m κάτω από το νερό, ένα γεγονός που δείχνει μια μεταβολή της σχετικής στάθμης της θάλασσας μεταξύ 4 και 2,5m από τον 4° αιώνα π.Χ, εάν δεχτούμε ότι η ανώτερη ισοπεδωμένη επιφάνεια του μόλου ήταν αρχικά περίπου 1m πάνω από το νερό. Υπάρχει επίσης μια ένδειξη μιας προς τα ανατολικά κλίσης του μόλου αφού το ανατολικό τμήμα είναι 0,5m χαμηλότερα από το δυτικό (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.2.3.4.2 Χρονολόγηση ανύψωσης ή βύθισης

Στην παραπάνω αναφερόμενη αμμώδη και χαλικώδη γλώσσα ξηράς, το παλαιότερο υψηλότερο σχετικό επίπεδο θάλασσας χρονολογήθηκε από θραύσματα κελυφών που περιέχονταν σε ακτόλιθους, μεταξύ 4000-3650cal π.Χ και 2640-2270cal π.Χ.

Sample	Locality	locality			Material dated	Elevation	Estimated palaeoMSL		
	No	Name	Lat. N	Long. E		(m above present counterpart) means (m above present MSL)		Conventional 14C age $\pm$ $1\sigma^{a}$ yr BP	$age^b \pm 2\sigma$ yr AD/BC
90LE3	11	Ak.Gurapetra	38°51'	20°41'	Beachrock shell	~+1	~+1	5330 ± 80	4000- 3650BC
90LE7	11	Ak.Gurapetra	38°51'	20°41'	Beachrock shell	~+0,5	~+1	$4210 \pm 70$	2640- 2270BC
<sup>a</sup> =without age reservoir correction (i.e., for $\delta^{13}$ C=12‰ PDB <sup>b</sup> =calculated using the computer program for radiocarbon age calibration proposed by stuiver and Reimer (1986) and taking $\Delta R = -80 \pm 25$ for marine samples									

# Πίνακας 9 : Δείκτες θαλάσσιας στάθμης του Ολοκαίνου από τη Λευκάδα που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold, 1994a, p.399

# 10.2.3.4.3 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Συνοψίζοντας, ανοδικές και καθοδικές τεκτονικές κινήσεις ενός ή λίγων μέτρων ήταν υπεύθυνες για τις μεταβολές της σχετικής στάθμης θάλασσας του τέλους του Ολοκαίνου, τουλάχιστον στο βόρειο τμήμα του νησιού. Βύθιση τουλάχιστον 2,5m έλαβε χώρα 2400 χρόνια πριν. Αρχαιολογικά δεδομένα σχετικά με βυθισμένες περιοχές της ηπειρωτικής χώρας, στον Πάλερο (Χάρτης 4, θέση 13) και στο Μύτικα (Χάρτης 4, θέση 14) δείχνουν γρήγορες πιθανά σπασμωδικές κινήσεις βύθισης που έλαβαν χώρα περίπου το 350-300π.Χ και 500-700 μ.Χ (Pirazoli et al, 1994a).

# 10.2.3.5 Ιθάκη

Γεωμορφολογικές ενδείξεις βύθισης έχουν παρατηρηθεί σε όλο το νησί το οποίο έχει επίσης επηρεαστεί από το σεισμό του 1953. Όμως δεν υπάρχουν διαθέσιμες ηλικίες (Pirazzoli et al, 1994a).

# 10.3 Σεισμικές κινήσεις στη λεκάνη πίσω από το τόξο υποβύθισης

Παρά το γεγονός ότι το Αιγαίο είναι μια περιοχή επέκτασης και υποβύθισης, εκτεταμένες περιοχές ανύψωσης έχουν εντοπιστεί σε διάφορες θέσεις.

Στην περιοχή του Αιγαίου, αν και είναι γενικά αποδεκτό ότι η ανύψωση περιορίζεται στις νότιες περιοχές, κοντά στο εξωτερικό νησιωτικό τόξο όπου επικρατεί υποβύθιση, ωστόσο, υπάρχουν στοιχεία ανυψωμένων εγκοπών και βιολογικών δεικτών στάθμης θάλασσας, που δείχνουν ότι κατά τη διάρκεια του Ολοκαίνου συν-σεισμικές ανυψώσεις έλαβαν χώρα σε εσωτερικές περιοχές του Αιγαίου.

# 10.3.1 Κόρινθος, περιοχή από το Διακοφτό έως την Αιγείρα

Έρευνες πεδίου που έγιναν μεταξύ Διακοφτού και Αιγείρας (Χάρτης 5) από τον I.Steward (1996) αποκάλυψαν έναν αριθμό θέσεων όπου διατηρούνται ενδείξεις πρόσφατης παράκτιας ανύψωσης (Χάρτης 6). Συγκεκριμένα έχουν καταγραφεί 2 τύποι θαλάσσιων δεδομένων οι ανυψωμένες εγκοπές διάβρωσης και ανυψωμένη θαλάσσια πανίδα (Steward, 1996).



Χάρτης 5 : Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής της Αιγείρας με σημειωμένο το ίχνος της επιφάνειας διάρρηξης του 1861.

Πηγή : I. Steward, Holocene uplift and palaeoseismicity on the Eliki Fault, Western Gulf of Corinth, Greece, Annali di geofisica, Vol. XXXIX, No. 3, 1996, p. 576



Χάρτης 6 : Χάρτης με τη γεωλογία της περιοχής μεταξύ Διακοφτού και Αιγείρας όπου φαίνονται οι θέσεις των ανυψωμένων εγκοπών και οι θέσεις δειγματοληψίας

Πηγή : I. Steward, Holocene uplift and palaeoseismicity on the Eliki Fault, Western Gulf of Corinth, Greece, Annali di geofisica, Vol. XXXIX, No. 3, 1996, p. 577

# 10.3.1.1 Ανυψωμένες εγκοπές

Κατά μήκος του ρήγματος της Ελίκης βρέθηκαν εγκοπές διάβρωσης σε 3 θέσεις των οποίων τα υψόμετρα καθορίστηκαν σε σχέση με την βιολογική μέση στάθμη θάλασσας.

### Αμέσως ανατολικά από το Διακοφτό

Αρκετά χιλιόμετρα ανατολικά από το Διακοφτό, καλά διαμορφωμένες εγκοπές είναι δημιουργημένες σε θαλάσσιο κροκαλοπαγές. Παρόλο που στην δυτική άκρη εκφράζεται σαν μια σειρά από χαμηλά απομονωμένα τεμάχη, προς τα ανατολικά η ανώτερη επιφάνεια του κροκαλοπαγούς σχηματίζει μια επίπεδη πλατφόρμα σε ένα υψόμετρο περίπου 6m. Συστηματικές μετρήσεις των υψομέτρων της εγκοπής σε αυτή τη θέση αποκάλυψαν ένα χαρακτηριστικό επίπεδο εγκοπής στο περίπου +1,7m πάνω από τη σημερινή στάθμη της θάλασσας και λιγότερο καλά καθορισμένες εγκοπές στα υψόμετρα +0,5, +2,3 και +3,7m(Σχήμα 30) (Steward, 1996).



Σχήμα 30 : Παράκτια προφίλ ανατολικά από το Διακοφτό Πηγή : I. Steward, Holocene uplift and palaeoseismicity on the Eliki Fault, Western Gulf of Corinth, Greece, Annali di geofisica, Vol. XXXIX, No. 3, 1996, p. 577

# Ασβεστολιθική ακτή ανατολικά της παραλίας Πλατάνου.

Περίπου 1km. ανατολικά της παραλίας Πλατάνου και αρκετά χιλιόμετρα. ανατολικά του φαινομενικού τέλους του ίχνους διάρρηξης του 1861 (Χάρτης 5), πεσμένα τεμάχη ασβεστολίθου έχουν διατηρηθεί σαν μικρά ακρωτήρια που δείχνουν χαρακτηριστικές εγκοπές διάβρωσης σε διάφορα επίπεδα (Σχήμα 31). Τα προφίλ των ασβεστολιθικών τεμαχών έχουν μεγάλη ποικιλία μορφών και δείχνουν εγκοπές στα υψόμετρα +1.8–2.0, +3.5–3.7, +5.5 και +7.5m πάνω από την σημερινή στάθμη της θάλασσας (Steward, 1996).



Σχήμα 31 : Παράκτια προφίλ στην παραλία Πλατάνου (ανατολικά και δυτικά ) και στην Αιγείρα όπου φαίνονται οι θέσεις των εγκοπών στους ασβεστολιθικούς κρημνούς

Πηγή : I. Steward, Holocene uplift and palaeoseismicity on the Eliki Fault, Western Gulf of Corinth, Greece, Annali di geofisica, Vol. XXXIX, No. 3, 1996, p. 579

# Απομονωμένο ακρωτήρι ασβεστολίθου νότια της Αιγείρας

Αρκετά χιλιόμετρα νότια από την προέκταση του ρήγματος της Ελίκης προς την θάλασσα, ένα απομονωμένο ακρωτήρι από λατυποπαγή ασβεστόλιθο κοντά στην Αιγείρα είναι κατά θέσεις καλυμμένο από ασβεστολιθικές θαλάσσιες αποθέσεις του Τεταρτογενούς. Η ακανόνιστη μορφή του σκοτεινού καλύμματος δείχνει την μορφολογία του υποβάθρου μέσα από χαρακτηριστικούς πάγκους που φαίνονται στα υψόμετρα των περίπου +3.0, +5.2 και +6.8m. Όπου το κάλυμμα έχει φύγει, τα προφίλ δείχνουν μία χαρακτηριστική εγκοπή στο +3.5–3.7 μέτρα και ένα σπάσιμο στην κλίση στο +1.8m (Σχήμα 31) (Steward, 1996).

Συνοψίζοντας μορφολογικές αποδείξεις κατά μήκος του ρήγματος της Ελίκης δείχνουν χαρακτηριστικά επίπεδα διάβρωσης στο +1.8 και +3.7m πάνω από την σημερινή στάθμη θάλασσας και στις τρεις θέσεις, ενώ τα επίπεδα +2.3 και +5.5 αναγνωρίζονται στις δύο θέσεις εκτός από την Αιγείρα. Λιγότερο καλά καθορισμένες κατά μήκος του ρήγματος της Ελίκης είναι επουσιώδεις εγκοπές στα υψόμετρα +0.5, +5.5 και +7.5m (Steward, 1996).

#### 10.3.1.2 Βιολογικοί δείκτες

Ανυψωμένη θαλάσσια πανίδα έχει αναγνωριστεί σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του ρήγματος της Ελίκης (Χάρτης 6 και Πίνακας 10). Η ραδιοχρονολόγηση αυτής της πανίδας έγινε από τους S. Papageorgiou et al.(1993), Vita – Finzi (1993), Steward and Vita-Finzi(1996) και Mouyaris et al. (1992) με συμβατικές μεθόδους και με την AMS μέθοδο κυρίως σε κελύφη Lithophaga.και συγκεντρώθηκε σε έναν ενιαίο πίνακα από τον I.Steward (1996)

#### 10.3.1.3 Χρονολόγηση ανύψωσης

Τα δείγματα που λήφθηκαν από τους S. Papageorgiou et al.(1993), C. Vita – Finzi (1993), I. Steward and C. Vita-Finzi(1996) και N. Mouyaris et al. (1992), εξετάστηκαν για μόλυνση χρησιμοποιώντας την περίθλαση των ακτινών X. Τα δεδομένα των ηλικιών βαθμονομήθηκαν σε ημερολογιακά έτη χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα CALIB (πρόγραμμα υπολογιστή για τη βαθμονόμηση σε ημερολογιακά έτη των M. Stuiver, P.J. Reimer, and R.W. Reimer), ενσωματώνοντας την ηλικία ταμιευτήρα που είναι 320 χρόνια ( $\Delta R = -80\pm 25$  χρόνια). Τα υψόμετρα διορθώθηκαν για μεταβολές παλαιοστάθμης θάλασσας χρησιμοποιώντας την καμπύλη ευστατικών μεταβολών του Ολοκαίνου για την περιοχή της Μεσογείου του N. Flemming and C. Webb (1986) (Steward, 1996).

Location	Present elev. (m)	Species	$^{14}$ C age $(\pm 1\sigma)$	Dating Method	Conventional <sup>14</sup> C age	Calendar age range $(2\sigma)$	Corrected elev. (m)	Uplift rate (mm/yr)	Sourc (*)
Aegira	1.0	D. petraeum	$1420 \pm 60$	AMS		A.D. 770-1040	1.0	0.8-1.0	1
Aegira	3.0	C. caespitosa	6400±200	U-series			6.0	0.9	2
Aegira	6.0	L. lithophaga	$2965 \pm 50$	Conventional	2710±5	400-740 B.C.	6.1	2.2-2.5	3
Aegira	6.5	L. lithophaga	$4880 \pm 270$	Conventional	5640±315	3500-4490 B.C.	7.5	1.2-1.4	. 4
Aegira	7.5	L. lithophaga	8040±85	Conventional	8390±85	6780-7330 B.C.	11.3	1.2-1.3	3
P. Platanou	2.3	L. lithophaga	$2785 \pm 50$	Conventional	2410±75	A.D. 20-370 B.C.	2.3	1.0-1.2	3
P. Platanou	3.7	L. lithophaga	$2420 \pm 130$	Conventional	$2600 \pm 265$	A.D. 230-1060 B.C.	3.7	1.2-2.1	3
P. Platanou	4.0	L. lithophaga	8730±340	Conventional	9840±405	7850-10250 B.C.	15.8	1.3-1.6	4
P. Platanou	6.2	L. lithophaga	$3285 \pm 65$	Conventional	$3010 \pm 105$	730-1170 B.C.	6.4	2.0-2.3	3
P. Platanou	6.5	L. lithophaga	8050±60	AMS	8500±150	7450-8050 B.C.	10.3	1.0-1.3	3
Diakopto	1.5	L. lithophaga	$1210 \pm 100$	Conventional	1680±130	A.D. 440-870	1.5	1.0-1.3	3
Diakopto	3.5	L. lithophaga	$2190 \pm 60$	AMS	2290±115	A.D. 250-350 B.C.	3.5	1.5-2.0	3

(\*) 1: Papageorgiou et al. (1993); 2: Vita-Finzi (1993); 3: Stewart and Vita-Finzi (1996); 4: Mouyaris et al. (1992).

Πίνακας 10 :Δεδομένα από τη χρονολόγηση πανίδας ανυψωμένων ακτογραμμών στην περιοχή από το Διακοφτό έως την Αιγείρα.

Πηγή : I. Steward, Holocene uplift and palaeoseismicity on the Eliki Fault, Western Gulf of Corinth, Greece, Annali di geofisica, Vol. XXXIX, No. 3, 1996, p. 581

# 10.3.1.4 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Η πιο πρόσφατη φάση τεκτονισμού, υπεύθυνη για τα περίπου 6m ανύψωσης κατά την διάρκεια των τελευταίων 3000 χρόνων, συμπίπτει με 2 ιστορικούς σεισμούς (1861 μ.Χ και 373π.Χ) στο ρήγμα της Ελίκης (Steward, 1996).

Η αναγνώριση ότι μέτριου μεγέθους σεισμοί που προκαλούνται από κανονικά ρήγματα προκαλούν συνσεισμική και μετασεισμική ανύψωση κάποιων δεκάδων εκατοστών οδηγεί στη διαπίστωση ότι η χαρακτηριστική εγκοπή στο επίπεδο +1,7m είναι απίθανο να σχετίζεται με το σεισμό του 1861 μ.Χ.

Αυτός ο ισχυρισμός υποστηρίζεται από τη ραδιοχρονολόγηση των Lithophaga από την εγκοπή στο +1,5m ανατολικά από το Διακοφτό η οποία χρονολογεί την ανύψωση αυτού του επιπέδου μεταξύ 440 και 870 μ.Χ. Αυτό το εύρος ηλικίας επικαλύπτει αυτό των ανυψωμένων Vermetids που συλλέχθηκαν στο +1m κοντά στην Αιγείρα, δείχνοντας ότι εάν η νέα καλά διατηρημένη και καλά καθορισμένη εγκοπή πρόκειται να αποδοθεί σε μια γρήγορη μετατόπιση της ακτογραμμής, τότε είναι περισσότερο πιθανό να αποδοθεί σε ένα συν

σεισμικό γεγονός στον 8° – 9° αιώνα μ.Χ. Αντίθετα από τον αβέβαιο καθορισμό ηλικίας τα αποδεικτικά στοιχεία δείχνουν ότι υπάρχει ένα πρόσθετο γεγονός επιφανειακής διάρρηξης κατά μήκος του ρήγματος της Ελίκης, μεταξύ των 2 ιστορικά αναφερόμενων γεγονότων του 1861 μ.Χ. και του 373 π.Χ αντίστοιχα.

Η ραδιοχρονολόγηση της πανίδας που σχετίζεται με την εγκοπή στο επίπεδο +3,7 δείχνει ότι αυτή η επιφάνεια μπορεί να συσχετιστεί με τον σεισμό του 373 π.Χ. ο οποίος κατέστρεψε την αρχαία Ελίκη.

Άρα ενώ η πανίδα αμέσως πάνω και κάτω από αυτό το επίπεδο έδωσε εύρος ηλικιών το οποίο προχρονολογεί και μεταχρονολογεί αντίστοιχα το ιστορικό γεγονός, τα Lithophaga που συλλέχθηκαν από το επίπεδο +3,7m δίνουν βαθμονομημένη ηλικία 390 π.Χ. Το μεγάλο εύρος για το δείγμα στο +3,7m αποκλείει μία σίγουρη συσχέτιση αλλά η σύμπτωση ενός επικαλυπτόμενου εύρος ηλικίας και η καλά καθορισμένη φύση του επιπέδου, οδηγεί στη διαπίστωση ότι είναι η μορφολογική έκφραση του γεγονότος. Να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν ευδιάκριτα μορφολογικά ίχνη του γεγονότος του 1861 μ.Χ.

Τα στοιχεία που προκύπτουν από τα κύρια επίπεδα εγκοπών (+1,7 και +3,7m) δείχνουν ότι 3 γεγονότα επιφανειακών διαρρήξεων έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια των τελευταίων 2500ετών, ένα γεγονός που αλλάζει την περίοδο επαναφοράς που μέχρι τώρα υποστηριζόταν από 1600 έτη σε 1000 έτη. Μια τέτοια περίοδος επαναφοράς δεν είναι τυπική για όλο το Ολόκαινο αλλά θα πρέπει να αντιμετωπίζεται σαν χαρακτηριστικό μιας πρόσφατης έντονης φάσης τεκτονικής δραστηριότητας κατά μήκος του ρήγματος της Ελίκης (Steward, 1996).

# 10.3.2 Κόρινθος, λιμάνι Αιγείρας και Λέχαιου

# Μια ταχεία σεισμική ανύψωση-μορφολογικοί δείκτες, χρονολογούμενο βιολογικό υλικό και αρχαία ερείπια.

Ενδιαφέρουσα είναι η ανύψωση δύο αρχαίων λιμανιών κατά μήκος της νότιας ακτής του Κορινθιακού Κόλπου (Αιγείρας και Λέχαιου), μια περιοχή γνωστή για την έντονη σεισμική δραστηριότητα.

Ο συνδυασμός γεωμορφολογικών, θαλάσσιων βιολογικών, αρχαιολογικών και ιστορικών δεδομένων παρέχει στοιχεία σχετικά με την αρχαιολογία, την ιστορία, την παλαιογεωγραφία και την τεκτονική της περιοχής του πρώτου λιμανιού στην Αιγείρα.

Σημαντικά υπολείμματα της αρχαίας πόλης εντοπίστηκαν για πρώτη φορά τον 19° αιώνα στον απόκρημνο λόφο του Παλαιόκαστρου ενώ επιπλέον διαπιστώθηκε η παρουσία μιας θαλάσσιας αναβαθμίδας του τέλους του Πλειστοκαίνου, στο ανατολικό άκρο του μικρού κάμπου της Ακράτας. Κατά τις εκτεταμένες ανασκαφές ήρθαν στο φως σημαντικά ερείπια

μεγάλων κτιρίων (θέατρο, αμυντικό τείχος, ναός του Δία και της Άρτεμις) και άλλα ευρήματα (κεραμική όστρακα, ένα κεφάλι του Δία, ένα μαρμάρινο άγαλμα, επιγραφές), κυρίως της Ελληνιστικής (323-30BC) και Ρωμαϊκής (30BC-300AD) περιόδου, αλλά και της Μυκηναϊκής (1600-1100BC)<sup>1</sup> περιόδου, όπως τάφοι και όστρακα κεραμικής.

Η Βόρεια Πελοπόννησος είναι μια περιοχή με εντυπωσιακή ανύψωση κατά την περίοδο του Τεταρτογενούς :

Θαλάσσιες αναβαθμίδες 450.000 χρόνων βρίσκονται σε ύψος 820m ενώ σε μια από τις νεότερες χαμηλότερες αναβαθμίδες βρίσκεται και η πόλη της Αρχαίας Αιγείρας. Από γεωλογική άποψη, η περιοχή είναι χτισμένη σε Πλειο-Πλειστοκαινικές μάργες οι οποίες καλύφθηκαν από κροκαλοπαγή. Στη γύρω περιοχή της Αιγείρας, στο Μαύρο Όρος, δελταϊκού τύπου αποθέσεις, ενδεικτικό στοιχείο του παράκτιου περιβάλλοντος βρέθηκαν σε ύψος 900-1600m ή και ακόμη πιο ψηλά. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από πολλά κανονικά ρήγματα (κυρίως με διεύθυνση Α-Δ και ΒΑ-ΝΔ), τα οποία, σε ένα μεγάλο βαθμό, ελέγχουν τη μορφολογία του αναγλύφου και την ακτή. Ο Κορινθιακός Κόλπος είναι μία από τις πιο σεισμικά ενεργές περιοχές του κόσμου (Papageorgiou, 1993).



Χάρτης 7 : a&b : Χάρτης τοποθεσίας Αιγείρας έως λιμάνι Λέχαιου, c :Χαρακτηριστικές περιοχές στην περιοχή της Αιγείρας

1. περιοχή με θαλάσσια πανίδα Τεταρτογενούς, 2. κατακόρυφος ρηξιγενής κρημνός με άδειες οπές Lithophaga, 3. αρχαία λαξευμένα τεμάχη, 4. ανυψωμένα vermets, περιοχή δειγματοληψίας του 90SS2, 5. περιοχή διαταραγμένη από δυο συγκροτήματα κατοικιών, 6. περιοχή με λαξευμένα τεμάχη τα οποία διαταράχθηκαν το 1992 από βαρέα μηχανήματα

Πηγή : S. Papageorgiou, M. Arnold, J. Laborel, S. Stiros, Seismic uplift of the harbour of ancient Aigeira, Central Greece, The International Journal of Nautical Archaeology 22.3, 1993, p.276

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Η αντιστοίχηση των περιόδων με τα έτη έγινε με βάση τον πίνακα 1 των Gaki et al. (2007), p. 42

Η δεύτερη περίπτωση αρχαίου λιμανιού στη νότια ακτή της Πελοποννήσου αφορά την ανύψωση στο Λέχαιο, που είναι το ρωμαϊκό λιμάνι της Κορίνθου. Τεμάχη στην είσοδο αυτού του τεχνητού λιμανιού έχουν οπές από *Lithophaga*, ενώ υπάρχουν επίσης στοιχεία από διάφορα είδη *vermetids*. Και πάλι, συν- σεισμική ανύψωση συμπεραίνεται, η οποία υπολογίζεται από το διάρκεια της χρήσης του λιμανιού (2ος π.Χ. αιώνας) και από την κατασκευή μιας παράκτιας εκκλησίας τον 5ο αιώνα μ.Χ (Stiros & Pirazzoli, 1995).

#### 10.3.2.1 Ανυψωμένη ακτογραμμή

Έχουν χαρτογραφηθεί μια σειρά θαλάσσιων αναβαθμίδων στην ευρύτερη περιοχή, μερικές από τις οποίες θεωρούνται του Πλειστοκαίνου, ενώ στα Μαύρα Λιθάρια, σε ύψος 1-8m. (Χάρτης 7c, σημείο 1), έχει εντοπιστεί μια πλούσια πανίδα του Τεταρτογενούς που χρονολογείται στην τελευταία μεσοπαγετωνική περίοδο. Το ενδιαφέρον είναι ότι στη θέση του αρχαίου λιμανιού, θαλάσσια κροκαλοπαγή που περιέχουν θραύσματα αγγείων βρίσκονται μέχρι το ύψος των 2m από τη σημερινή στάθμη. Τα κροκαλοπαγή αυτά σχηματίστηκαν στο κάτω μέρος του λιμανιού, κατά τη διάρκεια ή ακόμα και μετά την περίοδο χρήσης του, και στη συνέχεια ανυψώθηκαν στη σημερινή τους θέση (Papageorgiou, 1993).

Οι παρατηρήσεις της ανύψωσης της ξηράς δείχνουν ότι η ακτογραμμή περίπου 2000 χρόνια πριν από σήμερα ήταν σε ύψος τουλάχιστον 2m πάνω από το σημερινό επίπεδο της θάλασσας. Κατά συνέπεια ο μικρός όρμος μεταξύ των σημείων 1 και 3 στο Χάρτης 7c ήταν πολύ μεγαλύτερος και ίσως επεκτεινόταν μέχρι τον παλιό δρόμο. Είναι επίσης πιθανό ότι στα ανατολικά του όρμου, η αρχαία ακτογραμμή είναι θαμμένη κάτω από τις τεχνητές αποθέσεις δύο μεγάλων κατοικιών (Χάρτης 7c, τοποθεσία 5), όπου έχουν παρατηρηθεί λαξευμένα τεμάχη (Papageorgiou, 1993).

# 10.3.2.2 Βιολογικοί δείκτες

Αποδείξεις μιας μη χρονολογημένης τεκτονικής ανύψωσης αποτελούν άδειες οπές Lithophaga στους κρημνούς (Χάρτης 7c, σημείο 2) καθώς και ίχνη monostromatic vermetid γαστερόποδων (μεταξύ άλλων και του *Dendropoma petraeum*) τα οποία έχουν βρεθεί εκτεθειμένα σε ύψος 1m (Εικόνα 11).



Εικόνα 11 : Ανυψωμένα απολιθωμένα vermets που αποδεικνύουν τη σεισμική ανύψωση της περιοχής (Αιγείρα)

Πηγή : S. Papageorgiou, M. Arnold, J. Laborel, S. Stiros, Seismic uplift of the harbour of ancient Aigeira, Central Greece, The International Journal of Nautical Archaeology 22.3, 1993, p.278

Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα τελευταία αυτά είδη είναι ένας άριστος δείκτης της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας, γιατί το άνω όριο των δειγμάτων που ζουν καθορίζει συνήθως μια απότομη γραμμή που μπορεί να θεωρηθεί ως το σημερινό βιολογικό μέσο επίπεδο θάλασσας (BMSL) (Σχήμα 14). Ομοίως, το ανώτατο όριο των εκτεθειμένων απολιθωμένων Dendropoma ορίζει το απολιθωμένο βιολογικό επίπεδο της θάλασσας. Δεδομένου ότι δεν έγιναν σημαντικές αλλαγές στην παράκτια χλωρίδα και την πανίδα στην Ελλάδα ή δραματικές αλλαγές στην παράκτια μορφολογία της περιοχής στην τελευταία χιλιετία, η διαφορά μεταξύ της απολιθωμένης και της σημερινής (βιολογικής) μέσης στάθμης θάλασσας είναι ένας αξιόπιστος και ακριβής (±10cm) δείκτης της μεταβολής της τοπικής σχετικής στάθμης της θάλασσας (Σχήμα 14) (Papageorgiou, 1993).

#### 10.3.2.3 Χρονολόγηση ανύψωσης

Ένα δείγμα των Dendropoma petraeum συλλέχθηκε από τη Σ. Παπαγεωργίου (1993) από το αρχαίο λιμάνι σε ύψος 1m πάνω από τη θάλασσα (θέση 4, Χάρτης 7c) και χρονολογήθηκε με τη μέθοδο AMS. Μια πιθανή ηλικία του ραδιενεργού άνθρακα που λήφθηκε είναι 1420 ± 60 χρόνια (χωρίς τη διόρθωση ταμιευτήρα), η οποία αντιστοιχεί σε μια βαθμονομημένη ηλικία 770-1040 μ.Χ. Η ημερομηνία αυτή αντιστοιχεί με την υποτιθέμενη σεισμική ανύψωση που προκάλεσε το θάνατο του δείγματος (Papageorgiou, 1993).

# 10.3.2.4 Αποδείξεις ταχείας σεισμικής ανύψωσης

Η βιολογική μέση στάθμη της θάλασσας αντιστοιχεί στο όριο μεταξύ των υποπαλιρροιακής και της μεσοπαλιρροιακής ζώνης. Αυτές οι δύο ζώνες χαρακτηρίζονται από διαφορετική

χλωρίδα και πανίδα καθώς και από διαφορετικά μοντέλα βιοδιάβρωσης. Κατά συνέπεια, μια σχετική μεταβολή της στάθμης της θάλασσας, ακόμα και μικρού εύρους, ενδέχεται να έχει σημαντική επίδραση σε ορισμένα παράκτια είδη. Για παράδειγμα, στην περίπτωση μικρής σχετικής πτώσης της στάθμης της θάλασσας, τα Lithophaga και τα monostromatic vermets θα βρεθούν στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη και θα καταστραφούν γρήγορα. Στην περίπτωση των Μαύρων Λιθαριών, τα ανυψωμένα απολιθώματα Dendropoma και Lithophaga προφανώς δείχνουν μια γρήγορη, επεισοδιακή μεταβολή της στάθμης της θάλασσας με ύψος μεγαλύτερο από εκείνο της μεσοπαλιρροιακής ζώνης (κλάσμα του μέτρου στις περισσότερες ελληνικές θάλασσες, όπου το παλιρροιακό εύρος είναι μικρό). Αυτό προφανώς επέτρεψε στα απολιθώματα να διατηρηθούν και να μη καταστραφούν από τη διάβρωση. Τέτοιες κινήσεις συνήθως συνδέονται με σεισμούς. Έτσι λοιπόν τα ανυψωμένα monostromatic vermets στα Μαύρα Λιθάρια δείχνουν τουλάχιστον 1m απότομη, πιθανώς σεισμική, ανύψωση της ξηράς (Papageorgiou, 1993).

#### 10.3.2.5 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Η 1m σεισμική ανύψωση, όπως συνάγεται από τα παράκτια δεδομένα, προϋποθέτει έναν καταστρεπτικό σεισμό μεταξύ  $10^{00}$  και  $12^{00}$  αιώνα με σημαντικές οικονομικές και κοινωνικές επιπτώσεις, για τις οποίες όμως δεν υπάρχουν ιστορικές αποδείξεις. Ο κατάλογος σεισμών των Παπαζάχος και Παπαζάχου (1989) δείχνει ότι η περιοχή έχει κατά πάσα πιθανότητα πληγεί σοβαρά από σεισμούς το 1402, 1742, 1753 και 1887(;). Ωστόσο, δεν υπάρχει κάποιο στοιχείο που να συσχετίζει κάποια από αυτές τις σεισμικές δονήσεις με το παλαιοσεισμικό γεγονός που αναφέρθηκε παραπάνω και που ανύψωσε την ακτή, ενώ τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία σεισμών φαίνεται να είναι ελλιπή για τους εξής λόγους : (i) Ο ανωτέρω αναφερόμενος κατάλογος σεισμών περιλαμβάνει τέσσερα γεγονότα σε περίπου 500 χρόνια, αλλά κατά τη δεκαετία 1970-1980, η περιοχή έχει επηρεαστεί από τουλάχιστον πέντε σεισμούς μεγέθους 5,0-6,2, (ii) Κατά τις τελευταίες δύο χιλιετίες η περιοχή της Αιγείρας στερείται σημαντικών κέντρων από άποψη κατοικιών και κατά συνέπεια δεν περιλαμβάνονται στα ιστορικά αρχεία σεισμικότητας που συντάσσονται ως συνάρτηση της πυκνότητας του πληθυσμού και της σημασίας της πόλης, (iii) Η αρχαιοσεισμική έρευνα παρέχει πληροφορίες για παλαιότερα μη καταγεγραμμένα σεισμικά γεγονότα όπως για παράδειγμα κατά τον 5ο αιώνα π.Χ. μια μεγάλης κλίμακας καταστροφή οδήγησε τους ιερείς να τοποθετήσουν πολύτιμα αντικείμενα κατεστραμμένων ναών σε ένα είδος υπόγειου θησαυροφυλακίου, όπου παρέμειναν μέχρι την ανασκαφή τους. Επιπλέον μια ξαφνική

διακοπή της μεγάλης κλίμακας επισκευής στο θέατρο της Αιγείρας μπορεί να αποδοθεί σε ένα καταστροφικό σεισμό του 3<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ (Papageorgiou, 1993).

# 10.3.3 Χερσόνησος Περαχώρας

Ο Κορινθιακός Κόλπος είναι μια από τις πιο τεκτονικά ενεργές περιοχές της ηπειρωτικής Ελλάδας (Χάρτης 8). Στο ανατολικό άκρο του Κόλπου της Κορίνθου, η Χερσόνησος της Περαχώρας, εμφανίζει μια αρκετά περίπλοκη τεκτονική. Εκεί, τα κύρια ενεργά κανονικά ρήγματα έχουν διεύθυνση ανατολή-δύση έως ανατολική βορειοανατολική-δυτική νοτιοδυτική και κλίση βόρεια-βορειοδυτικά, όπως τα κύρια ρήγματα της νότιας ακτής του κόλπου, αλλά υπάρχουν και άλλα κύρια ρήγματα με διεύθυνση δυτική-βορειοδυτική, τα οποία έχουν κλίση νότια - νοτιοδυτικά (Χάρτης 9).



**Χάρτης 8 : Κορινθιακός κόλπος και τα κύρια ρήγματα** Πηγή : H. Maroukian, K. Gaki-Papanastassiou, E. Karymbalis, K. Vouvalidis, K. Pavlopoulos, D. Papanastassiou, K. Albanakis, Morphotectonic control on drainage network evolution in the Perachora Peninsula, Greece, Geomorphology 102, Elsevier, 2008, p. 82

Η ευρύτερη περιοχή της χερσονήσου της Περαχώρας επηρεάζεται από έντονο τεκτονισμό. Παρουσιάζει ένα ορθογώνιο σχήμα λόγω της ύπαρξης ρηγμάτων στην θαλάσσια περιοχή του Ξυλοκάστρου και του Λουτρακίου. Η ίδια η χερσόνησος επίσης επηρεάζεται από εσωτερικά ρήγματα, όπως αυτό της λίμνης Βουλιαγμένης, η οποία αποτελεί ένα τεκτονικό βύθισμα. Αυτή η περιοχή επηρεάζεται από θετικές ή αρνητικές κινήσεις της ξηράς που εξαρτώνται από την επαναδραστηριοποίηση των ρηγμάτων (Maroukian, 2008).



**Χάρτης 9 : Η περιοχή της Χερσονήσου της Περαχώρας και τα κύρια ρήγματα της περιοχής** Πηγή : Η. Maroukian, K. Gaki-Papanastassiou, E. Karymbalis, K. Vouvalidis, K. Pavlopoulos, D. Papanastassiou, K. Albanakis, Morphotectonic control on drainage network evolution in the Perachora Peninsula, Greece, Geomorphology 102, Elsevier, 2008, p. 82

Στο ανατολικότερο μέρος του Κορινθιακού κόλπου έγιναν 3 κύριοι σεισμοί στις 24 και 35 Φεβρουαρίου και στις 4 Μαρτίου του 1981 με μεγέθη 6,7, 6,4 και 6,4 αντίστοιχα. Από αυτούς τους σεισμούς προέκυψαν διάφορες παραμορφώσεις και ειδικότερα κοντά στο Ηραίο όπου παρατηρήθηκε βύθιση 0,3-0,5m. Οι σεισμοί του 1981 συνδέθηκαν με βύθιση στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος της Περαχώρας αλλά χωρίς σημαντική κίνηση στο δυτικό τμήμα της περιοχής του ισθμού. Στην Περαχώρα, στο Ηραίο και στο Μυλοκόπι (Χάρτης 10), αρχαίες ανυψωμένες ακτογραμμές αναγνωρίστηκαν, μετρήθηκαν, ελήφθησαν δείγματα και έτσι οι εγκοπές που παρατηρούνται στην περιοχή αναλύθηκαν και χρονολογήθηκαν (Pirazzoli et al, 1994b).



Xάρτης 10 : Ηραίο, Μυλοκόπι, λίμνη Βουλιαγμένης στη Χερσόνησο της Περαχώρας Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece, Tectonophysics 229, Elsevier Science, 1994b, p. 202

# 10.3.3.1 Δείκτες ανυψωμένων ακτογραμμών

# Ηραίον

Απομεινάρια παλιρροιακών εγκοπών που έχουν δημιουργηθεί στους παράκτιους κρημνούς των Μεσοζωικών ασβεστόλιθων αναγνωρίστηκαν στο 3,2±0,2, 2,6±0,2, 1,7±0,2, 1,1±0,2m από τη σημερινή μέση στάθμη θάλασσας (Εικόνα 12).



Εικόνα 12 : Σημάδια διάβρωσης στο ακρωτήρι δυτικά από το Ηραίον που αντιστοιχούν σε 4 ανυψωμένες ακτογραμμές

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece, Tectonophysics 229, Elsevier Science, 1994b, p. 203

Οι οπές από Lithophaga αν και είναι ορατές σχεδόν σε όλα τα επίπεδα κάτω από το +3,1m, είναι πιο καλά διατηρημένες μόνο πάνω από το +2m, όπου συχνά περιέχουν τα κελύφη των οργανισμών σε θέση ανάπτυξης. Αυτό δείχνει ότι τουλάχιστον οι 3 ανώτερες εγκοπές ανυψώθηκαν πολύ γρήγορα πιθανόν συν σεισμικά σε ένα υψόμετρο αρκετά υψηλό πάνω από τη δράση των κυμάτων, οπότε προστατεύτηκαν από την περαιτέρω μεσοπαλιρροιακή βιοδιάβρωση. Η ακτογραμμή στο +1,1m η οποία επίσης έχει αναγνωριστεί από κελύφη Chthamalus φαίνεται να αντιστοιχεί στην πιο πρόσφατη ανύψωση η οποία πρέπει να ήταν και πάλι αρκετά γρήγορη αφού τα κελύφη αυτά δεν καταστράφηκαν από τη βιοδιάβρωση στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη (Pirazzoli et al, 1994b).

### Μυλοκόπι

Το Μυλοκόπι βρίσκεται σε ένα μικρό όρμο όπου και στις δύο πλευρές εμφανίζονται ασβεστολιθικοί κρημνοί. Στη μέση του όρμου ένας ασβεστολιθικός βράχος - νησίδα συνδέεται με την κοντινή ακτή με ένα τόμπολο το οποίο καλύπτεται από ακτόλιθους. Αυτό το τόμπολο χωρίζει τον όρμο του Μυλοκοπίου σε δύο μέρη (Σχήμα 32).



Σχήμα 32 : Ανυψωμένες ακτογραμμές στην περιοχή του Μυλοκοπίου Περαχώρας και θέσεις δειγματοληψίας

# Η περιοχή με τις τελείες αντιστοιχεί σε ακτόλιθους, η διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει ρήγμα που επαναδραστηριοποιήθηκε από τους σεισμούς του 1981

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece, Tectonophysics 229, Elsevier Science, 1994b, p. 206

Νότια από τον ασβεστολιθικό βράχο στη μισή απόσταση από την κοντινή ακτή, οι πάγκοι των ακτόλιθων εμφανίζονται ασύνδετες και σπασμένες για μια απόσταση περίπου 30m ενώ

είναι καλά διατηρημένες και στις δύο πλευρές αυτής της ζώνης. Όλοι οι κρημνοί της περιοχής εμφανίζουν παρόμοια ακολουθία εγκοπών οι οποίες όμως βρίσκονται σε διαφορετικά ύψη

Η υψηλότερη εγκοπή βρίσκεται στο +1,7m στη νοτιοδυτική πλευρά του όρμου, στο +3,5 στην εξωτερική άκρη του τόμπολο και στο +2,8 στους βορειοανατολικούς κρημνούς. Αυτό είναι ένα πολύ καλό παράδειγμα κρημνών του Ολοκαίνου που έχουν μετατοπιστεί από ενεργά ρήγματα(Pirazzoli et al, 1994b).

# 10.3.3.2 Χρονολόγηση ανύψωσης

Έξι δείγματα κελυφών συλλέχθηκαν στην θέση ανάπτυξής τους από τους P.Pirazzoli et al. (1994b) και χρονολογήθηκαν με ραδιοάνθρακα με τη μέθοδο AMS (Πίνακας 11). Οι ηλικίες που λήφθηκαν βαθμονομήθηκαν με την καμπύλη βαθμονόμησης θαλάσσιων δειγμάτων και με την επίδραση ταμιευτήρα για τη Μεσόγειο που είναι 320±25yr.

Sample	Identification	Altitude	Age <sup>14</sup> C <sup>b</sup>	Calibrated date c
(No.)		(m) <sup>a</sup>	$(\text{yr B.P.} \pm \sigma)$	(yr)
Heraion				
92PE1	(Chthamalus)	$1.4 \pm 0.1$	$1990 \pm 100$	190- 440 A.D.
92PE3	(Lithophaga)	3.1	$5820 \pm 60$	4440-4320 B.C.
92PE5	(Lithophaga)	2.2	$4120 \pm 60$	2440-2260 B.C.
Mylokopi				
92PE6	(Chthamalus)	$1.1 \pm 0.3$	$620 \pm 130$	1450–1830 A.D.
92PE7	(V. triqueter)	0.8	$1865 \pm 55$	400- 540 A.D.
92PE8	(Lithophaga)	3.0	$4705 \pm 50$	3170-3010 B.C.

<sup>a</sup> Above the present counterpart.

<sup>b</sup> Without reservoir age correction.

<sup>c</sup> Using a  $1\sigma$  standard deviation and  $\Delta R = -80 \pm 25$ .

# Πίνακας 11 : Λίστα δεικτών στάθμης θάλασσας που χρονολογήθηκαν στη χερσόνησο της Περαχώρας (θέσεις Ηραίον και Μυλοκόπι

Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece, Tectonophysics 229, Elsevier Science, 1994b, p. 203

# Ηραίον

Η ανώτερη ακτογραμμή στο +3,2m χρονολογήθηκε στο 4440-4320yr π.Χ από ένα κέλυφος Lithophaga το οποίο συλλέχθηκε στη θέση που φαίνεται στην Εικόνα 13. Άλλα κελύφη που συλλέχθηκαν 1m πιο χαμηλά φαίνεται να αντιστοιχούν στην ακτογραμμή των +2,6m και χρονολογήθηκαν στο 2440-2260yr π.Χ. Η χαμηλότερη ανυψωμένη εγκοπή που βρίσκεται στο +1,1m χρονολογήθηκε από κελύφη Chthamalus δίνοντας ηλικία 190-440 μ.Χ.

Δεν βρέθηκαν βυθισμένα σημάδια ακτογραμμών του Ολοκαίνου. Μπορεί όμως να γίνει ο ισχυρισμός ότι μια μικρή ανύψωση της τάξης μερικών εκατοστών μπορεί να έλαβε χώρα το 1981 με τους τρεις ισχυρούς σεισμούς των Αλκυονίδων. Πάντως η πιο πρόσφατη τεκτονική κίνηση ήταν αυτή της γρήγορης ανύψωσης που έγινε το 190-440 μ.Χ (Pirazzoli et al, 1994b).



**Εικόνα 13 : Θέση δειγματοληψίας κελύφους Lithophaga (92PE3) κοντά στο Ηραίο** Πηγή : P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece, Tectonophysics 229, Elsevier Science, 1994b, p. 204

# Μυλοκόπι

Η ραδιοχρονολόγηση ενός κελύφους Lithophaga, που συλλέχθηκε στη θέση ανάπτυξής τους στο +3m και το οποίο αντιστοιχεί στην ανώτερη εγκοπή του τόμπολο, έδωσε ηλικία 3170-3010 yr π.Χ.

Ένα καλά διατηρημένο κέλυφος Vermetus Triqueter συλλέχθηκε από το +0,8m στη θέση ανάπτυξης από την επιφάνεια ακτόλιθου (92PE7) και φαίνεται ότι αντιστοιχεί στη στάθμη θάλασσας πριν την τελευταία ανύψωση. Αυτό χρονολογήθηκε στο 400-540 μ.Χ.

Τέλος ένα δείγμα κελύφους Chthamalus που λήφθηκε από το +1,1±0,3m από ένα τέμαχος βράχου εκτεθειμένο στα κύματα έδωσε ηλικίες 1450-1930 μ.Χ. Αυτό το δείγμα δεν μπορεί να ληφθεί υπόψη γιατί υπάρχουν υπόνοιες ότι τα διάφορα κελύφη στη θέση αυτή αποτελούν μίγμα κελυφών διαφορετικών ηλικιών (Pirazzoli et al, 1994b).

# 10.3.3.3 Συσχέτιση με δεδομένα ιστορικών σεισμών

Η χερσόνησος της Περαχώρας φαίνεται να έχει υποστεί επαναλαμβανόμενες ανοδικές τεκτονικές κινήσεις. Ο σεισμός που ανύψωσε την ανώτερη εγκοπή του Ολοκαίνου έλαβε χώρα μετά το 4440yr π.Χ στο Ηραίο και μετά το 3170yr π.Χ στο Μυλοκόπι. Αυτή η διαφορά στην ηλικία των κελυφών Lithophaga (τα οποία υποθέτουμε ότι θανατώθηκαν από γρήγορη ανύψωση), δείχνει ότι η κατακόρυφη μετατόπιση στις δύο θέσεις δεν ήταν ταυτόχρονη. Επίσης ένα άλλο επεισόδιο είναι πιθανό πως έλαβε χώρα στο Ηραίο μετά το 2440π.Χ.

Τέλος η χαμηλότερη ανυψωμένη ακτογραμμή ανυψώθηκε περίπου 1m και στις δύο περιοχές είτε την ίδια στιγμή είτε μεταξύ 4<sup>ου</sup> και 6<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ.

Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξαν οι P.Pirazzoli et al.(1994b) είναι ότι

1)οι ηλικίες που εκτιμήθηκαν για το τελευταίο επεισόδιο τεκτονικής ανύψωσης αντιστοιχούν σε μια περίοδο υψηλής σεισμικής δραστηριότητας που ξεκινάει περίπου από το μέσου του 4<sup>ου</sup> αιώνα μ.Χ και έως τον 6<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ. (Η περίοδος αυτή έχει αναφερθεί από διάφορες περιοχές της ανατολικής Μεσογείου) και

2)ότι παρόλο που μεγάλοι σεισμιοί (M≥6) συχνά πλήττουν την περιοχή, δεν υπάρχουν αποδείξεις ότι κάποια γνωστή σεισμική δόνηση συσχετίστηκε με σημαντική ανύψωση. Το ίδιο ισχύει και για τους σεισμούς του 1981 οι οποίοι σχετίστηκαν με 1m βύθιση στο Αλεποχώρι αλλά με πολύ μικρή ανύψωση βορειότερα (Ο σεισμός του 1981 Ms=6,7, δημιούργησε ανύψωση <10cm, πολύ μικρή για να έχει ανυψώσει μια εγκοπή καθαρά πάνω από τη στάθμη της θάλασσας (Cooper et al, 2007). Μια πιθανή εξήγηση είναι ότι η περίοδος επαναφοράς των μεγάλων σεισμών που συνοδεύονται από συν σεισμική ανύψωση είναι της τάξης των 1600 χρόνων στο Ηραίο, μια περίοδος που είναι της ίδιας τάξης με την επανενεργοποίηση του ρήγματος στη νότια ακτή του Κορινθιακού κόλπου. Αφού λοιπόν η τελευταία ανύψωση στο Ηραίο έλαβε χώρα 1500 χρόνια πριν κατά τη διάρκεια μιας περιόδου τοπικού τεκτονικού παροξυσμού, είναι πιθανό να αναμένεται στο άμεσο μέλλον ένας νέος μεγάλος σεισμός συνοδευόμενος από συν σεισμική κάθετη ανύψωση (Pirazzoli et al, 1994b).

# 10.3.4 Ευβοϊκός κόλπος, Περιοχή Λιβανάτες-Αρκίτσα κοντά στην αρχαία πόλη Κύνος

Ο Βόρειος Ευβοϊκός κόλπος είναι μια από τις πιο ενεργές σεισμικές περιοχές της Ελλάδας και είναι γνωστό ότι έχει υποστεί τη δράση αρκετών ισχυρών σεισμών κατά τους ιστορικούς χρόνους, μερικοί εκ των οποίων συνοδεύτηκαν από καταστροφικά τσουνάμι. (Χάρτης 11). Το κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό σε αυτό το τμήμα της Λοκρίδας (Αταλάντη) είναι το κανονικό ρήγμα, του οποίου συνσεισμικές κινήσεις βύθισης έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια των σεισμών του 426 π.Χ. και του 1894 μ.Χ. Λίγα χιλιόμετρα βόρεια του ρήγματος της Λοκρίδας έχουν βρεθεί αποδεικτικά στοιχεία ανυψωτικών κινήσεων (οπές Lithophaga) στην παράκτια περιοχή μεταξύ Λιβανάτων και Αρκίτσας (Pirazzoli et al, 1999).



**Χάρτης 11 : Χάρτης βόρειου Ευβοϊκού κόλπου, περιοχή Λιβανάτες-Αρκίτσα** Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.361

Πρόσφατες αρχαιολογικές ανασκαφές στο λόφο του Πύργου, λίγες δεκάδες μέτρα μακριά από την ακτή κοντά στους Λιβανάτες, έχουν φέρει στο φως εγκαταστάσεις, που έχουν ταυτιστεί με την ομηρική πόλη Κύνος. Τα στοιχεία από την αρχαιολογική ανασκαφή δείχνουν ότι οι εγκαταστάσεις αυτές σε περίπου 16m πάνω από το σημερινό επίπεδο της θάλασσας, έχουν υποστεί τουλάχιστον δύο καταστροφές σε λιγότερο από 100 χρόνια, η πρώτη από τις οποίες πιθανόν να σχετίζεται με έναν σεισμό στα μέσα του 12<sup>00</sup> π.Χ. αιώνα. Ενδείξεις του ότι πρόκειται για καταστροφή λόγω σεισμού δίνονται από μια πλευρική μετατόπιση των τειχών σε σχέση με τα θεμέλιά τους, από την απομάκρυνση στις κατασκευές τούβλων από πηλό, και από πεσμένους πλίνθους. Το στρώμα που σχετίζεται με τη δεύτερη περιέχει μεγάλο αριθμό κροκαλών και αποστρογγυλεμένα θαλάσσια καταστροφή απολιθώματα (συμπεριλαμβανομένων Spondyls, Cerithium, Arca, Murex, Patella), χωρίς λειτουργική σχέση με το κτίριο: οι κροκάλες δεν είχαν χρησιμοποιηθεί για πεζοδρόμια, ή σαν δομικό υλικό. Αυτές οι θαλάσσιες αποθέσεις, που βρέθηκαν σε βάθος 2,2m κάτω από την επιφάνεια, είχαν κατά πάσα πιθανότητα αποστρογγυλωθεί από την δράση των κυμάτων κατά την πιθανή παράσυρσή τους από ένα κύμα τσουνάμι που προκλήθηκε από σεισμό. Το στρώμα της απόθεσης από το τσουνάμι δεν βρέθηκε επί τόπου, αλλά ένα θαλάσσιο δείγμα κελύφους από αυτό το στρώμα χρονολογήθηκε με τη μέθοδο AMS και έδωσε ηλικία 3030±80 yr BP, (δηλαδή μεταξύ 1520 και 1130 π.Χ. μετά τη βαθμονόμηση) (Πίνακας 12) (Pirazzoli et al, 1999).

# 10.3.4.1 Ανυψωμένη ακτογραμμή και βιολογικοί δείκτες

Στην ασβεστολιθική ακτή κοντά στην πόλη Κύνος, αρκετές οπές Lithophaga, κάποιες από τις οποίες περιείχαν και τα κελύφη των οργανισμών που ζούσαν σε αυτές, βρέθηκαν σε ύψος περίπου 1,4m πάνω από τη θέση που ζουν σήμερα οι αντίστοιχοι οργανισμοί.

Μια εγκοπή παρατηρείται περίπου +0,4 / +0,5m. (πάνω από τη μέση στάθμη θάλασσας), κοντά στη βάση του ασβεστολιθικού πετρώματος.

Μεταξύ της σημερινής στάθμης θάλασσας και του +0.5m, παρατηρούνται ανυψωμένες οπές Lithophaga οι οποίες συνήθως έχουν πληρωθεί με ιλυώδες / αμμώδες υλικό που απολίθωσε τα κελύφη (όπου εξακολουθούν να υπάρχουν), παρόλο που τέτοιο υλικό παρατηρείται δεν είναι τόσο σύνηθες πάνω από το επίπεδο +0.5m. Ένα στρώμα από μορφές που έχουν προκύψει από τη διάβρωση λόγω της δράσης του άλατος παρατηρείται σε διάφορα επίπεδα και πάνω από τις υψηλότερες οπές Lithophaga, αλλά και σε ενδιάμεσα επίπεδα, μεταξύ +0,5m και +1,4m. Στην τελευταία περίπτωση, οι άκρες των στρωμάτων αυτών είχαν τρυπηθεί κατά θέσεις από Lithophaga, γεγονός που αποτελεί απόδειξη ότι το ενδιάμεσο επίπεδο λεκανών είχε βυθιστεί, δηλαδή είχε λάβει χώρα και άλλη μετατόπιση εκτός από αυτή που μπορούμε να δούμε στη θέση της εγκοπής στο +0,5m (Σχήμα 33) (Pirazzoli et al, 1999).



Σχήμα 33 : Σχηματική αναπαράσταση των διαδοχικών αλλαγών της σχετικής στάθμης θάλασσας, των οπών Lithophaga και των επιφανειών ανάπτυξης άλατος

Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.363

Sample	Material	Elevation (m)	Estimated palaeo-MSL elevation (m)	<sup>14</sup> C age (yr B.P.±σ)	Laboratory No.	Calibrated date (±2σ)
9LI-5	Lithophaga	+1.3	+1.4	2310±110	GifA89373	360 B.CA.D. 210
97LI-4	Lithophaga	+1.3	+1.4	2690±60	GifA97388	750-370 B.C.
9LI-2	Litho <b>ph</b> aga	+0.3	+0.5	3160±120	GifA89372	1410-800 B.C.
97LI-1	Lithophaga	+0.4	+0.5	3220±70	GifA97389	1380-965 B.C.
XXXV-343	marine shell	about +16	+0.5 ?	3350±80	GifA92465	1520-1130 B.C.

### 10.3.4.2Χρονολόγηση ανύψωσης

#### Πίνακας 12 : Λίστα δειγμάτων που χρονολογήθηκαν με τη μέθοδο AMS στην πόλη Κύνος

Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.363 Τέσσερα δείγματα κελυφών Lithophaga συλλέχθηκαν και ραδιοχρονολογήθηκαν από τους P.Pirazzoli et al.(1999). Τα δείγματα αυτά συλλέχθηκαν σε ύψος 1.3m (δύο δείγματα από διαφορετικά παράκτια τμήματα) και (άλλα δύο δείγματα) μεταξύ +0.3m και +0.4m πάνω από τη θέση που ζουν τα αντίστοιχα ομόλογά τους. Το δείγμα του υψηλότερου επιπέδου χρονολογήθηκε (μετά αφαίρεση των 320 ετών) στο 1990±110yr B.P. και 2370±60yr B.P, δηλαδή, μετά τη βαθμονόμηση, μεταξύ 360 π.Χ. και 210 μ.Χ και μεταξύ 750 και 370 π.Χ., αντίστοιχα. Τα δείγματα του χαμηλότερου επιπέδου χρονολογήθηκαν μεταξύ 2840±120 yr BP και 2900±70yr B.P., δηλαδή μετά τη βαθμονόμηση, μεταξύ 1410 και 800 π.Χ. και μεταξύ 1380 και 965 π.Χ., αντίστοιχα(Πίνακας 12) (Pirazzoli et al, 1999)

# 10.3.4.3 Ιστορία μεταβολής σχετικής στάθμης θάλασσας

Η συνεκτίμηση των ηλικιών από τη ραδιοχρονολόγηση, των αρχαιολογικών ευρημάτων και των γεωμορφολογικών ενδείξεων, οδήγησαν τους P.Pirazzoli et al.(1999) στην ακόλουθη ιστορία της σχετικής στάθμης της θάλασσας (Σχήμα 34):

- (1) Πριν από το. 1400 π.Χ., μια σταθερή στάθμη θάλασσας σε ύψος περίπου +0,5m επέτρεψε στα Lithophaga να δημιουργήσουν αποικίες πάνω στα ασβεστολιθικά πετρώματα σε αυτό το επίπεδο και στις διαβρωσιγενείς επιφάνειες να αναπτυχθούν ελαφρώς πάνω από το +0,5m σε θέσεις όπου φτάνουν τα κύματα.
- (2) Μια ταχεία βύθιση ενδεχομένως 0.9m, ακολουθούμενη από ένα κύμα τσουνάμι, έλαβε χώρα μεταξύ 1380 και 965 π.Χ. Επειδή τα Lithophaga μπορούν να ζήσουν σε οποιοδήποτε βάθος στην υποπαλιρροιακή ζώνη, δεν θανατώθηκαν από τη βύθιση, αλλά από ένα αμμώδες / ιλυώδες υλικό, το οποίο γέμισε τις οπές τους, απολιθώνοντας τα κελύφη και καθιστώντας δυνατή τη διατήρησή τους. Τέτοιο αμμώδες / ιλυώδες υλικό είναι πιθανό να έχει αποτεθεί από ένα κύμα τσουνάμι. Αν και δεν είναι βέβαιο ότι ο σεισμός που προκάλεσε τη βύθιση και το κύμα τσουνάμι συνέβησαν ταυτόχρονα, ωστόσο αυτή η εκδοχή θεωρείται πιθανή.
- (3) Άλλα νέα Lithophaga αποίκισαν στα ασβεστολιθικά πετρώματα έως το νέο επίπεδο της θάλασσας. Νέες διαβρωσιγενείς επιφάνειες από τη δράση του άλατος αναπτύχθηκαν στην περιοχή εμβέλειας του κύματος πάνω από + 1.4m.
- (4) Μια συνσεισμική ανύψωση έφερε το σχετικό επίπεδο της θάλασσας από τα 1.4m στη θέση που βρίσκεται σήμερα, πιθανώς μεταξύ 360 π.Χ. και 210 μ.Χ (Pirazzoli et al, 1999).



Σχήμα 34 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση Α : συν σεισμικές κινήσεις σε μια τοπικά σταθερή στάθμη θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.365

Η ανωτέρω ερμηνεία στηρίζεται σε δύο απλές παραδοχές:

(α) ότι το επίπεδο της θάλασσας παρέμεινε σταθερό και (β) ότι προσεισμικές και μετασεισμικές κατακόρυφες μετατοπίσεις ήταν αμελητέες.

Κάθε τοπική αλλαγή της στάθμης της θάλασσας (ανεξάρτητα από το εάν είναι ευστατικής ή ισοστατικής προέλευσης) που μπορεί να είχε συμβεί κατά τη διάρκεια της εξεταζόμενης περιόδου, θα είναι πρόσθετη στη συνσεισμική κίνηση, πράγμα που σημαίνει αύξηση ή μείωση του μεγέθους της μετατόπισης.

Για παράδειγμα, η εμφάνιση μιας τοπικής σταδιακής ανόδου της στάθμης της τάξης της τάξης του 1m από την περίοδο 2000 yr BP, θα είχε ως αποτέλεσμα η συνσεισμική μετατόπιση (4) να είναι μια ανύψωση 1.4 + 1 = 2,4 m. Άρα κατά τον ίδιο τρόπο, η εμφάνιση μιας τοπικής ανύψωσης της στάθμης της θάλασσας πριν από το 2000 yr BP θα είχε μειώσει το ποσοστό της συν σεισμικής βύθισης (2) (Σχήμα 35).



Σχήμα 35 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση Β : συν σεισμικές κινήσεις πρόσθετες σε μια τοπική αύξηση στάθμης θάλασσας 0.5mm/yr

Σταδιακές μετατοπίσεις, σε αντίθεση με τις συνσεισμικές, είναι δυνατό να εμφανιστούν κατά τη διάρκεια ετών ή δεκαετιών πριν (preseismic) ή μετά (postseismic) από ένα συν σεισμικό γεγονός. Παραδείγματα προσεισμικών κινήσεων έχουν αναφερθεί σε διάφορες περιοχές στην Ελλάδα και την Ανατολική Μεσογείου ενώ μετασεισμικές μετατοπίσεις φαίνεται ότι είναι λιγότερο συχνές στην περιοχή της Μεσογείου.

Αν εξετάσουμε τη συνάφεια των αποτελεσμάτων προσεισμικών και μετασεισμικών κινήσεων με τα δεδομένα που παρατηρήθηκαν βλέπουμε ότι : ο θάνατος μεταξύ 1380 και 965 π.Χ. των Lithophaga που τώρα βρίσκονται στο +0,3 / +0,4m και η επακόλουθη διατήρησή τους από βιοδιάβρωση θα ήταν επίσης δυνατή, εάν η συνσεισμική κίνηση ήταν ανύψωση αντί για βύθιση. Αλλά στην περίπτωση αυτή (Σχήμα 36), τα κελύφη θα είχαν παραμείνει ανυψωμένα τον περισσότερο χρόνο και θα έπρεπε μια σημαντική προσεισμική βύθιση να έχει προηγηθεί της συν σεισμικής ανύψωσης (4), η οποία βύθιση θα έφερνε τη στάθμη της θάλασσας στο +1,4m (Pirazzoli et al, 1999).

Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.365



Σχήμα 36 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση C : προ σεισμικές και συν σεισμικές κινήσεις σε μια σταθερή στάθμη θάλασσας

Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kyros, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.365

Μια τοπική ανύψωση της στάθμης της θάλασσας κατά τη διάρκεια της υπό εξέταση περιόδου θα είχε προσθέσει τα αποτελέσματά της σε αυτά τα νέα αποτελέσματα των προσεισμικών και μετασεισμικών κινήσεων(Σχήμα 37).



Σχήμα 37 : Διάγραμμα της μεταβολής της σχετικής στάθμης της θάλασσας σύμφωνα με την υπόθεση B : συν σεισμικές κινήσεις πρόσθετες σε μια τοπική αύξηση στάθμης θάλασσας 0.5mm/yr
Πηγή : P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Late Holocene Coseismic
Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier,1999,p.365

Η τελευταία αυτή ερμηνεία, που αναφέρεται σε σημαντικές προσεισμικές μετατοπίσεις, είναι όμως λιγότερο πειστική, ειδικά από γεωμορφολογικής άποψης. Στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη, η βιοδιάβρωση στον ασβεστόλιθο είναι μέγιστη, και οι διαβρωσιγενείς επιφάνειες από τη δράση άλατος μπορούν να σχηματιστούν μόνο στην υπερπαλιρροιακή ζώνη, όπου τα

ποσοστά διάβρωσης είναι πολύ χαμηλότερα σε σχέση με τη μεσοπαλιρροιακή. Κοντά στην πόλη Κύνος το βάθος των κοιλωμάτων απόθεσης άλατος είναι κάποια εκατοστά (Σχήμα 33) αν και αυτές οι λεκάνες έχουν σχηματιστεί σε σχετικά μαλακό ψαμμίτη του Πλειστοκαίνου και επίσης πρέπει να έχουν παραμείνει στη θέση όπου φτάνουν τα κανονικά κύματα (δηλ. ακριβώς πάνω από την υψηλή παλίρροια) κατά τη διάρκεια μιας περιόδου πολύ μεγαλύτερης από λίγα χρόνια που επιτρέπει η προσεισμική δραστηριότητα. Άρα η ακολουθία των Σχήμα 36 και Σχήμα 37είναι απίθανο να έχει συμβεί, γιατί θα σήμαινε υπερβολικά υψηλά ποσοστά διάβρωσης για την ανάπτυξη διαβρωσιγενών επιφανειών. Βιολογικά στοιχεία (όπως για παράδειγμα η διάρκεια που παρέμειναν τα Lithophaga) κάνουν επίσης την ακολουθία του Σχήμα 34 απίθανη.

Εν κατακλείδι, η πιο πιθανή ιστορία της σχετική στάθμης της θάλασσας στην περιοχή του Κύνου είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 35, όπου φαίνεται μια σταδιακή άνοδος της στάθμης της θάλασσας (της ισοστατική ή / και τεκτονικής προέλευσης), με πρόσθετη μικρή κίνηση συν σεισμικής βύθισης, η οποία χρονολογήθηκε μεταξύ 1380 και 965 π.Χ., και με μια μεγαλύτερη συνσεισμική ανύψωση μεταξύ 360 π.Χ. και 210 μ.Χ (Pirazzoli et al, 1999).

#### 10.3.4.4 Ερμηνεία μεταβολών

Το γεγονός ότι η παράκτια περιοχή μεταξύ Λιβανατών και Αρκίτσας έχει υποστεί μικρή βύθιση και στη συνέχεια ανύψωση, είναι ενδιαφέρουσα. Η πόλη Κύνος βρίσκεται στο κατερχόμενο τέμαχος του ρήγματος της Λοκρίδας και επομένως είναι πιθανό να υποχωρήσει σαν αποτέλεσμα των κινήσεων του ρήγματος αυτού. Βρίσκεται επίσης στο ανυψούμενο τέμαχος του ρήγματος των Καμένων Βούρλων και επομένως μπορεί να αναμένεται να ανυψωθεί σαν αποτέλεσμα των κινήσεων του ρήγματος αυτού. Ωστόσο, η ανύψωση φαίνεται να περιορίζεται μόνο σε ένα μικρό τμήμα της ακτής μεταξύ Λιβανατών και Αρκίτσας και αυτό συνεπάγεται δραστηριότητα κάποιου άλλου ρήγματος το οποίο δεν έχει προσδιοριστεί (Pirazzoli et al, 1999).

# 10.3.4.5 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά στοιχεία

Σύμφωνα με την πιο πιθανή ιστορία της σχετική στάθμης της θάλασσας στην περιοχή του Κύνου, φαίνεται μια σταδιακή άνοδος της στάθμης της θάλασσας με πρόσθετη μικρή κίνηση συν σεισμικής βύθισης, η οποία χρονολογήθηκε μεταξύ 1380 και 965 π.Χ. και με μια μεγαλύτερη συνσεισμική ανύψωση μεταξύ 360 π.Χ. και 210 μ.Χ (Pirazzoli et al, 1999).

# 10.3.5 Σάμος

# Μια ταχεία συν-σεισμική ανύψωση-μορφολογικοί δείκτες και χρονολογούμενο υλικό.

Οι ακτές της ευρύτερης περιοχής του Αιγαίου χαρακτηρίζονται από βυθισμένα αρχαία ερείπια, που αποδεικνύουν ότι, τουλάχιστον στο τέλος του Ολόκαινου, η παράκτια μορφολογία ελέγχεται από την επίκλυση της θάλασσας (προέλαση της θάλασσας στην ηπειρωτική περιοχή). Στη Σάμο, ωστόσο, υπολείμματα θαλάσσιων εγκοπών και πάγκων, μαρτυρούν απολιθωμένες ακτογραμμές που ανυψώθηκαν στο Ολόκαινο (Stiros et al, 2000). Συγκεκριμένα σε επτά θέσεις παρατηρήθηκαν τόσο γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά όσο και βιολογικοί δείκτες οι οποίοι χρονολογήθηκαν και έτσι αποδείχθηκε γρήγορη συν-σεισμική ανύψωση που συσχετίστηκε με ιστορικά σεισμικά γεγονότα.

# 10.3.5.1 Ανυψωμένη ακτογραμμή

# Περιοχή 1 - Δυτικό άκρο του λιμανιού Καρλόβασι (Χάρτης 12)

Στα βράχια αμέσως δυτικά του λιμανιού του Καρλόβασι και έως τη παραλία Ποτάμι, παρατηρούνται ενδείξεις εγκοπών, τουλάχιστον 2m, και αν και δεν είναι καλά αναπτυγμένα ωστόσο υπάρχουν σε όλο το μήκος της ακτής (Stiros et al, 2000).

Περιοχή 2 - Λευκό (Αγίου Νικολάου) Παρεκκλήσι στην παραλία Ποτάμι (Χάρτης 12) Στην παραλία ακριβώς ανατολικά από το Λευκό (Αγίου Νικολάου) Παρεκκλήσι στο Ποτάμι, μια καλά διατηρημένη αποικία από vermetids (κυρίως Vermetus triqueter) έχει δημιουργήσει ένα λεπτό ύφαλο που σκεπάζει τους ακτόλιθους (beachrock), μέχρι το ύψος των 50cm πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Εικόνα 14). Αυτά τα είδη όπως έχει ήδη αναφερθεί ζουν στην υποπαλιρροιακή ζώνη, και δεν αποτελούν καλούς δείκτες της στάθμης της θάλασσας. Ωστόσο, δεδομένου ότι περιορίζονται στο κάτω μέρος των πάγκων των ακτόλιθων, το ανώτερο σημείο τους είναι πιθανό να αντιστοιχεί στο επίπεδο της θάλασσας την περίοδο που ζούσαν. Στους κοντινούς βράχους, υπολείμματα από vermetids (αποικίες της Dendropoma petraeum και μονήρη Vermetus triqueteur) βρέθηκαν σε δύο διαφορετικά επίπεδα: 0,6m και 1,1m ύψους κατά μέσο όρο, σε βράχους της ακτής. Αυτά τα επίπεδα σίγουρα αντιστοιχούν σε δύο απολιθωμένες ακτογραμμές (Stiros et al, 2000).



Εικόνα 14 : Λεπτομέρεια ανυψωμένου μικρο-υφάλου vermetid στην παραλία ανατολικά από το Λευκό Παρεκκλήσι.

# Περιοχή 3 - Ακρωτήρι Punta (Χάρτης 12)

Στο δυτικό άκρο της παραλίας Ποτάμι, υπάρχουν σαφή γεωμορφολογικά στοιχεία τουλάχιστον τριών απολιθωμένων ακτογραμμών :

δύο πάγκοι, 0,6±0,2 m και 1,1±0,2 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, και μια στενή εγκοπή σε ύψος 2,3±0,2 m (Εικόνα 15). Ο λιθολογία δεν είναι ομοιόμορφη, ακόμη και σε κλίμακα λίγων μέτρα, έτσι ώστε τα χαρακτηριστικά αυτά εξαφανίζονται στην άκρη του ακρωτήριου, αλλά επανεμφανίζονται στη δυτική του ακτή. Βιολογικά ίχνη δεν έχουν βρεθεί στους δύο πάγκους, αλλά έχουν βρεθεί υπολείμματα δύο πολυστρωματικών αποικιών από Dendropoma petraeum, σε ύψη 0,7±0.2 m και 1,1±0,2 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας, στο ανατολικό άκρο του Ακρωτηρίου Punta. Αυτές οι δύο αποικίες αντιστοιχούν σε δύο απολιθωμένες ακτογραμμές, γεωμορφολογικά αποδεικτικά στοιχεία των οποίων αποτελούν οι δύο γειτονικοί πάγκοι (Stiros et al, 2000).

Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 50



Εικόνα 15 : Ακρωτήρι Punta, ανυψωμένες ακτογραμμές.

Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 47

# Περιοχή 4 - Όρμος μικρό Σεϊτάνι (Χάρτης 12)

Σε αυτή τη θέση, υπάρχουν ένας πάγκος και μια εγκοπή σε ελαφρώς υψηλότερο επίπεδο (περίπου 20 -30cm), πιθανώς λόγω της μεγαλύτερης ενέργειας των κυμάτων. Ο πάγκος με 1,5m ύψος, φαίνεται ότι αποτελεί παλαιότερο παράκτιο πάγκος όπου θραυόταν το κύμα. Σε τοπικό επίπεδο έχει πάνω από 1m. πλάτος, και σχηματίζει μια αψίδα στο ακρωτήριο του ανατολικού άκρου αυτού του κόλπου (Εικόνα 16). Το αντίστοιχο επίπεδο της θάλασσας σε τέτοιες περιπτώσεις θα πρέπει να προσδιορίζεται τουλάχιστον 20-30cm χαμηλότερα από τη στεφάνη του πάγκου. Η ανώτερη εγκοπή, αν και δεν είναι καλά αναπτυγμένη, φαίνεται ξεκάθαρα σε αυτό το σημείο, στο ύψος περίπου 2,4±0,2 m πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας (Stiros et al, 2000).



Εικόνα 16 : Όρμος μικρό Σεϊτάνι, δυο παράκτιοι πάγκοι και μια εγκοπή πάνω από αυτές επιβεβαιώνουν τις 3 απολιθωμένες ανυψωμένες ακτές του Ολοκαίνου

Πηγή : Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 48

# Περιοχή 5 και 6 - Όρμος Αγίου Ισιδώρου (Χάρτης 12)

Στον Άγιο Ισίδωρο, το μοτίβο των απολιθωμένων ακτογραμμών είναι ασαφές και προφανώς διαφορετικό από τις άλλες θέσεις. Μεταξύ των θέσεων 5 (ναυπηγεία για τα παραδοσιακά ξύλινα σκάφη) και 6, το μεγαλύτερο μέρος της ακτής χαρακτηρίζεται από έναν επίπεδο πάγκο από σιμεντωμένο υλικό, πάνω στο οποίο είναι εξαιρετικά καλά διατηρημένες αποικίες *Dendropoma petraeum* μέχρι το ύψος των 0,6m. (Εικόνα 17). Στο μικρό ακρωτήρι υπάρχουν δύο εγκοπές:

μια χαμηλότερη, πολύ καλά ανεπτυγμένη (με βάθος περίπου 40cm.) της οποίας το σημείο υποχώρησης βρίσκεται στο ύψος των 0,50 - 0,70και

μια υψηλότερη, λιγότερο καλά ανεπτυγμένη, της οποίας το σημείο υποχώρησης βρίσκεται στο ύψος των 1,10 - 1,30m.

Σε τοπικό επίπεδο, σε κάθετο μέτωπο βράχου υπάρχουν οπές Lithophaga lithophaga, με την κορυφή τους να σχηματίζει μια σχεδόν οριζόντια γραμμή περίπου στο 1,20-1,30μ ύψος. Τέλος, στη θέση 5, στους βράχους του ανατολικότερου άκρου του όρμου, υπάρχει μια στενή εγκοπή, περίπου σε ύψος 2,4m (Stiros et al, 2000).



Εικόνα 17 : Άγιος Ισίδωρος, ένας πολύ καλά διατηρημένος απολιθωμένος μικρο-ύφαλος με Dendropoma petraeum, μαρτυρεί την παράκτια ανύψωση.

Πηγή : Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 49

# Περιοχή 7 - Ακρωτήρι Κατάβασι (Χάρτης 12)

Ίχνη ανυψωμένων απολιθωμένων ακτογραμμών, μέχρι ύψος 1,5m, έχουν παρατηρηθεί στους κρημνούς της δυτικής πλευρά του ακρωτηρίου Κατάβασι. Λόγω της τοπικής λιθολογίας, τα ίχνη αυτά είναι ασαφή, και εξαφανίζονται προς τα δυτικά.


Χάρτης 12 : Ανυψωμένες ακτές στη Νοτιοδυτική Σάμο. Χάρτης τοποθεσίας και τοπογραφίας. Τα νούμερα με τα βέλη αντιστοιχούν στις περιοχές 1-7 που αναφέρονται στο κείμενο.

Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 46

Συνοψίζοντας από μακροσκοπική παρατήρηση της ακτής και λεπτομερή μελέτη, φαίνεται πως τουλάχιστον τρεις κύριες ακτές σε ύψη 0,6±0,2m, 1,1±0,2m και 2,3±0.2m εντοπίζονται κατά μήκος μιας απόσταση άνω των 10km κατά μήκος της ΒΔ ακτής της Σάμου, μεταξύ του λιμανιού Καρλόβασι και του ακρωτηρίου Κατάβασι (Stiros et al, 2000).

# 10.3.5.2 Βιολογικοί δείκτες

# Περιοχή 3

Τα δείγματα LY-6729 και Ly-6730 συλλέχθηκαν από το ανατολική πλευρά της βάσης του βραχώδους ακρωτηρίου της Punta, από υψόμετρα περίπου 0,70 και 1,10m. Αυτά τα απολιθώματα αποτελούν τις διαβρωμένες βάσεις των δύο καλά ανεπτυγμένων αποικιών *Dendropoma petraeum* και αντιστοιχούν στις δύο πλατφόρμες που παρατηρήθηκαν σε αυτό το σημείο. Άρα καθορίζουν με ακρίβεια ±10cm. τη μέση απολιθωμένη στάθμη θάλασσας και επίσης παρέχουν ένα χαμηλότερο όριο για την ηλικία των αντίστοιχων ακτογραμμών (Stiros et al, 2000).

# Περιοχές 5 και 6

Τα δείγματα Ly-6731, Ly-6732 και Ly-6733 ελήφθησαν από τον Άγιο Ισίδωρο, από την παραλία μεταξύ των χώρων 5 και 6.

Τα δύο πρώτα από αυτά τα δείγματα συλλέχθηκαν από την απολιθωμένη ακτογραμμή σε ύψος 0,6m.

To LY-6731 είναι ένα μονήρες vermetid (*Serpulorbis*), του οποίου η διάρκεια ζωής είναι μικρή (περίπου 10 yr) και ως εκ τούτου χρονολογεί ακριβώς την απολίθωση της αντίστοιχης ακτογραμμής.

Το δείγμα LY-7632 συλλέχθηκε από ύψος 0,6m από η βάση μιας καλά αναπτυγμένης αποικία *Dendropoma petraeum* (Εικόνα 17), και ως εκ τούτου μπορεί να προσφέρει ένα χαμηλότερο όριο για την ηλικία της απολιθωμένης ακτογραμμής που βρίσκεται σε ύψος 0.6m.

Το δείγμα Ly-6733 προέρχεται από ένα Murex συγκολλημένο σε ύψος 2,0m πάνω από την ενεργή πλατφόρμα. Πρόκειται για ένα μάλλον εύθραυστο, μικρής διάρκειας ζωής (έως 10 ετών) είδος, το οποίο ήρθε στην ακτή μετά το θάνατό του από τα κύματα (ίσως από τσουνάμι) ή από ανθρώπινη δράση, και συγκολλήθηκε στην ενεργό ακτή αυτής της περιόδου. Αυτό μπορεί να έλαβε χώρα όταν το επίπεδο της θάλασσας ήταν σε ύψος περίπου 2,0 m πάνω από την ενεργή πλατφόρμα. Ως εκ τούτου, αυτό το απολίθωμα μπορεί να αντιστοιχεί σε 2,3-2,5m ύψος απολιθωμένου επιπέδου που έχει εντοπιστεί και σε άλλες θέσεις όπως στην Πούντα, στο Μικρό Σεϊτάνι, κλπ. (Stiros et al, 2000).

#### 10.3.5.3 Χρονολόγηση ανύψωσης

Καταρχήν θα πρέπει να αναφερθεί πως τα αποτελέσματα των ραδιοχρονολογήσεων υπολογίστηκαν με τη χρήση συντελεστή διόρθωσης ταμιευτήρα 320 ±25 yr.

Sample	Location	Material	Elevation	<sup>14</sup> C age	Cal age <sup>a</sup>	1-sigma interval	2-sigma interval
			(m)				
Ly-6729	Potami (Punta)	Dendropoma	$0.7 \pm 0.2$	$1485 \pm 45$	cal AD 843	AD 783-902	AD 720-972
Ly-6730	Potami (Punta)	Dendropoma	$1.1 \pm 0.2$	$2970 \pm 45$	cal BC 837	BC 902-800	BC 973-773
Ly-6731	Ag. Isidoros	Serpulorbis <sup>b1</sup>	$0.5 \pm 0.1$	$895 \pm 50$	cal AD 1406	AD 1339-1437	AD 1306-1467
Ly-6732	Ag. Isidoros	Dendropoma <sup>c2</sup>	$0.6 \pm 0.1$	$1170 \pm 50$	cal AD 1180	AD 1089-1237	AD 1040-1284
Ly-6733	Ag. Isidoros	Murex	$2.0\pm0.3$	$3760\pm50$	cal BC 1721	BC 1771-1662	BC 1867-1601

<sup>a</sup> Based on Stuiver and Reimer (1993) and a correction factor of  $-80 \pm 25$  yr (see Stiros et al., 1992). $\delta^{13}$ C estimated: 0% POB.

<sup>b</sup> Isolated vermetid.

<sup>c</sup> Base of vermetid reef on coastal platform.

Πίνακας 13 : Ηλικίες ραδιοάνθρακα και βαθμονομημένες ηλικίες για δείγματα από δυο θέσεις. Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 53

Το δείγμα Ly-6732 χρονολόγησε τη βάση του κατώτερου υφάλου vermetid στο 1040–1284 μ.Χ και το Ly-6729 στο 720-972 μ.Χ., (Εικόνα 17), παρέχοντας ένα κατώτερο όριο για την ανύψωση, επειδή όμως σχετίζονται με τη νεότερη (χαμηλότερη) ακτογραμμή, αυτή που βρίσκεται σε ύψος 0,6m, τελικά δίνουν το ανώτερο όριο της ανύψωσης.

Η χρονολόγηση του δείγματος Ly-6731 (μονήρες vermetid) έδωσε ηλικίες 1306 ± 1467 μ.X (2-sigma).

Οι ηλικίες που υπολογίστηκαν για αυτά τα 3 δείγματα είναι σύμφωνες με τα στοιχεία πεδίου και τις βιολογικές αποδείξεις.

Ομοίως, το δείγμα Ly-6730 χρονολόγησε την αποικία vermetid που σχετίζεται με την ανώτερη πλατφόρμα, στο ύψος 1,1-1,5m , στο 973 - 773 π.Χ., και ως εκ τούτου έδωσε ένα χαμηλότερο όριο για την ανύψωση που απολίθωσε αυτή την πλατφόρμα.

Ως εκ τούτου, η ανύψωση της ξηράς που προκάλεσε την απολίθωση της ακτογραμμής στο ύψος 1,1m σημειώθηκε μεταξύ 973-773 π.Χ. και 720-972 / 1040–1284 μ.Χ (Σχήμα 38).

Τέλος, από το δείγμα Ly-6733 προκύπτει ότι το επίπεδο στο ύψος 2,3 - 2,5μ χρονολογείται στο 1.867-1.601 π.Χ.

Μια ευθεία γραμμή που περιγράφει το μέσο βαθμό ανύψωσης και συνδέει το παλαιότερο και το νεότερο ακριβέστερα χρονολογημένα γεγονότα ανύψωσης, τέμνει το διάστημα της ανύψωσης της δεύτερης πλατφόρμας, η οποία ορίζεται από άνω και κάτω όρια. Αυτό καθορίζει μια πιθανή περίοδο σεισμού περίπου στο 2000 - 1100 yr BP (Σχήμα 38) (Stiros et al, 2000).



Σχήμα 38 : Διάγραμμα ηλικιών ραδιοάνθρακα σε σχέση με το υψόμετρο των δειγμάτων. Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 53

### 10.3.5.4 Αποδείζεις ταχείας σεισμικής ανύψωσης

Υπάρχουν στοιχεία ότι οι τρεις απολιθωμένες ακτές, έως το ύψος των 2,3m, που προσδιορίστηκαν κατά μήκος της ΒΔ ακτής της Σάμου, προέρχονται από την τεκτονική ανύψωση της ξηράς σε κλίμακα περίπου 10km. και δεν οφείλονται σε κλιματικές ταλαντώσεις της στάθμης της θάλασσας ή σε τοπικά τεκτονικά γεγονότα.

Τα στοιχεία αυτά είναι τα εξής :

Πρώτον, περιορίζονται σε μια γεωγραφικά περιορισμένη περιοχή, περίπου 10km πλάτος, και συσχετίζονται με ένα κύριο τεκτονικό χαρακτηριστικό: με το κατερχόμενο τέμαχος του σημαντικού κανονικού ρήγματος όπου βρίσκεται η ακτή του νησιού, όπως μπορεί να συναχθεί από τη βαθυμετρία και τοπογραφία (Χάρτης 13) (Stiros et al, 2000).



 Χάρτης 13 : Τοπογραφία και βαθυμετρία στην περιοχή της Σάμου και της Ικαρίας. Τα τρίγωνα (ΒΔ) δείχνουν ανυψωμένες ακτογραμμές και τα βέλη (NA) βυθισμένες αρχαιολογικές θέσεις.
 Πηγή : S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier, 2000, p. 42

Δεύτερον, σχηματίστηκαν κατά τη διάρκεια ενός σύντομου χρονικού διαστήματος, περίπου μεταξύ 2000π.Χ. και 1500 μ.Χ., μια περίοδο κατά την οποία δεν υπάρχει σημαντική παγκόσμια ή τοπική σχετική πτώση της στάθμης της θάλασσας (Stiros et al, 2000).

Επιπλέον υπάρχουν βιολογικές και γεωμορφολογικές αποδείξεις ότι οι παρατηρούμενες ανυψώσεις ήταν επεισοδιακές και εμφανώς προερχόμενες από σεισμούς : η διατήρηση των απολιθωμένων ειδών που είναι μονήρη της υποπαλιρροιακής ζώνης (Vermetus triqueteur, Serpulorbis) σε ανυψωμένες ακτογραμμές δείχνει ότι αυτά τα είδη πέρασαν γρήγορα τη

μεσοπαλιρροιακή ζώνη, μια ζώνη όπου η βιοδιάβρωσης είναι ισχυρή. Αυτό δείχνει μια σχετικά πολύ γρήγορη πτώση της στάθμης της θάλασσας, με την προϋπόθεση ότι τα είδη αυτά δεν αναπτύχθηκαν σε ένα ενδοβιωτικό περιβάλλον ή δεν ήταν διατηρημένα με ιζηματογένεση. Εάν ο βαθμός της ανύψωσης ήταν αργός (χιλιοστά ή εκατοστά ανά έτος) αυτά τα εύθραυστα υπολείμματα θα αλλοιώνονταν και θα καταστρέφονταν σε λίγα χρόνια μέσα από την μεσοπαλιρροιακή βιοδιάβρωση, η οποία γενικά θεωρείται ότι προχωράει σε ποσοστό τουλάχιστον 1mm / έτος.

Άρα οι δύο χαμηλότεροι απολιθωμένοι πάγκοι, πάνω στους οποίους βρέθηκαν Vermetids έχουν δημιουργηθεί από σεισμική ανύψωση (Stiros et al, 2000).

Η ανώτερη εγκοπή μορφολογικά αποτελεί άμεση απόδειξη επεισοδιακής ανύψωσης. Είναι πολύ στενή, τουλάχιστον σε τοπικό επίπεδο (για παράδειγμα στην Punta και στον Άγιο Ισίδωρο), δείχνοντας ότι σχηματίστηκε κατά τη διάρκεια μιας περιόδου σταθερότητας του επιπέδου της θάλασσας. Αν η ανύψωση σχετιζόταν με μια σταδιακή, σχετικά αργή πτώση της στάθμης της θάλασσας, το σχήμα της θα είχε τροποποιηθεί από τη διάβρωση, και το κάτω μέρος της θα είχε σβηστεί (Stiros et al, 2000).

#### 10.3.5.5 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα

Αναφέρεται πως η Σάμος έχει υποστεί σεισμούς σε ιστορικές περιόδους και πρόσφατα, με μέγεθος μεγαλύτερο από 6 (έξι τουλάχιστον σεισμοί κατά τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα, και δύο σεισμοί κατά τη διάρκεια του 20<sup>ου</sup> : το 1904, M=6.8 και το 1955, M=6.9), αλλά η σεισμική ιστορία της παραμένει σχεδόν άγνωστη:

Για την περίοδο μέχρι το 1800, υπάρχουν ιστορικά αποδεικτικά στοιχεία μόνο για τρεις σεισμούς: γύρω στο 200 π.Χ., το 47 μ.Χ και το 1751 μ.Χ. Οι διαθέσιμες πληροφορίες για το σεισμό την περίοδο γύρω στο 200 π.Χ. προέρχεται από μια επιγραφή που μνημονεύει το έργο ενός γιατρού για να επουλώσει τις πληγές στα θύματα του σεισμού, ενώ για το γεγονός του 47 μ.Χ. οι πληροφορίες προέρχονται από δύο επιγραφές που μνημονεύουν την ανοικοδόμηση ενός συγκεκριμένου ναού που καταστράφηκε από σεισμό. Το γεγονός του 1751 φέρεται να έχει προκαλέσει σημαντικές ζημιές στο νησί και την ακτή της Τουρκίας που βρίσκεται απέναντι. Υπάρχουν επίσης κάποια φτωχά αποδεικτικά στοιχεία για ένα σεισμό το 1476 που κατέστρεψε τη Σάμο και ήταν ένας από τους λόγους που ανάγκασε του Γενοβέζους, που ήταν οι κυβερνώντες, και τους περισσότερες από τους κατοίκους να εγκαταλείψουν το νησί στους Τούρκους και να μεταναστεύσουν στην Χίο. Αυτός ο δυνατός σεισμός συσχετίζεται άριστα με η ανύψωση της ακτής που χρονολογείται στο 1306 – 1467 μ.Χ. Όσον αφορά τα παλαιότερα γεγονότα ανύψωσης, καμία συσχέτιση με ιστορικούς σεισμούς δεν είναι ισχυρή.

Δεν υπάρχουν αναφορές αλλαγών στην παράκτια ζώνη, ενώ πολλοί σεισμοί που δεν αναφέρονται πουθενά φαίνεται να έχουν χτυπήσει τη Σάμο κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου (Stiros et al, 2000).

Κατά συνέπεια, η ανύψωση της ανώτερης (παλαιότερης) πλατφόρμας μπορεί να συσχετιστεί τόσο με το σεισμό στο 200 π.Χ., όσο και με το γεγονός του 47 μ.Χ. Ωστόσο, από τη γραφική παράσταση του Σχήμα 38 φαίνεται πιθανό ότι η σεισμική ανύψωση έγινε σε μεταγενέστερη περίοδο, γύρω στα 1500yr BP. Είναι ενδιαφέρον, ότι αυτή η περίοδος είναι γενικά σύμφωνη με μια περίοδο κατά τη διάρκεια της οποίας μια σειρά παράκτιων ανυψώσεων του 4ου - 6ου αιώνα έχουν εντοπιστεί στην Ανατολική Μεσόγειο (Stiros et al, 2000).

### 10.3.6 Νταμούχαρη

Η ακτή του Πηλίου (νότια Θεσσαλία) θεωρείται μια περιοχή ιδιαίτερου τεκτονικού καθεστώτος όπου οι αποδείξεις ανύψωσης του Ολοκαίνου σπανίζουν. Οι λιθολογικές συνθήκες είναι γενικά δυσμενείς για το σχηματισμό και τη διατήρηση θαλάσσιων εγκοπών καθώς και για τη διατήρηση απολιθωμένων θαλάσσιων βιολογικών υπολειμμάτων. Ωστόσο σε κάποιες περιοχές με ασβεστολιθικά πετρώματα υπάρχουν τέτοιες αποδείξεις. Τέτοιες περιοχές είναι ο Μυλοπόταμος και ο οικισμός Νταμούχαρη.

Στη Νταμούχαρη τα κελύφη Lithophaga που συλλέχθηκαν από το +0,5m χρονολογήθηκαν στο 270-450 μ.Χ (Pirazzoli, 2011).



**Εικόνα 18 : Θαλάσσια εγκοπή στη Νταμούχαρη, ακτή Πηλίου Θεσσαλίας** Πηγή : P. A. Pirazzoli, Holocene sea level changes and tectonic movements in the eastern Mediterranean, 15<sup>th</sup> Joint Geomorphological Meeting, 2011, Athens, p. 20

#### 10.3.7 Θεολόγος

Η περιοχή του Θεολόγου, βρίσκεται στην περιφέρεια της Λοκρίδας, στο νοτιοανατολικό άκρο της νομαρχίας της Φθιώτιδας και εκτείνεται από το Μικροβίβο έως το ακρωτήρι Φουφάκι (Χάρτης 14).



Χάρτης 14 : Η περιοχή του Θεολόγου

Πηγή : N. Evelpidou, P. A. Pirazzoli, A. Vassilopoulos, and A. Tomasin, Holocene submerged shorelines on Theologos area (Greece), Zeitschrift für Geomorphologie, Vo55, 1, Stuttgart 2011, p. 35

Στην περιοχή του Θεολόγου, κυριαρχούν ασβεστόλιθοι του Μέσο – Κάτω Ιουρασικού και Νεογενείς σχηματισμοί. Η περιοχή χαρακτηρίζεται από έντονη τεκτονική και σεισμική δραστηριότητα και έχει επηρεαστεί από έντονες εφελκυστικές τάσεις που είχαν σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων κανονικών ρηγμάτων. Οι σχηματισμοί του Νεογενούς και του Τεταρτογενούς έχουν επηρεαστεί από ρήγματα με διεύθυνση βόρειο βορειοδυτικά – νότιο νοτιοανατολικά και ανατολή - δύση. Η περιοχή βρίσκεται στο άκαμπτο τέμαχος μεταξύ δύο κανονικών ρηγμάτων, του ρήγματος της Αταλάντης και του ρήγματος κατά μήκος της Βόρειας ακτής της χερσονήσου της Μαλεσίνας (Evelpidou, 2011).

#### 10.3.7.1 Αρχαιολογικές δείκτες στάθμης θάλασσας

Η αρχαία παράκτια πόλη των Αλών (Χάρτης 14), αρχικά δημιουργήθηκε την Νεολιθική περίοδο και μετά σταδιακά κατοικήθηκε την Αρχαϊκή (700-480BC), Ελληνιστική (323-

30BC), την Ρωμαϊκή (30BC-300AD)και την Βυζαντινή περίοδο (300-1453)<sup>2</sup>. Στο τέλος της Ελληνιστικής περιόδου η πόλη των Αλών καταστράφηκε αλλά σύντομα ξαναφτιάχτηκε κατά την διάρκεια των Ρωμαϊκών χρόνων και τελικά εγκαταλείφθηκε τον 6° αιώνα ή στις αρχές του 7<sup>ου</sup>αιώνα.

Κατά την διάρκεια της αρχικής εγκατάστασης η ακρόπολη των Αλών βρισκόταν σε έναν χαμηλό λόφο κάποιες εκατοντάδες μέτρα από την ακτή. Από τότε η στάθμη της θάλασσας ανέβηκε αρκετά ή η χέρσος ταπεινώθηκε και η θάλασσα τώρα βρίσκεται στη βάση της αρχικής θεμελίωσής της. Σε διάφορες θέσεις κατά μήκος του νότιου τοίχου, οι γραμμές από τις ορθογώνιες πέτρες θεμελίωσης είναι ορατές να προεξέχουν μέσα στην θάλασσα (Εικόνα 19) (Evelpidou, 2011).



Εικόνα 19 : Υπολείμματα του πιθανού τείχους οχύρωσης από την αρχαία πόλη των Αλών
Πηγή : N. Evelpidou, P. A. Pirazzoli, A. Vassilopoulos, and A. Tomasin, Holocene submerged shorelines on Theologos area (Greece), Zeitschrift für Geomorphologie, Vo55, 1, Stuttgart 2011, p. 35

Η περιοχή γύρω από την πόλη των Αλών είναι πλούσια σε ασβεστολιθικά πετρώματα τα οποία εξόρυσσαν τους αρχαίους χρόνους. Τρία λατομεία έχουν βρεθεί στην ευρύτερη περιοχή. Δυο από αυτά βρίσκονται στη παράκτια ζώνη του Θεολόγου, το ένα στην περιοχή του Πεθαμένου, μεταξύ του ακρωτηρίου του Θεολόγου και του ακρωτηρίου Κέρατα και το άλλο στα δυτικά του όρμου Βίβος (Evelpidou, 2011).

 $<sup>^2</sup>$ Η αντιστοίχηση των περιόδων με τα έτη έγινε με βάση τον πίνακα 1 των Gaki et al. (2007), p. 42

#### 10.3.7.2 Μορφολογικοί δείκτες και άλλες παρατηρήσεις

Στην περιοχή εντοπίστηκαν προγενέστερες στάθμες θάλασσας από μορφολογικούς δείκτες όπως βυθισμένες θαλάσσιες εγκοπές και πάγκοι.

Συγκεκριμένα εντοπίστηκαν βυθισμένες εγκοπές σχήματος U από τον όρμο του Μικροβίβου έως το ακρωτήρι Φουφάκι (σε ασβεστολιθικούς σχηματισμούς σε μια απόσταση 22km), ένα προφίλ που είναι χαρακτηριστικό μιας γρήγορης κατακόρυφης μετατόπισης. Η χρονολόγηση των εγκοπών όμως δεν ήταν εφικτή αφού δεν βρέθηκαν βιολογικά υπολείμματα λόγω της βιοδιάβρωση που έλαβε χώρα μετά την βύθισή τους (Evelpidou, 2011).

### Λατομεία Αταλάντης

Στα ασβεστολιθικά πετρώματα των λατομείων Αταλάντης εντοπίστηκε μία καλά σχηματισμένη εγκοπή σχήματος U, σε βάθος -75 ± 10cm. Η καλή διατήρηση του προφίλ της εγκοπής (Εικόνα 20) δίνει αρκετά στοιχεία :

Το οριζόντιο βάθος της εγκοπής (στο επίπεδο που τέμνονται οι δύο πλευρές) είναι συνήθως 62cm (αν και κατά θέσεις μπορεί να φτάσει και το 1m). Υποθέτοντας ένα βαθμό διάβρωσης 0,2 έως 0,3 mm/yr, η ανάπτυξη της εγκοπής ίσως χρειάστηκε μία περίοδο μεγαλύτερη από 3000 χρόνια. Το ύψος της εγκοπής (συχνά περίπου 120cm) είναι μεγαλύτερο από το εύρος της υψηλής παλίρροιας (70cm), με το κατώτερο τμήμα του προφίλ της εγκοπής να είναι μεγαλύτερο από το ανώτερο τμήμα του προφίλ της εγκοπής, δείχνοντας την εμφάνιση μίας ανύψωσης της σχετικής στάθμης της θάλασσας κατά την διάρκεια της ανάπτυξής της. Το γεγονός ότι το δάπεδο της εγκοπής είναι επίσης καλά σχηματισμένο χωρίς ίχνη δευτερεύοντος «σκαλοπατιού» (υπολείμματα προηγούμενης εγκοπής) δείχνει ότι έλαβε χώρα μία βαθμιαία άνοδος της στάθμης της θάλασσας ή βύθιση περίπου 50cm κατά την διάρκεια που η εγκοπή αναπτυσσόταν. Η οροφή της εγκοπής είναι καλά σχηματισμένη και καλά διατηρημένη δείχνοντας ότι η βύθιση όλης της εγκοπής ήταν ένα γρήγορο γεγονός.

Αυτή η εγκοπή επεκτείνεται έως το Μικροβίβο αλλά εμφανίζεται μόνο στις θέσεις όπου το ασβεστολιθικό πέτρωμα εμφανίζεται στην ακτή (Evelpidou, 2011).



Εικόνα 20 : Βυθισμένη εγκοπή στα λατομεία Αταλάντης που υποδεικνύει μια παλιότερη στάθμη θάλασσας περίπου 75 cm κάτω από τη σημερινή θαλάσσια στάθμη

Πηγή : N. Evelpidou, P. A. Pirazzoli, A. Vassilopoulos, and A. Tomasin, Holocene submerged shorelines on Theologos area (Greece), Zeitschrift für Geomorphologie, Vo55, 1, Stuttgart 2011, p. 39

### Περιοχή Βουγιουκλάκη

Μια άλλη εγκοπή έχει παρατηρηθεί στην περιοχή Βουγιουκλάκη. Έχει αναπτυχθεί μεταξύ 20-50cm κάτω από την μέση στάθμη θάλασσας και βάθος εσοχής που δεν ξεπερνά τα 20-30cm. Το ύψος της βυθισμένης εγκοπής είναι μικρότερο από το εύρος της υψηλής παλίρροιας και δεν υπάρχουν σημάδια άλλης εγκοπής που να αναπτύσσεται στην σημερινή στάθμη της θάλασσας. Το δάπεδο της εγκοπής, που βρίσκεται περίπου στο -50±10cm, συχνά επεκτείνεται σε ένα μικρό πάγκο περίπου στο ίδιο επίπεδο. Αυτό το ασυνήθιστο προφίλ εγκοπής δείχνει πιθανά μία βύθιση 50cm, προφανώς συν σεισμικής προέλευσης, που έλαβε χώρα σχετικά πρόσφατα (ίσως το 1894 μ.Χ.). Το παράξενο σχήμα της εγκοπής και ο μικρός πάγκος στο ίδιο επίπεδο του επίπεδου δαπέδου της εγκοπής μπορεί να σχετίζονται με μία ζώνη ισχυρής βιοδιάβρωσης στην περιοχή.

Παρόλα αυτά η ερμηνεία αυτής της εγκοπής παραμένει αβέβαιη, ειδικά γιατί, εάν ένα συν σεισμικό γεγονός έλαβε χώρα, είναι δύσκολο να καταλάβουμε γιατί είναι περιορισμένα τα στοιχεία της βύθισης σε αυτήν την σχετικά μικρή περιοχή, που δεν επεκτείνεται στην ευρύτερη περιοχή του Θεολόγου (Evelpidou, 2011).

Στην περιοχή έγιναν και κάποιες επιπλέον αξιόλογες παρατηρήσεις. Σε αρκετές θέσεις (στα λατομεία Αταλάντης, στο Λιμνιώνα και στην περιοχή μεταξύ Βίβου και Μικροβίβου) εντοπίστηκαν μεταφερμένα, μεγάλα τεμάχη πετρώματος, τα οποία περιείχαν θαλάσσια απολιθώματα (Lithophaga, Vermetids, Serpulids). Πιθανολογείται πως αυτά τα τεμάχη μεταφέρθηκαν από ένα κύμα τσουνάμι. Οι ανωτέρω οργανισμοί μπορούν να ζήσουν σε

αρκετά μέτρα βάθος, ένα γεγονός που αποδεικνύει ότι αυτά τα τεμάχη προέρχονται από ένα βάθος κάτω από την παλιρροιακή ζώνη (Εικόνα 21) (Evelpidou, 2011).



Εικόνα 21 : Αριστερά τεμάχη που βρέθηκαν μεταφερμένα σε διάφορες θέσεις της περιοχής του Θεολόγου και δεξιά απολιθώματα οργανισμών (Lithophaga - πάνω , Vermetus - κάτω) που βρέθηκαν πάνω σε αυτά τα τεμάχη

### 10.3.7.3 Χρονολόγηση βύθισης

Η γρήγορη βύθιση της εγκοπής στα λατομεία Αταλάντης έλαβε χώρα πιθανόν κατά την διάρκεια ενός σεισμού των ιστορικών χρόνων (426 π.Χ., 106 μ.Χ., 551 μ.Χ., 1894 μ.Χ.) και είναι πιθανό να προκάλεσε ένα τσουνάμι στην περιοχή. Το γεγονός ότι κανένα ίχνος εγκοπής δεν υπάρχει στη σημερινή στάθμη θάλασσας (Εικόνα 22) δείχνει ότι το γρήγορο γεγονός βύθισης ήταν ένα σχετικά πρόσφατο φαινόμενο (ίσως το 1894 μ.Χ.) (Evelpidou, 2011).



Εικόνα 22 : Η παράκτια περιοχή των λατομείων Αταλάντης, όπου φαίνεται ότι δεν έχει αναπτυχθεί εγκοπή στη θέση της σημερινής στάθμης θάλασσας.

Πηγή : N. Evelpidou, P. A. Pirazzoli, A. Vassilopoulos, and A. Tomasin, Holocene submerged shorelines on Theologos area (Greece), Zeitschrift für Geomorphologie, Vo55, 1, Stuttgart 2011, p. 40

Πηγή : N. Evelpidou, P. A. Pirazzoli, A. Vassilopoulos, and A. Tomasin, Holocene submerged shorelines on Theologos area (Greece), Zeitschrift für Geomorphologie, Vo55, 1, Stuttgart 2011, p. 38

#### 10.3.7.4 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα

Η σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή της Αταλάντης, φαίνεται να είναι παροξυσμική με σεισμικά γεγονότα να λαμβάνουν χώρα μετά από μεγάλες περιόδους ηρεμίας. Ισχυροί σεισμοί είναι γνωστό ότι έλαβαν χώρα το 426 π.Χ., το 106 μ.Χ., το 551 μ.Χ. και το 1894. Τουλάχιστον δυο από τους προαναφερμένους σεισμούς, σχετίστηκαν με μορφολογικές αλλαγές : για παράδειγμα τμήματα ξηράς κοντά στην ακτή υποχώρησαν και χερσόνησοι μετατράπηκαν σε νησιά (για παράδειγμα το νησί της Αταλάντης το 426 π.Χ. και το νησί Γαϊδουρονήσι το 1894).

Συνοψίζοντας είναι δυνατό να ειπωθεί ότι καλά διατηρημένες βυθισμένες θαλάσσιες εγκοπές απαντώνται κατά μήκος μιας απόστασης 22km στην περιοχή του Θεολόγου. Η ερμηνεία των παράκτιων δεδομένων και η μορφολογία των εγκοπών σχήματος U, δείχνουν ότι έλαβε χώρα γρήγορη βύθιση μεγαλύτερη από το εύρος παλίρροιας. Τοπική εμφάνιση καλά διατηρημένων παλιρροιακών εγκοπών στο βάθος -75±10cm κάτω από τη μέση στάθμη θάλασσας δείχνει την πιθανή συν σεισμική τους προέλευση, Όμως η μετατόπιση αυτή είναι δύσκολο να συσχετιστεί με συγκεκριμένο σεισμό.

#### 10.3.8 Χερσόνησος Κυλλήνης

Η χερσόνησος της Κυλλήνης βρίσκεται στη βορειοανατολική Πελοπόννησο. Σύμφωνα με την παράκτια γεωμορφολογική χαρτογράφηση των Η. Maroukian et al.(2000), στην περιοχή από το ακρωτήριο Κυλλήνης έως το ακρωτήριο Γλώσσα απαντώνται κρημνοί, θίνες, ακτόλιθοι, παλιρροιακές εγκοπές και παράκτιοι πάγκοι.

Συγκεκριμένα σύμφωνα με τους ίδιους στην περιοχή από το ακρωτήρι Κυλλήνη έως και το ακρωτήρι Μέλισσα διακρίνονται ανυψωμένες εγκοπές στο +0,4m, +0,7m και +1,3m και οι αντίστοιχοι πάγκοι τους, καθώς και ακτόλιθοι, ενώ σε μια θέση εντοπίστηκε πάγκος στο +2,0m. Ακολούθως από το ακρωτήρι Μέλισσα έως τον όρμο Αρκούδι διακρίνονται ανυψωμένες εγκοπές και πάγκοι στο +0,4m και +1,2 καθώς και ακτόλιθοι. Τέλος στο ακρωτήρι Γλώσσα εκτός από τους ανωτέρω αναφερόμενους πάγκους, ακτόλιθους και εγκοπές διακρίνονται ακόμη δυο πάγκοι στο +1,7m και +2,9m.

Από περιοχή αυτή λήφθηκε για χρονολόγηση από τους Η. Maroukian et al.(2000) ένα δείγμα κελύφους δίθυρου από το ύψος +0,5m το οποίο βρέθηκε σε ανυψωμένο ακτόλιθο και από αυτό λήφθηκε ημερομηνία ανύψωσης 2905±75yrBP.

Αν και δεν ήταν δυνατή η συσχέτιση αυτής της ανύψωσης με κάποιο ιστορικό σεισμικό γεγονός, συμπεραίνεται ότι οι εγκοπές στα +0,4m και +1,2m ανυψώθηκαν από δύο σεισμικά

γεγονότα, η πρώτη από ένα γεγονός ~2900yrBP και η δεύτερη από ένα άλλο παλαιότερο από αυτή την περίοδο. (Η. Maroukian et al., 2000).

# 10.3.9 Άλλες περιοχές μη χρονολογημένων βυθισμένων ακτογραμμών

Στην περιοχή του Βόρειου Κορινθιακού κόλπου έχουν εντοπιστεί βυθισμένες εγκοπές, μία στο βάθος -0,5m και μια ακόμα σε μεγαλύτερο μη καθορισμένο βάθος, οι οποίες έχουν αποδοθεί σε συν σεισμικές μετατοπίσεις (Pirazzoli, 2011) αλλά δεν έχουν χρονολογηθεί οπότε δεν έχουν συσχετιστεί με κάποιο σεισμό.

Ακολούθως στη Λακωνία και συγκεκριμένα στην περιοχή Σελίνιτσα, βόρεια από το Γύθειο έχουν εντοπιστεί βυθισμένες εγκοπές σε βάθη -0,5m με οπές Lithophaga, -1,0m και -2,0m και στο Βαλτάκι έχουν βρεθεί βυθισμένα αρχαιολογικά ερείπια τα οποία έχουν χρονολογηθεί μεταξύ 200μ.Χ και 630μ.Χ (Gaki et al., 2007).

Επίσης στην Κάρπαθο σε διάφορες θέσεις στο νησί έχουν εντοπιστεί δυο βυθισμένες εγκοπές στο βάθος -0,2m και -0,7m, ενώ σε άλλες θέσεις έχει εντοπιστεί βυθισμένος πάγκος στο βάθος -1,5m. Η βύθιση των χαρακτηριστικών αυτών είναι πιθανό να οφείλεται σε συνσεισμικές μετατοπίσεις (Pirazzoli, 2011) αλλά δεν ήταν δυνατή η χρονολόγησή τους.

Τέλος σύμφωνα με τον P. Pirazzoli (2011), στο Καστελόριζο έχουν βρεθεί βυθισμένα αρχαιολογικά ερείπια (δρόμος, τοίχοι κα) η βύθιση των οποίων δεν έχει χρονολογηθεί.

#### 10.4 Χαρτογραφική αποτύπωση περιοχών μελέτης ανυψωμένων ή βυθισμένων εγκοπών στον ελλαδικό χώρο

Μετά τη συλλογή και μελέτη της βιβλιογραφίας που αφορά τη μελέτη των μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης σε βραχώδεις ακτές του ελλαδικού χώρου έγινε η προσπάθεια χαρτογραφικής τους αποτύπωσης.

Έτσι στο χάρτη της Ελλάδας του παραρτήματος Β φαίνονται οι παράκτιες περιοχές όπου έχουν εντοπιστεί ανυψωμένες ή βυθισμένες εγκοπές σύμφωνα με τη βιβλιογραφία. Επειδή δεν ήταν δυνατή η εκτύπωση όλης της Ελλάδας σε κλίμακα που να φαίνονται οι λεπτομέρειες, στο παράρτημα παρατίθενται τμήματα του χάρτη για κάθε περιοχή, όλα εκτυπωμένα σε κλίμακα 1: 250000.

Όπως αναφέρεται και στη μεθοδολογία για την κατασκευή αυτού του γάρτη χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο η ακτογραμμή που έχει προκύψει από ψηφιοποίηση των γεωαναφερμένων φύλλων της ΓΥΣ κλίμακας 1:50000. Ακολούθως ο χάρτης επεξεργάστηκε με χρήση των λογισμικών MapInfo Professional 11.0 και Autocad 2006 και εισήχθησαν τα δεδομένα (Πίνακας 14) σε διάφορα επίπεδα ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίηση των διαφόρων δεδομένων χωριστά. Κάθε περιοχή που έχει μελετηθεί φαίνεται στο χάρτη με ένα διαφορετικό χρώμα ακτογραμμής, πράσινο για τις ανυψωμένες και γαλάζιο για της βυθισμένες. Φαίνονται επίσης οι θέσεις όπου έχουν εντοπιστεί αρχαιολογικά ευρήματα τα οποία θα μπορούσαν σε συνδυασμό με τους γεωμορφολογικούς και τους βιολογικούς δείκτες να προσφέρουν πληροφορίες. Ταυτόχρονα σε κάθε θέση αναγράφεται αν έχει βρεθεί γεωμορφολογικός δείκτης και ποιος είναι αυτός (για παράδειγμα εγκοπή, πάγκος κα) και αν έχουν βρεθεί βιολογικοί δείκτες, αν δηλαδή έχει χρονολογηθεί η ανύψωση ή η βύθιση. Επιπλέον στο χάρτη έχουν ενσωματωθεί φωτογραφίες ή τομές που είναι χαρακτηριστικές για την κάθε θέση, όπου αυτές ήταν εφικτό να βρεθούν. Τέλος τοποθετήθηκαν τα επίκεντρα των σεισμών που είναι πιθανό να προκάλεσαν τις μετατοπίσεις και σημειώθηκε για κάθε περιοχή η χρονολογία του σεισμού και το μέγεθός του.

Κάθε περιοχή μελέτης έχει ένα κωδικό που δόθηκε με βάση το όνομα της περιοχής και είναι Cr 1-19 για την Κρήτη, Ant1-5 για τα Αντικύθηρα, Rh 1-5 για τη Ρόδο, Za 1-3 για τη Zάκυνθο, Kef 1-7 για την Κεφαλονιά, Lef 1-5 για τη Λευκάδα, Ith για την Ιθάκη, SCor 1-4 για τον Νότιο Κορινθιακό, NCor1-5 για το βόρειο Κορινθιακό, Per 1-3 για την Περαχώρα, Ark1-2 για την Αρκίτσα, Sam1-7 για την Σάμο, Pl 1-2 για το Πήλιο, Atal 1-6 για την Αταλάντη, Ev1-8 για την Ανατολική Εύβοια, WEv1-4 για τη Δυτική Εύβοια, Kyl 1-10 για την Κυλλήνη, Lak1-2 για τη Λακωνία, Karp για την Κάρπαθο και Kast για το Καστελόριζο. Λόγω του ότι οι συντεταγμένες των διαφόρων θέσεων από τη βιβλιογραφία αλλά και τα επίκεντρα των σεισμών αναφέρονται σε άλλα γεωδαιτικά συστήματα αναφοράς (κυρίως στο

153

παγκόσμιο σύστημα WGS'84), πριν εισαχθούν στο χάρτη μετατράπηκαν σε συντεταγμένες ΕΓΣΑ '87, δηλαδή στο σύστημα του χάρτη.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στον Πίνακας 14 που ακολουθεί και προέκυψαν από το τμήμα της εργασίας αυτής που αφορούσε στη συλλογή και καταγραφή των περισσότερων ερευνητικών εργασιών που έχουν κατά καιρούς εκπονηθεί στον ελλαδικό χώρο και αφορούν βραχώδεις ακτές και ενδείξεις συν-σεισμικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης.

								βιολογικοί	δείκτες				
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο για παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
		Γεωργιούπολη	Crl	(iv)		εγκοπή	1,5±0,1	Dendropoma	2030±70				
		Άνιοι Θεόδωροι	Cr2	(iii)		execomi	3 1+0 1	Dendronoma	1850+70				
		Aplot Ocoolopot	612	(11)		CIKOMI	5,1±0,1	Dendronoma &	1050±70				
		Καμερέλου	Cr3	(iii)		εγκοπή	5,2±0,2	Neogoniolithon	1810±70				
				(ii)		εγκοπή	6,6±0,3		1780±90				
				(iii)		εγκοπή	6,4±0,3	Dendropoma, Neogoniolithon.	1875±100				
		Φαλάσαρνα	Cr4	(vi)		εγκοπή	5,9±0,3	Vermetid,	3400±100				
				(vii)		εγκοπη	4,8±0,5	other calcareous	3930±90				
				(viii)		εγκοπή	4,0±0,5	algae	4200±90				
		<b>H</b>	6.6	(2)			20.02	D. J.	1520 - 40				
		Περιστεριας	CD	(1)		εγκοπη	7,0±0,2	Dendropoma	1530±40				
				(i)		εγκοπή	7,8±0,3		1710+80	1		Σύντομες περίοδοι σταθερότητας της	
				(iii)		εγκοπή	7,5±0,2		1870±80			θάλασσας ~250 ετών,	
1	Δυτική Κρήτη	Μονή		(iv)		εγκοπή	7,3±0,3	Dendropoma, Neogoniolithon&	2225±70			δημιούργησαν τις εγκοπές.	
		Χρυσοσκαλίτισ σας	Cr6	(iv')		εγκοπή	7,1±0,2	other calcareous	2500±70			Όλες αυτές μαζί ανυψώθηκαν από το	
				(v)		εγκοπή	6,8±0,2	algae	3050±70			σεισμό του 365μ.Χ (8,3)	
				(vi)		εγκοπή	6,5±0,3		3330±80			(μεταξύ 355 και 450 μ.Χ)	
				(vii)		εγκοπή	6,3±0,2		3870±90				
		Πεύκοι	Cr7	(iii)		εγκοπή	7,0±0,3	Dendropoma	1850±70				
	Αγία Ρουμέλη	Cr8	(iii)		εγκοπή	4,2±0,1	Neogoniolithon &	1860±70					
		A		(iv')		εγκοπή	2,5±0,1	Vermetid	2400±70				
		Ακρωτηρι Πλάκα	Cr9	(iv)		εγκοπή	4,3±0,1	Dendropoma	1980±70				
		Κούρτα	Cr10	(iv)		εγκοπή	4,4±0,1	Dendropoma	2030±70				
		Ακρωτήρι	Cr11	(iv)		ενκοπή	3.8±0.1	Dendropoma	2080±70				
		Μούρος		(iv)		εγκοπή	3,1±0,1	Dendropoma &	2050±70				
		Ι ιμιος Σταυρος	Cr12	(iv')		εγκοπή	2,7±0,1	Neogoniolithon	2610±70				
		Όρμος Πλακιάς	Cr13	(iii)		εγκοπή	1,7±0,1	Dendropoma	1880±70				
		Κουφονήσι	Cr14	+2		ενκοπή							
		Rooponjor		12		d/konij							
		Στρόγγυλο	Cr15	+0,9		εγκοπές και πάγκοι	0,9	δεν αναφέρεται	2200±100			Φαίνεται να υπάρχει	
		Κουτσουνάρι	Cr16		-0,2							Κρήτης και Στρόγγυλου	
2	Ανατολική Κρήτη	Κάτω Ζάκρος	Cr17		-1,0							αφού η ανύψωση στο στρόννυλο ένινε 2200	
		Παλαιόκαστρο	Cr18		<-2						εμφανής βύθιση	χρόνια πριν από σήμερα	
											ρωμαικων ερειπίων	(σηλαση περιπου στο 50 μ.Χ)	
		Ακρωτήρι Σίδερος	Cr19		<0								
				(i)		εγκοπή	2,7±0,1		1530±40				
				(iii)		εγκοπή	2,5±0,1						
				(iiiA)		εγκοπή	2,3±0,1						
				(iv)		εγκοπή	2,15±0,1	Dendronoma &	1920±70				
		Καραμέλα	Ant1	(iv')		εγκοπή	1,95±0,1	Neogoniolithon					
				(ivA)		εγκοπή	1,75±0,1		2070 70				
				(v)		εγκοπη	1,45±0,1		2970±70				
				(vi) (vii)		εγκοπή	1,2±0,1						
				(i)		εγκοπή	2.7±0.1						
				(iji)		ενκοπή	2.5±0.1					Σύντομες περίοδοι	
				(iv')		εγκοπή	2,0±0,1					σταθερότητας της θάλασσας ~250 ετών.	
2	4			(iiiA)		εγκοπή	2,35±0,1			1		μεταξύ 4000-1530yrBP	
3	Αντικυθηρα	Ποταμός	Ant2	(iv)		εγκοπή	2,15±0,1	δεν αναφέρεται				οημιουργησαν τις εγκοπες. Όλες αυτές μαζί	
				(ivA)		εγκοπή	1,75±0,1					ανυψώθηκαν από το σεισμό του 365μ X (8.3)	
				(v)		εγκοπή	1,5±0,1					(μεταξύ 355 και 450 μ.Χ)	
				(vi)		εγκοπή	1,3±0,1			l			
				(vii)		εγκοπή	1,1±0,1		ļ				
				(i)		εγκοπή	2,2±0,1	Dendropoma &	(1490±70)	ļ			
		Καμινάκια	Ant3	(iii)		εγκοπή	2,0±0,1	Neogoniolithon	1880±70				
				(IV)		εγκοπή	1,7±0,1		2180±80			1	
		Σταυρουτό	Ant∆	(1)		εγκοπή	2,/±0,1 2 45+0 1	Dendropoma &	1870+70	1			
		2000000	21114	(iii)		εγκοπή	2,+5±0,1	Neogoniolithon	2340+80	1			
				(i)		εγκοπή	2,7±0.1	Dendronoma &	(1490±70)			1	
		Φάρος	Ant5	(iii)		εγκοπή	2,5±0,1	Neogoniolithon	1870±70	1			
L							· · · ·						

								βιολογικοί	δείκτες				
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο για παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
				+2,1		εγκοπή							
			Rh1	+1,7		εγκοπή	1						
				+1,0		εγκοπή	1						
				+1.0		ενκοπή							
			Rh2	+0.3		ενκοπή							
				+3.5		ενκοπή							
			Rh3	+2.5		εγκοπή							
				+2.1		εγκοπή							
				+3.5		εγκοπή							
				+2.5		εγκοπή	1						
				+2.1		εγκοπή							
			Rh4	+1.7		εγκοπή							
				+1.4		εγκοπή	1						
				+1.0		eykomi							
				+0.3		eykomi							
				+0,5		εγκοπή							
				+3,5		εγκολη							
		Μεταξύ της Πόλης Ρόδου	Rh5	+2,5		εγκοπή	2,4	βιόλιθος από κοραλλιογενή φύκη, serpulidae και τρηματοφόρα	6303±341				
		και της Καλλιθέας		+3.5 ń +2.5		ενκοπές	3.2	υπολ. Θαλ.οργ.	5535±245				
		Rubuous	Rh6	+3,5 ή 2,5		εγκοπές	3,0	αποθέσεων υπολ. Θαλ.οργ. αποθέσεων	4435±365				
				+3,5 ή 2,5		εγκοπές	2,35	υπολ. Θαλ.οργ.	2280±110				
				+3.5		ενκοπή		αποθεσεων					
				+2,5		εγκοπή							
			Rh7	+2,1		εγκοπή	2,1	υπολ. Θαλ.οργ.					
			iui,	+1.0		EVICOTÚ		0100202097					
				+0.3		εγκοπή							
				+1.0		εγκοπή						Το 222 π.Χ., ένας σεισμό γνωστός από ιστορικές	
			Rh8	+1.4		Grioni	1.1+0.3	Chthamalus	855+70			10 222 π.Χ., ενας σειόμος γνωστός από ιστορικές	
		ŀ	Rh9	+1.7 ń 1.4			1,5+0.2	Chthamalus	390+70			πηγές εκτόπισε την	
4	Ρόδος			+3.5		ενκοπή	- ,					Α1 στο Α8) με μια μόνο	Στον κατάλογο αναφέρεται
			Rh10	+1.0		εγκοπή						κίνηση ανύψωσης. Είναι	10 227R.X (7,5)
				+0.3		εγκοπή						κατέστρεψε τον Κολοσσό	
			Rh11	+1.00		εγκοπή						στο λιμάνι της Ρόδου.	
			Rh12	+0.30		εγκοπή							
			A								ελαφρώς		
			Διάφορες θέσεις		-0,4			Neogoniolithon			βυθισμένα λατομεία		
			Rb13	+1.00		θαλάσσιες	0,7	notarisii	895±70				
		a. 1. /	KIII5	11,00		αποθέσεις	0,55	υπολ. Θαλ.οργ.	Greek-Roman				
		Φαληρακι	Pb14	+1.00		θαλάσσιες		0100202000					
			Rh15	+1,00		αποθέσεις ενκοπή							
			Rh16	+3,7		εγκοπή							
				+3.7		sucomi							
				+2.8		eykomi							
				+2.4		eykozni							
			Rh17	+1.0		eykomi							
				+1.6		eykomi							
				+0.2		eykomi							
				10,2		erroni	1.55	υπολ. Θαλ.οργ.					
				+1,6			1,55	αποθέσεων					
		Ακρωτήρι Λαδικό	Rh18	+1,6			1,15	lichenoides υπολ. Θαλ.οργ.	3045±80				
				1,0			0,7	αποθέσεων					
			Rh19	+3,7		εγκοπή		uno) (And)					
				.27		paramé	3,45	αποθέσεων					
				+3,1		ercoul	3,3	Lithophyllum cf.	4895±100				
				+2,8 ή 2,4			2,6	φύκη	3635±135				
			Rh20	$+1,9 \ {\dot \eta} \ 1,6$			1,9	Neogoniolithon notarisii	5000±530				
				+2,4			2,4	υπολ. Θαλ.οργ.					
				+1,9 ή 1,6			1,85	υποθεσεων υπολ. Θαλ.οργ. αποθέσεων					

								βιολογικοί	δείκτες				
						5/2		Απολιθωμένος					Συσγέτιση με σεισμούς
			Δοίθυηση	Υπολογισμένη	Υπολογισμενη Παλαιοστάθμη	Ειδος	Ύψος (m)	θαλάσσιος		Husso) our	Δοχαιολογικά	Συσγέτιση με σεισμούς	από καταλόγους (μόνο για
A/A	Περιοχή	Θέση	στο χάρτη	Παλαιοστάθμη	Βυθισμένη	δείκτη εάν	ληψης δείγματος	οργανισμός που	Χρονολόγησ	πμερολογια κά έτη	Ευρήματα	από τη βιβλιογραφία	παλαιοακτογραμμές που
				Ανυψωμενη (m)	(m)	υπάρχει	από τη	ελήφθη για χοονολόνηση εάν	η (yr BP)	(AD/BC)			δεν συσχετιστηκαν βιβλιογραφικά)
							ΜΣΘ	υπάρχει					11
								Nacanialithan					
							2,8	notarisii	4270±100				
				+2.9		ενκοπή	2.8	Neogoniolithon	4340+100	1			
				,.			2,0	notarisii	15102100				
			Rh21				2,85	αποθέσεων					
				+2,2		εγκοπή							
				+1,8		εγκοπή							
		Βάγιες και Τσαμπίκα		+2,2 ή 1,8 +1 1		ενκοπή	2,05	φύκη	5980±380				
		Touphtitu		+0,7		εγκοπή	0,7	amphiroa	2580±70	1			
				+2,9		εγκοπή							
			Rb22	+2,2		εγκοπή							
			10122	+1,1		εγκοπή							
				+0,7		εγκοπή							
			Rh23	+2,9		εγκοπή							
				+1,8		εγκοπή							
			Rh24	+1,2		εγκοπή	1						
				+0,8		εγκοπή							
				+1,8		εγκοπή							
			Rh25	+1,2		εγκοπή	<u> </u>			]			
				+2,4 ή 1.8			2,2	υπολ. Θαλ.οργ.					
				+3.2		ενκοπή		αποθέσεων					
			Rh26	+2,4		εγκοπή	1			L			
				+3,2		εγκοπή							
				+2,4		εγκοπή	4						
			Rh27	+1,8		εγκοπή εγκοπή							
				+0,8		εγκοπή							
				+0,5		εγκοπή							
		Τσαυπίκα					3,1	υπολ. Θαλ.οργ.	3500±100 / 2700+100				
		Τοαμπικά		+3,2				υπολ. Θαλ. οργ.	3700±100				
			Pb28				3,2	αποθέσεων					
			Kii20	+1,8			2,1	φύκη	5020±530				
							1,8	φυκη	5020±700				
				+2,4			2,6	αποθέσεων					
			Rh29	+3,2		εγκοπή							
				+3,2			3,35	υπολ. Θαλ.οργ.					
								υπολ. Θαλ.οργ.					
				+2,4			2,5	αποθέσεων				Το 222 π.Χ., ένας σεισμός	
			Rh30	+1,8			1,95	υπολ. Θαλ.οργ.				γνωστος απο ιστορικες πυνές εκτόπισε τυν	
								αποθεσεων				ακτογραμμή (π.χ από το	Στου κατάλουο αναφέρεται
4	Ρόδος			+0,8			0,9	αποθέσεων				Α1 στο Α8) με μια μόνο	το 227π.Χ (7,5)
				+0.5			0.5	υπολ. Θαλ.οργ.	1205+100			κινηση ανυψωσης. Ειναι αυτός ο σεισμός που	
							-,-	αποθέσεων				κατέστρεψε τον Κολοσσό	
				1,5		εγκοπή						στο λιμάνι της Ρόδου.	
			Rh31	0.7		εγκοπή							
				0,3		εγκοπή							
				+1,8		εγκοπή							
			Rh32	+1,5		εγκοπή							
				+0,7		εγκοπή ενκοπή	1						
				+1,8		εγκοπή	j	1				1	
			Rh33	+0,3		εγκοπή				1			
				+1,10			1,0	υπολ. Θαλ.οργ.	3255±100				
			pi a :	+0,7		εγκοπή		0030300100				1	
			Kh34	+0,3		εγκοπή							
				+1,8		εγκοπή	]						
			Rh35	+1,5		εγκοπή	4						
				+1,1		εγκοπή ενκοπή	1						
				+1.5		ενκοπή	1			1		1	
			Rh36	+1.1		εγκοπή	1						
		Από το		+0,3		εγκοπή	1						
		ακρωτήρι Αργάγγελου έως		+1,8		εγκοπή							
		το Χαράκι	Rh37	+1,5		εγκοπή							
				+0,7		εγκοπή							
				+0,3		εγκοπή							
				±1,0		GYNORI	1						
			Rh38	+1,5		εγκοπη							
				+1,1 +0,7		εγκοπή εγκοπή	1						
				+0,3		εγκοπή	1						
				+1,8		εγκοπή							
				+1,5		εγκοπή εγκοπή	4						
				+1,0		πάγκος	<u> </u>			l			
			D1.00					Neogoniolithon	4000				
			Rh39	+1.8 ń 1.5			1,3	notarisii & panillosum	4900±100				
				,. I 1,			12	Neogoniolithon	2620.70	1			
							1,2	notarisii	2030±/0	1			
				+0,3		εγκοπή	0,3	Neogoniolithon	1840±60				
				+1,8		εγκοπή	<u> </u>			İ		1	
			Rh40	+1,5		εγκοπή	]						
				+1,10		εγκοπή	1	I		I		I	

								βιολογικοί	δείκτες				
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο για παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
				+2,0		εγκοπή							
			Rh41	+1,5 ή 1,0			1,3	υπολ. Θαλ.οργ.	5010±100				
				+2,3		εγκοπή		010020207					
			Rh42	+2,0		εγκοπή	1,9	υπολ. Θαλ.οργ.	5115±215				
				+1,5		εγκοπή		010020207					
			Rh43	+1,0		εγκοπή εγκοπή							
				+0,3		εγκοπή							
			Rh44	+2,0		εγκοπή		υπολ Θαλοον					
				+2,0 ή 1,5			1,7	αποθέσεων	3875±205				
				+2,0		εγκοπή							
			Pb45	+1,5		εγκοπή							
			Rii45	+1,0		εγκοπή							
				+0,7		εγκοπή							
				+2,3		εγκοπή							
				+2,0		εγκοπή							
				+1,5		εγκοπή							
			Rh46	+1.0		ενκοπή							
		Λινοος		+0.7		εγκοπή							
				+0.3		encomí							
				10,5		encomí							
				+2,5		<i>сукол</i> ц ,							
				+2,0		εγκοπη							
			Rh47	+1,5		εγκοπή						T- 222 - X - 600	
				+1,0		εγκοπή						γνωστός από ιστορικές	
				+0,7		εγκοπή						πηγές εκτόπισε την ακτονραμμή (π.γ από το	
4	Ρόδος			+0,3		εγκοπή						Α1 στο Α8) με μια μόνο	Στον κατάλογο αναφέρεται το 227π.Χ (7,5)
			Rh48	+2,0		εγκοπή						αυτός ο σεισμός που	
			-	+1,5		εγκοπή						κατέστρεψε τον Κολοσσό στο λιμάνι της Ρόδου	
			Rh49	+2,0		εγκοπή							
				+1,5		εγκοπή							
				+1,5		εγκοπή							
			Rh50	+1,5 ή 1,0			1,2	υπολ. Θαλ.οργ.	2620±70				
			Kn50	+1.0			1.0	υπολ. Θαλ.οργ.					
				+1,0		ενκοπή	0.8	αποθέσεων φύκη	4030+230				
			Rh51	+0,6		εγκοπή σε μεμονωμένους βράχους							
				+0,4		εγκοπη σε μεμονωμένους βράχους							
			Rh52	+0,8		εγκοπή							
		Μεταξύ Λάρδου και Γενναδίου	Rh53	+0,8		εγκοπή		Naoganialithan					
			Rh54	+0,8 ή 0,6		beachrock slab	0,7	notarisii	1330±60				
				+0,6			0,55	υπολ. Θαλ.οργ. αποθέσεων					
				+0,8		εγκοπή							
			Rh55				0,45	υπολ. Θαλ.οργ.					
				+0,6			0,45	Neogoniolithon	3635±465				
		Νότια ακτή του ακρωτηρίου Λαχανιά	Rh56				0,3	notal ISA	1850±70				
						ανυψωμένη πισίνα	$1,05 \pm 0.1$	Vermetus trioneter	2290 ± 70	210BC-			
		Δάφνη (Ράχη)	Za1	+1,10±10		και άλλα ίχνη παλιρροιακής διάβρωσης	1,05 ± 0,1	Calcareous algae	2190 ± 60	AD130 80BC-AD240			Θα μπορούσαμε να θεωρήσουμε δυο ανυνώσεις. Η ±0.8 θα
-	7/00-0						0.8 ± 0.1	Dendropoma	2560 + 60	520-200BC		Μια ανύψωση 0,95±0,15m	μπορούσε να έχει βυθιστεί
5	Ζακυνθος	Ακρωτήρι Λαβία	Za2	$^{+0,8\pm0,1}$			0,8±0,1	Vermetus triqueter	1960 ± 60	200-500AD		το 200-500cal μ.Χ.	0,15m μπορούσε να έχει βυθιστεί αρχικά από το σεισμό του 399π.Χ στην Ηλεία και ο σεισμός κοντά στην Πάτοα
		Αγία Αικατερίνη	Za3		-0,3						λατομείο και αρχαίοι τοίχοι		το 551μΧ να ανύψωσε και τις δύο

							βιολογικοί δείκτες						
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο για παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
				$+0,6\pm0,05$		εγκοπές και πάγκοι	0,55	Vermetus triqueter	$785\pm60$	AD1953 earthquake			
		Λιμάνι Πόρος	Kef1			εγκοπές και	1,3	Marine crust	$4290\pm90$	2360-1750BC			
				$+1,2 \pm 0,1$		πάγκοι	1,1	Marine crust	$4870\pm80$	3060-2570BC			
				$+0,6\pm0,05$			0,5	Dendropoma	$450\pm60$	AD1953 earthquake		1	
		Όρμος νότια του πόρου	Kef2				1,1	Vermetus triqueter	$1820\pm70$	AD 350-710			
		-		$+1,2 \pm 0,1$			1,05	Vermetids	$2360\pm70$	340BC- AD140		Δυο κάθετες μετατοπίσεις	Η ανύινωση που αντιστοιγε
				$+0,3\pm0,05$			0,3	Dendropoma	$695\pm60$	AD1953 earthquake		+0,6m η καθεμία επηρέασαν το μεγαλύτερο	στην ακτογραμμή + 1,2m θα μπορούσε να έγει
6	Κεφαλονιά	3km βόρεια της Σκάλας	Kef3	$+0,6 \pm 0,05$			0,5	Lithophaga	$2410\pm70$	60BC-AD390		τμήμα της Κεφαλονιάς η μια μεταξύ 350 -710cal	δημιουργηθεί από το σεισμό κοντά στην Πάτρα
				$+0,6\pm0,05$			0,6	Lithophaga	$3090\pm70$	880-400BC		μ.Χ και η αλλη απο το σεισμό του 1953 μ.Χ	το 551μ.Χ
		Καραβόμυλος	Kef4	$+0,5\pm0,05$			0,5	Vermetids	$675\pm70$	AD1953 earthquake			
		Αυσικά σου		+0,35-0,45		εγκοπή				AD1052			
		Μύρτου	Kef5	$+0,7 \pm 0,05$			+0,7	Vermetids	$600 \pm 80$	earthquake			
		Καταβόθρες	Kef6	$+0,3\pm0,05$			+0,15	Vermetids	$760\pm60$	AD1953 earthquake			
		Ανατολικά της Σάμης	Kef7		-0,5	βυθισμένη εγκοπή							
							$1,2\pm0,1$	Vermetus triqueter	$3490\pm70$	1680-1360BC			
		Παραλία					$1,\!25\pm0,\!1$	Vermetids	$2750\pm60$	790-400BC			
		Πέλεκας	Ker1	$+1,6 \pm 0,1$			$1,\!25\pm0,\!15$	Lithophaga	$4540\pm60$	3030-2750BC			
							$1,\!25\pm0,\!15$	Lithophaga	$3540\pm70$	1740-1400BC			
		Ανατολική ακτή της πόλης της Κέρκυρας	Ker2	+1			1,0	άδειες οπές Lithophaga					
		Μεταξύ αεροδρομίου και Μπούκαρι	Ker3-Ker4	+0,15±0,05			0,15±0,05	Dendropoma και Vermetus triqueter				Δύο κινήσεις ανύψωσης	Η πιο πρόσφατη ανύψωση
7	Várman	Άγιος Γεώργιος	Ker5	+2		πάγκος τριβής						των 0,8m η καθεμια. Η ανώτερη έλαβε χώρα το 700,400-ε1 = Χ. υπ. π. έλλα	(+0,8-1,0m) στην Κερκυρα θα μπορούσε να έχει
	Каркори						$1,\!25\pm0,\!1$	Lithophaga	$3480\pm60$	1650-1370BC		σεν έχει προσδιοριστεί	του 358μ.Χ με επίκεντρο στο βορειότερο από την
		Παραλία Άγιος				διάφορα ανυψωμένα	$1,\!25\pm0,\!1$	Lithophaga	$3760\pm70$	2030-1650BC		είναι πιο πρόσφατη	Κέρκυρα θαλάσσιο χώρο
		Γόρδιος	Ker6	$+1,6 \pm 0,1$		χαρακτηριστικά διάβρωσης	$1,5\pm0,1$	Lithophaga	$3650\pm70$	1890-1510BC			
							$0,8\pm0,1$	Vermetus triqueter	$3760\pm70$	2030-1650BC			
		Πλιτήρι	Ker7	+1,6		υπολείμματα διαβρωμένου πάγκου και εγκοπή							
				+0,8		μικρός πάγκος							
		Έρμονες	Ker8			διάφορα ανυψωμένα χαρακτηριστικά διάβρωσης							
		Ακρωτήρι	Laft	1			~+1	Beachrock shell	$5330\pm80$	4000-3650BC			
		Γκουράπετρα	Len	~+1			~+0,5	Beachrock shell	$4210\pm70$	2640-2270BC			Η βύθιση των 2,5μ θα
		Άγιος Ιωάννης	Lef2			εγκοπή						Η βύθιση 2,5m έγινε	μπορούσε να έχει προκληθεί από το σεισμό του 348π Χ στους Αελφούς
8	Λευκάδα	Νότια είσοδος λιμνοθάλασσας	Lef3		-2,8 ±0,3 έως -1,8±0,3	πλάκες ακτόλιθων					βυθισμένος αρχαίος μόλος	πριν ενώ οι άλλες κινήσεις βύθισης μεταξύ 500- 700μΧ	(6,7) ενώ η άλλη θα μπορούσε να έχει προκληθεί από το σεισμό του 551μ.Χ κοντά στην
		Πάλερος	Lef4		-2,5				2400	350-300BC	ναι		Πάτρα
	Μύτι	Μύτικας	Lef5		-2,5					500-700AC	ναι		
9	Ιθάκη	(διάφορες θέσεις στο νησί)	Ith			γεωμορφολογικά σημάδια βύθισης						Από το σεισμό του 1953	

								βιολογικοί	δείκτες				
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο γιο παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
				+1,8		σπάσιμο στην	1,0	Dendropoma	1420±60	770-1040AD			
				+3,5-3,7		κλίση εγκοπή		petraeum					
		Απομονωμένο ακρωτήρι		+3,0		πάγκοι κάτω από θαλάσσιες αποθέσεις	3,0	Cladocora caespitosa	6400±200				
		ασβεστολίθου νότια της Αιγείρας	SCor1	+5,2		πάγκοι κάτω από θαλάσσιες αποθέσεις	6,0	Lithophaga	2965±50	400-740BC			
				16.9		πάγκοι κάτω από	6,5	Lithophaga	4880±270	3500-4490BC			
				10,0		αποθέσεις	7,5	Lithophaga	8040±85	6780-7330BC		Η ανύψωση των +3,7m	Ενδιάμεση ανύψωση των
				+1,8-2,0		εγκοπη	2,3	Litnopnaga	2785±50	20AD-370BC	-	συσχετιζεται με το σεισμο του 373 π.Χ.(7,0) ο οποίος	2,3m δεν ήταν δυνατό να
	Νότιος	Παραλία Πλατάνου	SCor2	+3,5-3,7		εγκοπή	3,7	Lithophaga Lithophaga	2420±130 8730±340	230AD- 1060BC 7850- 10250BC		κατέστρεψε την αρχαία Ελίκη. Η ανύψωση +1,8m δεν έχει συσχετιστεί αλλά	σεισμό ενώ εκείνη των +1,8μ συσχετίζεται με το
10	Κορινθιακός κόλπος	matuvoo		+5,5		εγκοπή				10250BC		προκλήθηκε από σεισμό μεταζύ 700-900μΧ	996µ.X (6,8)
	κολιος			+7,5		εγκοπή	6,2 6,5	Lithophaga Lithophaga	3285±65 8050±60	730-1170BC 7450-8050BC		tt.	
				+0,5		λίγο καλά καθορισμένη εγκοπή							
		Ανατολικά από		+1,7		εγκοπή λίνο καλά	1,5	Lithophaga	1210±100	440-870AD			
		το Διακοφτό	SCor3	+2,3		καθορισμένη εγκοπή							
				+3,7		καθορισμένη εγκοπή	3,5	Lithophaga	2190±60	250AD- 350BC			
		Μαύρα λιθάρια	SCor4	+1			1	Dendropoma petraeum	$1420\pm60$	770-1040 μ.X	Ανυψωση δυο αρχαίων λιμανιών Αγείρας και Λέχαιου	Δεν έχει συσχετιστεί με σεισμό αλλά η ανύψωση έγινε 10ο - 12ο αιώνα	Ίσως η ανύψωση προκλήθηκε από το σεισμό του 996μ.Χ (6,8) στο Γαλαξίδι
11	Βόρειος Κορινθιακός κόλπος	Μεταξύ Γαλαξιδίου και όρμου Βαθύ	Ncor 1-5		-0,5 και μια μη καθορισμένου βάθους	βυθισμένες εγκοπές							
				3,2±0,2		εγκοπή	3,1	Lithophaga	5820±60	4440-4320BC			
		н (		2,6±0,2		εγκοπή	2,2	Lithophaga	4120±60	2440-2260BC			
		Ηραιον	Peri	1 7+0 2		ενκοπή	1 4+0 1	Chthamalus	1990+100	190-440AD		Η ανώτερη ανύψωση ένως	
	Χερσόνησος			1,1±0,2		εγκοπή						4440yr π.Χ στο Ηραίο και	
		Σκάλωμα	Per2	+1,0, +2,0, +3,0		εγκοπές και						μετα το 31/0yr π.Χ στο Μυλοκόπι (2 γεγονότα).	Η ανύψωση του 1m συμπίπτει χρονικά με τους
12	Περαχώρας	Σκαλωμα		+3,5		εγκοπή	3,0	Lithophaga	4705±50	3170-3010BC		2το Ηραίο εγίνε αλλη μία αργότερα το 2440π.Χ. Τέλος η ανύψωση 1m και	σεισμούς του 543μΧ ή με αυτόν του 524μΧ
				+2,8	εγκοπή					1	στις δύο περιοχές μεταξύ 4ου και 6ου αιώνα μ.Χ.		
		Μυλοκόπι	Per3	+1,7		εγκοπή	0,8	Vermetus triqueter	1865±55	400-540AD			
		Μυλοκόπι		1,1±0,3			1,1±0,3	Chthamalus	620±130	1450- 1830AD			
		Διβανάτες		+1,4		στρώμα αλατος τρυπημένο από οργανισμούς	1,3	Lithophaga	2310±110	360BC- 210AD			
	Ευβοικός	Αρκίτσα	Ark1	+0.5		εγκοπή	0.3	Lithophaga Lithophaga	2690±60 3160±120	750-370BC 1410-800BC	4	Η ανύψωση στο +0,4 έγινε	Η ανύψωση στο +1,4m
13	Κόλπος Αιβαιτάτος			+0,5?			0,4	Lithophaga	3220±70	1380-965BC	1	μεταζυ 1380 και 965 π.Χ. ενώ εκείνη στο +1,4m	μπορεί να προκλήθηκε από
	Αρκίτσα	Λόφος Πύργου	Ark2				16	marine shell (Cerithium, Arca, Murex, Patella)	3330±80	1520-1130BC	μετατοπισμένοι τοίχοι και υλικό από τσουνάμι	έλαβε χώρα μεταζύ 360 π.Χ και 210 μ.Χ	στους Δελφούς
		Δυτική άκρη του λιμανιού Καρλόβασι	Sam1	+2		όχι καλά διατηρημένα σημάδια εγκοπών							
		Λευκό παρεκκλήσι		+0,6				αποικίες Dendropoma petraeum και Vermetus triqueter					
		(Αγίου Νικολάου)	Sam2	+1,1				αποικίες Dendropoma petraeum και Vermetus triqueter				Η ανύψωση στο +0,5μ προκλήθηκε από το σεισμό του 1476μ.Χ (ννωστό από	
		Ποτάνι		+2,3±0,2		εγκοπή	0.5.5.5	D :	1405.15	700 077 · ·		ιστορικά στοιχεία). Από το	Η εγκοπή στο +1,1 θα μπορούσε να έχει
14	Σάμος	(Πούντα)	Sam3	+0,7±0,2		πάγκος πάγκος	0,7±0,2	Dendropoma	1485±45 2970+45	720-972AD 973-773BC	1	οιαγραμμα που κατασκευάστηκε, φαίνεται	δημιοιυργηθεί από ανύψωση από κάποιο
		Μικρό Σεϊτάν	Sam4	+2.4+0.2		ενκοπή και πάνινο	1,110,2	Donaropona	2770142	<i>,,,,,,,,</i> ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,		ότι η ανύψωση στο +2,3m μπορεί να συσχετιστεί με	σεισμό της περιόδου 350- 550 μ Υ
			-241117	+2,4		εγκοπή						το σεισμό του 200π.Χ αλλά και με αυτόν του	550µ.А
				+1,10-1,30		εγκοπή				1204	1	47μ.X	
		Άγιος Ισίδωρος	Sam5-Sam6	+0,50-0,70		εγκοπή	0,5±0,1	Serpulorbis	895±50	1506- 1467AD			
		1.00 - 2000 005	June Sunto	+0,6		πάγκος	0,6±0,1	Dendropoma	1170±50	1040- 1284AD			
				+2,0		εγκοπή	2,0±0,3	Murex	3760±50	1867-1601BC			
		Ακρωτήρι Κατάβασι Sam7	+1,5		ασαφή ίχνη						-		

								βιολογικοί	δείκτες				
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο για παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
15	0	Νταμούχαρη	Pl1	+0,5		εγκοπή	0,5	Lithophaga		270-450 AD		Ανύψωση πιθανόν από	Θα μπορούσε να είναι ο
15	Ocoaria	Μυλοπόταμος	P12	+0,5		εγκοπή						την περίοδο 350-550μ.Χ	σεισμός το 551μΧ
		Όμος Μικροβίβος έως Φουφάκι	Atal1		-0,75±10	βυθισμένη εγκοπή							
		Μεταξύ Βίβου και Μικροβίβου	Atal2			μεταφερμένα τεμάχη		Lithophaga, Vermetids, serpulids					
16	Θεολόγος Λοκρίδας	Η πόλη των Αλών	Atal3								η ακρόπολη ήταν σε λόφο και τώρα οι πέτρες θεμελίωσης φαίνονται βυθισμένες		
		Λιμνιώνας	Atal4			μεταφερμένα τεμάχη		Lithophaga, Vermetids, serpulids					
		Λατομεία Αταλάντης	Atal5		-0,75±10	εγκοπή μεταφερμένα τεμάχη		Lithophaga, Vermetids, serpulids					
		Περιοχή Βουμπουκ) άκτη	Atal6		-0,20-0,30	εγκοπή							
		Ελλημικά	Ev1	+0,20±10		εγκοπή							
		Δυκάλη	LVI	+0,40±0,10		εγκοπή							
		Αγκάλη	Ev2	+0,60±0,10		εγκοπή							
		Βόρεια από το Πήλι	Ev3	+0,70±0,10		εγκοπή	0,7	Lithophaga	$2570\pm110$	510-240BC			
		Μύλοι	Ev4	+0,70±0,10		εγκοπή							
17	Βορειοανατολ ική Εύβοια	Χιλιαδού	Ev5	+0,70±0,10		εγκοπή	0,4	Lithophaga	$2700\pm110$	750-380BC			
		Χιλή	Ev6	+0.70±0.10		ενκοπή	0,9	Lithophaga	$3020{\pm}110$	1050-800BC			
		•					0,6	Lithophaga	$2470{\pm}110$	380-110BC			
		Kúun	Ev7	+0,70±0,20		εγκοπή							
				+1,00±0,20		εγκοπή						200-σεισμικές κινησεις που σημειώθηκαν κατά τις	
		Ακρωτήρι μετά την παραλία Πούντα	Ev8	+0,40±0,20		εγκοπή						περιοσους 1050-900 και 510-380 π.Χ. ενώ η βυθισμένη εγκοπή στην ακτή Ευβοϊκού κόλπου	
		Περιοχή μεταξύ Ερέτριας Πολιτκών και βόρειο ανατολικά	Διάφορες θέσεις								βυθισμένα αρχαιολογικά ερείπια	παραμενεί χωρις χρονολόγηση.	
			WEv1		δεν αναφέρεται	βυθισμένη εγκοπή							
18	Δυτική Γάθ		WEv2	+1,10±0,20		εγκοπή	0,7	Lithophaga	$3130\pm120$	1250-900BC			
	Ευροια			0			0,1	Lithophaga	Modern				
		11εριοχή βόρεια από τη Δάφνη	WEv3	+0,80±0,20		εγκοπή	0,75	Lithophaga	2390 ± 110	340-20BC			
				+1,15±0,20		εγκοπή							
			WITE	$\pm 0.8 \pm 0.2$			0,5	Lithophaga					
				+1,10±0,30		εγκοπή			$2650\pm110$	710-360BC			

								βιολογικοί	δείκτες				
A/A	Περιοχή	Θέση	Αρίθμηση στο χάρτη	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Ανυψωμένη (m)	Υπολογισμένη Παλαιοστάθμη Βυθισμένη (m)	Είδος μορφολογικού δείκτη εάν υπάρχει	Ύψος (m) λήψης δείγματος από τη ΜΣΘ	Απολιθωμένος θαλάσσιος οργανισμός που ελήφθη για χρονολόγηση εάν υπάρχει	Χρονολόγησ η (yr BP)	Ημερολογια κά έτη (AD/BC)	Αρχαιολογικά Ευρήματα	Συσχέτιση με σεισμούς από τη βιβλιογραφία	Συσχέτιση με σεισμούς από καταλόγους (μόνο για παλαιοακτογραμμές που δεν συσχετίστηκαν βιβλιογραφικά)
		Βόρεια από το Τρυπητό	Kyl1	+0,4		εγκοπή							
		Ακρωτήρι	K-12	+0,4		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος							
		Τρυπητό	Kyiz	+1,3		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος							
				+0,4		εγκοπή και ακτόλιθος							
		Μεταξύ	Kyl3	+1,4		εγκοπή και ακτόλιθος							
		ακρωτηρίου Τρυπητό και		+2,0		πάγκος και ακτόλιθος							
		Μέλισσα	Kyl4	+0,4		εγκοπή και ακτόλιθος							
			Kyl5	+0,3		εγκοπή και ακτόλιθος						Οι δυο εγκοπές +0,4m και	
		Ακρωτήρι	Kvl6	+0,3		εγκοπή και ακτόλιθος						η +1,2m στη θέση του ακρωτηρίου Γλώσσα και η	
19	Κυλλήνη	Μέλισσα		+0,7		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος						χρονολόγηση της κατώτερης ~2905yr BP,	
		Μεταξύ ακρωτηρίου Μέλισσα και όρμαν Αρχούδι	Kyl7	+0,4		εγκοπή και πάγκος						φανερωνουν δυο σεισμικα γεγονότα ένα της νοονολογίας που λήφθηκε	
		ορμου Αρκούδι		+1,2		εγκοπή						από τη ραδιοχρονολόγηση	
		Όμος Αρκούδι	Kyl8	+0,4		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος						και ενα πριν απο αυτην.	
		ομος πρισσοι	ityio	+1,2		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος							
		Μεταξύ όρμου Αρκούδι και	Kv19	+0,4		εγκοπή και ακτόλιθος							
		Αρκούδι και ακρωτηρίου Γλώσσα	Kyl9	+1,2		εγκοπή και ακτόλιθος							
				+0,4		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος	+0,4	Δίθυρο στον ακτόλιθο	2905±75				
		Ακρωτήρι	Kyl10	+1,2		εγκοπή, πάγκος και ακτόλιθος							
		Γλώσσα		+1,7		πάγκος και ακτόλιθος							
				+2,9		πάγκος και ακτόλιθος							
					-0,5	εγκοπή		οπές Lithophaga					
		Σελινίτσα	Lak1		-1,0	εγκοπή						Τα αρχαιολογικά ερείπια	
20	Λακωνία				-2,0	εγκοπή					Bulliou ára	έχουν χρονολογηθεί το 200μ.Χ-630μ.Χ	
		Βαλτάκι	Lak2								αρχαιολογικά ερείπια		
					-0,2	εγκοπή							
21	Κάρπαθος	Διάφορες θέσεις	Karp		-0,7	εγκοπή							
					-1,5	πάγκος							
22	Μεγίστη	Διάφορες θέσεις	Kast								βυθισμένα αρχαιολογικά ερείπια (δρόμος, τοίχοι κα)		

Πίνακας 14 : Συγκεντρωτικός κατάλογος των περιοχών όπου έχουν εντοπιστεί ενδείξεις συν-σεισμικών μεταβολών της θαλάσσιας στάθμης στον Ελλαδικό χώρο.

# 11. Η περίπτωση της Χιλής στα ανατολικά της κεντρικής Εύβοιας

# 11.1 Η περιοχή και η γεωλογία της

Ο οικισμός Χιλή βρίσκεται στις ανατολικές ακτές της κεντρικής Εύβοιας σε απόσταση 4km βορειοανατολικά της Κύμης (Χάρτης 15).



**Χάρτης 15: Γεωγραφική θέση του οικισμού Χιλή στην Εύβοια** Πηγή : Εύρεση στην ιστοσελίδα : <u>http://www.servitoros.gr/map-evia/index.php</u> στις 24 Ιανουαρίου 2012

Το υπόβαθρο της περιοχής αποτελείται από Τριαδικούς ασβεστολίθους, παχυστρωματώδεις και μεσοστρωματώδεις, κρυσταλλικούς με παρεμβολές δολομιτικών ασβεστολίθων που εύκολα καρστικοποιούνται. Στην ευρύτερη περιοχή εμφανίζονται ασβεστόλιθοι του Α. Κρητιδικού και φλύσχης. Ο φλύσχης αποτελείται από εναλλαγές αργιλικών σχιστολίθων, λεπτόκοκκων ψαμμιτών, λατυποκροκαλοπαγών και παρεμβολών ασβεστολίθων.

Από τεκτονική άποψη, τα κύρια ρήγματα που έχουν επηρεάσει την περιοχή έχουν διεύθυνση βορειοδυτική-νοτιοανατολική και βόρειο βορειοδυτική- νότιο νοτιοανατολική (Χάρτης 16).

Συγκεκριμένα στην παράκτια περιοχή του οικισμού Χιλή, όπως φαίνεται από το γεωλογικό χάρτη αλλά και από την επί τόπου έρευνα, επικρατούν ασβεστόλιθοι Τριαδικού.



**Χάρτης 16 : Τμήμα Γεωλογικού χάρτη περιοχής Κύμης** Πηγή : ΙΓΜΕ, Φύλλο Κύμη, 1:50.000, 1981

Ο οικισμός Χιλή βρίσκεται απέναντι από δυο νησάκια την Κοίλη (το μεγαλύτερο) και την Πλατεία (το μικρότερο) (Εικόνα 23), στα οποία επίσης επικρατούν οι ασβεστόλιθοι του Τριαδικού.



Εικόνα 23 : Όψη της περιοχής Χιλής από νοτιοδυτικά προς βορειοδυτικά

Σύμφωνα με τις Κ. Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη & Α. Μαρκοπούλου-Διακαντώνη (1998), τα Μεταλπικά ιζήματα της περιοχής Χιλής Εύβοιας, επικάθονται ασύμφωνα στο Αλπικό υπόβαθρο, έχουν πάχος 2m και βρίσκονται σε ύψος 5-6m από τη στάθμη θάλασσας ενώ στην επαφή τους με το υπόβαθρο υπάρχει κροκαλοπαγές επίκλυσης. Ορυκτολογικά τα ιζήματα αυτά αποτελούνται από πολλούς αρκετά αποστρογγυλωμένους κόκκους αραγωνίτη γεγονός που επιτρέπει να δεχτούμε την παρουσία ενός παράκτιου περιβάλλοντος, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την παρουσία μέσα στα ιζήματα ενός σημαντικού αριθμού απολιθωμάτων θαλάσσιων οργανισμών όπως τρηματοφόρα, βρυόζωα, δίθυρα, κα. Τα ιζήματα αυτά, που περιέχουν τα απολιθώματα, είναι πιθανό να αποτέθηκαν στο Κ. Πλειστόκαινο σε περιβάλλον ήρεμης, ρηχής θάλασσας, προστατευμένης από ισχυρά ρεύματα που όμως επικοινωνούσε με την ανοικτή θάλασσα και σε μια περίοδο που το κλίμα ήταν υποτροπικό-εύκρατο, όπως αποδεικνύεται από την ύπαρξη ασβεστοφυκών και άλλων χαρακτηριστικών απολιθωμάτων (Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη & Μαρκοπούλου-Διακαντώνη 1998).

### 11.2 Μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής

Από τον τοπογραφικό χάρτη της περιοχής (Χάρτης 17) ο οποίος προέκυψε από ψηφιοποίηση του χάρτη ΓΥΣ με κλίμακα 1:5000, φύλλο 5498-3 και στον οποίο η ισοδιάσταση είναι 4m, μπορούν να διατυπωθούν οι παρακάτω παρατηρήσεις:

- οι πλαγιές των υψωμάτων, οι κορυφές των οποίων φθάνουν σε υψόμετρο 200-280m,
   έχουν απότομες μορφολογικές κλίσεις,
- η μορφολογία του αναγλύφου είναι περισσότερο απότομη κοντά στην ακτογραμμή,
   όπου κατά θέσεις εμφανίζονται σχεδόν κατακόρυφα πρανή,
- στην περιοχή επικρατούν κοιλάδες σχήματος V, οι οποίες ξεκινούν από τα υψώματα
   στα νότιο-νοτιοανατολικά της περιοχής και καταλήγουν με φορά βόρειο βορειοανατολική στους παράκτιους κρημνούς



**Χάρτης 17 :Τοπογραφικός χάρτης της ευρύτερης περιοχής ανατολικά της Κύμης** Πηγή : Χάρτης της ΓΥΣ 1:5000, φύλλο 54989-3

Οι γεωμορφές που έχουν εντοπιστεί στην περιοχή είναι χαρακτηριστικές.

- Καταρχήν οι κοιλάδες σχήματος V μαρτυρούν την επίδραση της ρηξιγενούς τεκτονικής στην περιοχή, αφού η κατά βάθος διάβρωση των κοιτών των υδρογραφικών δικτύων οφείλεται στην τεκτονική ανύψωση.
- Ακολούθως οι Κ. Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη & Α. Μαρκοπούλου-Διακαντώνη (1998) αναφέρουν πως στην περιοχή έχουν εντοπιστεί θαλάσσιες αναβαθμίδες στα 20cm και στα 4m κοντά στον Αγ. Γρηγόριο και στο νότιο τμήμα της νήσου κοίλης ενώ έχουν εντοπιστεί και στο μεγαλύτερο τμήμα της νήσου Πλατείας στα 4m. Η παρουσία αυτών των αναβαθμίδων επιβεβαιώνει την ύπαρξη ανυψωτικών κινήσεων στην περιοχή.
- Επιπλέον, στους παράκτιους ασβεστολιθικούς κρημνούς του οικισμού Χιλή εντοπίστηκε μια παλαιά ακτογραμμή στο +70±10cm από τη σημερινή μέση στάθμη θάλασσας (Εικόνα 24), η οποία επιβεβαιώνει την ύπαρξη ανοδικών τεκτονικών κινήσεων. Ο προσδιορισμός του υψομέτρου έγινε με μέτρηση της υψομετρικής διαφοράς του ανώτερου ορίου οπών Lithophaga και του ανώτερου ορίου ζωντανών οργανισμών που είναι περίπου στη μέση στάθμη θάλασσας.



Εικόνα 24 : Ανυψωμένη εγκοπή στην περιοχή της Χιλής (Εύβοια) a. Βορειότερο λιμάνι, b. νοτιότερο λιμάνι

Η καλή διατήρηση της ανυψωμένης εγκοπής (Εικόνα 25)στο μεγαλύτερο μέρος της ακτής δείχνει πως η κίνηση αυτή ήταν γρήγορη, ενώ το γεγονός ότι έχει ήδη αρχίσει να δημιουργείται μια νέα εγκοπή στη σημερινή στάθμη θάλασσας αποδεικνύει ότι η ανοδική κίνηση που έλαβε χώρα πρέπει να είναι σχετικά παλιά. Άλλωστε όπως ειπώθηκε παραπάνω στην περίπτωση μιας γρήγορης ανύψωσης μεγαλύτερης από το εύρος παλίρροιας, η εγκοπή, πλήρως ανυψωμένη, θα διατηρηθεί από περαιτέρω θαλάσσια βιοδιάβρωση ενώ θα δημιουργηθεί μία νέα εγκοπή στη νέα χαμηλότερη ενδοπαλιρροιακή ζώνη.



Εικόνα 25 : Καλά διατηρημένη ανυψωμένη εγκοπή στη Χιλή (Εύβοια)(αριστερά) και λεπτομέρεια εγκοπής(δεξιά)



Εικόνα 26 : Η δημιουργία μιας νέας εγκοπής στη σημερινή στάθμη θάλασσας στη Χιλή (Εύβοια)

Στα βορειοανατολικά του οικισμού Χιλή σχηματίζονται δυο «λιμάνια» (θέσεις που δείχνουν τα βέλη, Χάρτης 18) τα οποία αποτελούν περιοχές προστατευμένες από τη δράση ισχυρών ρευμάτων και στα οποία από το σχήμα του προφίλ της εγκοπής έγινε προσπάθεια λήψης ποιοτικών πληροφοριών για το βαθμό της μεταβολής της στάθμης της θάλασσας και για πιθανές τεκτονικές κινήσεις και ακολούθως επιχειρήθηκε η δειγματοληψία για τη χρονολόγηση της ανύψωσης.



Χάρτης 18 : Απόσπασμα τοπογραφικού χάρτη σε συνδυασμό με ορθοφωτοχάρτη στην περιοχή της Χιλής (Εύβοια). Τα βέλη δείχνουν τις περιοχές μελέτης

Πηγή : Ορθοφωτοχάρτης από κτηματολόγιο ΑΕ (υπηρεσία θέασης ορθοφωτογραφιών, εύρεση στην ιστοσελίδα : <a href="http://www.ktimatologio.gr">http://www.ktimatologio.gr</a>) και τοπογραφικός χάρτης από επεξεργασία χάρτη ΓΥΣ φύλλο 5489-3

#### 11.3 Ανυψωμένες θαλάσσιες εγκοπές στην ευρύτερη περιοχή της Εύβοιας

Αυτή η σχεδόν συνεχής ανυψωμένη εγκοπή που εντοπίστηκε στην περιοχή μελέτης, μπορεί να παρατηρηθεί στην ανατολική πλευρά της Εύβοιας σε μια απόσταση περίπου 70km, που ξεκινά λίγο νοτιότερα από τον οικισμό Χιλή (θέση 3, Χάρτης 19), δηλαδή από την περιοχή της Κύμης και φτάνει έως το βορειότερο μέρος του νησιού στην περιοχή Ελληνικά, δηλαδή συνολικά σε μια απόσταση 70km. Από την πλευρά του Κόλπου της Εύβοιας, η ανύψωση είναι περίπου 1m, σε αντίθεση με την ανατολική πλευρά όπου είναι της τάξης των 0,7m, κατά μήκος μιας απόστασης περίπου 20km (Stiros et al, 1992).



Χάρτης 19 : a) οι θέσεις των μετατοπίσεων του Ολοκαίνου που παρατηρήθηκαν στην Εύβοια, b) η θέση της Εύβοιας στο χάρτη της Ελλάδας

- a) έντονη γραμμή = ανυψωμένη ακτογραμμή, διπλή γραμμή= οι θέσεις των δύο εγκοπών, αριθμοί= οι θέσεις δειγματοληψίας, μαύρα τρίγωνα= βυθισμένη εγκοπή, άσπρα τρίγωνα= θέσεις βυθισμένων αρχαιολογικών ερείπιων,
- b) Ο= Όλυμπος, Ρ= Πελοπόννησος, C= Κρήτη, διακεκομμένη γραμμή= τάφρος βόρειου Αιγαίου Πηγή : S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece, Earth and planetary science letters 108, Elsevier, 1992, p.110

Σύμφωνα με τους S. Stiros et al (1992) σε τουλάχιστον δύο θέσεις σώζονται υπολείμματα μιας δεύτερης, πιθανώς λίγο παλαιότερης εγκοπής μερικά εκατοστά υψηλότερη. Στο τμήμα που εμφανίζεται η ανύψωση κατά μήκος του Ευβοϊκού κόλπου (Χάρτης 19), μια τρίτη εγκοπή παρατηρήθηκε 40±20cm κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Εκτός από την κάτω από το νερό εγκοπή εκεί υπάρχουν στοιχεία πολλών βυθισμένων αρχαίων κατασκευών σε διάφορα μέρη του νησιού, αλλά οι φυσικές αιτίες και το χρονικό της βύθισης δεν έχουν προσδιορισθεί (λευκά τρίγωνα Χάρτης 19)(Stiros et al, 1992).

#### 11.4 Βιολογικοί δείκτες και επιλογή δειγμάτων

Βιοδομητές δεν υπάρχουν πολλοί στις ακτές της Εύβοιας, διότι φύκη όπως τα Lithophyllum lichenoides, τα οποία απαντώνται πολύ συχνά στη δυτική Μεσόγειο και φύκη που δομούν υφάλους όπως τα Dendropoma petraeum, τα οποία απαντώνται πολύ συχνά στη νότια Ελλάδα, όπως έχει ήδη αναφερθεί, απουσιάζουν από την περιοχή αυτή λόγω του ότι οι

ψυχροί άνεμοι το χειμώνα και τα θαλάσσια ρεύματα από τα βόρεια, ενδεχομένως, περιορίζουν την ανάπτυξή τους (Stiros et al, 1992).

Βιοαποδομητές, από την άλλη πλευρά, απαντώνται συχνά και έτσι τα ίχνη διάβρωσης από διάφορα είδη που είναι εύκολο να εντοπιστούν, μπορεί να είναι εξαιρετικά χρήσιμα για τον εντοπισμό του ποια ήταν τα επίπεδα της στάθμης της θάλασσας στο παρελθόν και πότε η στάθμη αυτή μεταβλήθηκε. Στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη η δράση των πεταλίδων (*Patella* sp.) και των ενδολιθικών κυανοφυκών συμβάλλουν στην δημιουργία (εκσκαφή) μιας βιοδιαβρωτικής εγκοπής στο σκληρό ασβεστολιθικό πέτρωμα (Σχήμα 13) ενώ στην υποπαλιρροιακή ζώνη, υπεύθυνοι για την ταχεία διάβρωση του ασβεστολίθου που βρίσκεται κάτω από το νερό είναι σπόγγοι που ανοίγουν οπές (όπως *Cliona*), αχινοί και τα *Lithophaga* (Stiros et al, 1992).

Επειδή στις ανατολικές ακτές της Εύβοιας δεν διατηρείται κανένα απολίθωμα βιολογικών δομών, στην περιοχή είναι απαραίτητο να μελετηθούν άλλα είδη βιολογικών δεικτών της στάθμης της θάλασσας που αφήνουν υπολείμματα που μπορούν να χρονολογηθούν, δηλαδή οπές *Lithophaga*, ειδικά εκείνων εντός των οποίων διατηρούνται σπασμένα κελύφη (Stiros et al, 1992). Στην περιοχή υπάρχει μια εξαιρετική συμφωνία μεταξύ του ανώτερου ορίου των οπών αυτών (βιολογικοί δείκτες στάθμης θάλασσας) και της κορυφής (σημείο τομής των δύο πλευρών της εγκοπής) της εγκοπής (μορφολογικός δείκτης στάθμης θάλασσας) τόσο στα σημερινά χαρακτηριστικά όσο και στα ανυψωμένα (Laborel & Laborel-Deguen, 1995).

Σε έρευνα που έγινε από τους S. Stiros et al.(1992), για την Εύβοια, συλλέχθηκαν οκτώ δείγματα κελυφών (Εικόνα 27) Lithophaga Lithophaga (για θέσεις δειγματοληψίας βλέπε : Χάρτης 19) και χρονολογήθηκαν με ραδιοάνθρακα. Λόγω της μικρής ποσότητας διαθέσιμου υλικού, χρησιμοποιήθηκε ο επιταχυνόμενος φασματογράφος μάζας (AMS) του εργαστηρίου Gif-sur-Yvette και για την βαθμονόμηση των δειγμάτων χρησιμοποιήθηκε ο παράγοντας  $\Delta R = -80\pm25$ χρόνια.



Εικόνα 27 : Ανυψωμένα κελύφη Lithophaga στη θέση ανάπτυξής τους μέσα στις οπές στη Βορειοανατολική Εύβοια

Πηγή : S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece, Earth and planetary science letters 108, Elsevier, 1992, p.114

Στην περιοχή της Χιλής εντοπίστηκε πάρα πολλές οπές Lithophaga οι οποίες βρίσκονται σε συμφωνία με τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τις εγκοπής δηλαδή το ανώτερο όριό τους βρίσκεται στη θέση που τέμνονται οι δυο πλευρές της κορυφής. Στις περισσότερες όμως θέσεις οι οπές αυτές ήταν κενές ή πληρωμένες μόνο με λεπτόκοκκο υλικό(Εικόνα 28).



Εικόνα 28 : Οπές Lithophaga στην περιοχή της Χιλής Εύβοιας

Ωστόσο στις θέσεις που φαίνονται στην Εικόνα 29 και στην Εικόνα 30, επιχειρήθηκε η δειγματοληψία υλικού. Γενικά τα δείγματα ελήφθησαν από το ύψος +70±10cm αλλά όπως φαίνεται και στην Εικόνα 31, η ποσότητα του κελύφους που υπήρχε στην οπή ήταν τόσο μικρή που δεν αρκούσε ούτε για την ραδιοχρονολόγηση με την μέθοδο AMS.



Εικόνα 29 : Θέσεις δειγματοληψίας στο βορειότερο λιμανάκι της Χιλής Εύβοιας



Εικόνα 30 : Θέσεις δειγματοληψίας στο νοτιότερο λιμανάκι της Χιλής Εύβοιας



Εικόνα 31 : Αριστερά μια από τις θέσεις δειγματοληψίας στην περιοχή Χιλή και δεξιά λεπτομέρεια του δείγματος

#### 11.5 Χαρακτηριστικά ανυψωμένης εγκοπής και τομές-απεικόνιση του προφίλ τους

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω οι παλιρροιακές εγκοπές που συχνά σχηματίζονται σε ασβεστολιθικούς κρημνούς στην μεσοπαλιρροιακή ζώνη θεωρούνται ακριβείς δείκτες στάθμης θάλασσας. Από την άλλη πλευρά, η διατήρηση των κελυφών των Lithophaga μέσα στις οποίες που δημιουργούν είναι μια ένδειξη της ταχύτατης (πιθανώς στιγμιαία) αλλαγής της στάθμης της θάλασσας, γιατί αν η ανύψωση ήταν αργή (mm/yr ή cm/yr), αυτά τα υπολείμματα θα πρέπει να είχαν αλλοιωθεί και καταστραφεί μέσα σε λίγα χρόνια από τη μέσο παλιρροιακή βιολογική διάβρωση η οποία γενικά θεωρείται ότι προχωράει με ρυθμό τουλάχιστον περίπου 1mm / έτος.

Όμως τόσο το προφίλ όσο και η μορφολογία των εγκοπών που εντοπίστηκαν στην περιοχή της Χιλής Εύβοιας, δείχνει ότι η ανύψωσή τους ήταν ταχεία και μάλλον συνσεισμική.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 32, η ανυψωμένη εγκοπή εμφανίζεται συμμετρική ως προς το σημείο τομής των δύο πλευρών (οροφής και δαπέδου) στο +70±10cm πάνω από τη σημερινή μέση στάθμη θάλασσας. Η μετατόπιση ήταν σίγουρα μεγαλύτερη από το ύψος παλίρροιας αφού φαίνεται να είναι προστατευμένη από τη μεσοπαλιρροιακή διάβρωση (Σχήμα 7). Το ύψος της εγκοπής (δυο ίσα μέρη για το άνω (οροφής )και κάτω τμήμα (δαπέδου)), είναι 50cm και το βάθος 60cm. Το εσωτερικό σημείο υποχώρησης της εγκοπής δεν είναι ένα ευδιάκριτο σημείο αλλά η υποχώρηση λαμβάνει χώρα κατά μήκος μιας ευρύτερης περιοχής του κρημνού οπότε η εγκοπή είναι σχήματος U.



Εικόνα 32 : Χαρακτηριστικά ανυψωμένης εγκοπής στο βορειότερο λιμανάκι της Χιλής Εύβοια.

Αναφέρθηκε ήδη παραπάνω η δημιουργία μιας νέας εγκοπής στη σημερινή μέση στάθμη θάλασσας, ως απόδειξη του ότι η ανύψωση έλαβε χώρα αρκετά παλιά. Ένα άλλο γεγονός που το επιβεβαιώνει είναι ότι σε κάποια θέση (Εικόνα 33) η σημερινή εγκοπή εμβαθύνθηκε τόσο (δηλαδή το επίπεδο της θάλασσας έμεινε σταθερό για μεγάλο χρονικό διάστημα), που η οροφή της εγκοπής κατάρρευσε, το υλικό απομακρύνθηκε και η βάση της αποτελεί σήμερα ένα μικρού πλάτους μικρό παράκτιο πάγκο.


Εικόνα 33 : Κατάρρευση οροφής της εγκοπής που σχηματιζόταν στη σημερινή στάθμη θάλασσας στη Χιλή Εύβοιας

Στην Εικόνα 26 και στην Εικόνα 33 φαίνεται καταρχήν ο μαύρος λειχήνας Verrucaria Maura με μορφή ζώνης αλλά και η αύξηση των ειδών στη μεσοπαλιρροιακή ζώνη και έτσι είναι δυνατός ο καθορισμό της βιολογικής μέσης στάθμης θάλασσας που αποτελεί το όριο μεσοπαλιρροιακής – υποπαλιρροιακής ζώνης.

Τέλος παρατηρούμε ότι το ύψος της σημερινής εγκοπής είναι πολύ μεγαλύτερο εκείνο της ανυψωμένης. Αυτό μπορεί να σημαίνει ότι το ύψος των κυμάτων ή της παλίρροιας σήμερα είναι μεγαλύτερα ή ότι έχουμε μια πολύ αργή ανύψωση της ξηράς ή πτώση της στάθμης θάλασσας που μεγαλώνουν το ύψος (την απόσταση δαπέδου από οροφή) της εγκοπής, ή ακόμα ότι μετά την ανύψωση της ανώτερης εγκοπής έλαβε χώρα άλλη μικρότερη ανυψωτική κίνηση η οποία όμως άφησε την πιθανόν δημιουργημένη εγκοπή εντός της μεσοπαλιρροιακής διάβρωσης, η οποία οδήγησε στην μορφολογική εξομάλυνση αυτού του «σκαλοπατιού», έτσι ώστε σήμερα να φαίνεται μια μεγάλου ύψους εγκοπή στη σημερινή στάθμη θάλασσας.

### 11.6 Χρονολόγηση ανύψωσης

Δυστυχώς δεν ήταν εφικτή η ραδιοχρονολόγηση υλικού κατά τη διάρκεια της έρευνας που έγινε για την παρούσα εργασία λόγω της μικρής ποσότητας που βρέθηκε, όπως αναφέρθηκε παραπάνω.

Όμως υπάρχουν στοιχεία από την χρονολόγηση επτά δειγμάτων (Χάρτης 19 και Πίνακας 15), που έγινε από τον S. Stiros et al (1992) στην ευρύτερη περιοχή. Οι χρονολογίες που ελήφθησαν περιλαμβάνουν την περίοδο 510-380 π.Χ. τρεις φορές με πιθανότητα 0,67 (1σ). Δυο δείγματα (9EU5 και 9EU14) είναι κάποιους αιώνες παλαιότερα και ένα (9EU18) είναι ελαφρώς νεότερο. Τα δύο πρώτα δείγματα από τα ανωτέρω, έδωσαν χρονολογίες οι οποίες συμπίπτουν κατά τη διάρκεια της περιόδου 1050-900 π.Χ., μπορεί να αντιστοιχούν σε κελύφη τα οποία διασώθηκαν από τη βιολογική διάβρωση για κάποιους αιώνες από υλικό επιχωματώσεων, μεταξύ του θανάτου των μαλακίων και της χρονολογίας ανύψωσης. Ωστόσο, μπορούν επίσης να αντιστοιχούν σε Lithophaga που ανυψώθηκαν και θανατώθηκαν από κάποια νωρίτερη συν-σεισμική ανύψωση, μεταξύ 1050 και 900 π.Χ., πιθανώς το ίδιο γεγονός που άφησε διάσπαρτα απομεινάρια μιας υψηλότερης εγκοπής (περίπου στο +1m). Η ελαφρώς μεταγενέστερη ηλικία του δείγματος 9EU18 μπορεί να οφείλεται σε μερική ανακρυστάλλωση, η οποία όμως δύσκολα μπορεί να εξακριβωθεί γιατί τα κελύφη των Lithophaga κανονικά αποτελούνται από αραγωνίτη και ασβεστίτη και το δείγμα που ήταν διαθέσιμο ήταν πολύ μικρό για να εξεταστεί ως λεπτή τομή (Stiros et al, 1992).

Locality No Χάρτης 19	Sample	Lat. N	Long. E	Elevation (m above MSL)	Estimated palaeoMSL elevation (m)	<sup>14</sup> C age <sup>a</sup> (yr BP±σ)	Calibrated date <sup>b</sup>	
1	9JL37	38°49'	23°31'	+0,7	$+0,7 \pm 0,2$	$2570\pm110$	510-240BC	
2	9EU2	38°41'	23°54'	+0,4	$+0,7 \pm 0,1$	$2700 \pm 110$	750-380BC	
3	9EU5	38°40'	23°08'	+0,9	$+1,0 \pm 0,2?$	$3020 \pm 110$	1050-800BC	
3	9EU7	38°40'	23°08'	+0,6	$+0,7 \pm 0,1$	$2470{\pm}~110$	380-110BC	
4	9EU14	38°38'	23°29'	+0,7	$+1,15 \pm 0,2?$	$3130\pm120$	1250-900BC	
4	9EU17	38°38'	23°29'	+0,1	± 0	Modern		
5	9EU18	38°42'	23°25'	+0,75	$+0,8 \pm 0,2$	$2390 \pm 110$	340-20BC	
6	9EU11	38°42'	23°24'	+0,5	$+0,8 \pm 0,2$	$2650 \pm 110$	710-360BC	
<sup>a</sup> =without age reservoir correction <sup>b</sup> =using a $1\sigma$ standard deviation : AB = -80+ 25 yrs								

Πίνακας 15 : Λίστα χρονολογημένων δειγμάτων Lithophaga από την Εύβοια

Πηγή : S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece, Earth and planetary science letters 108, Elsevier, 1992, p.114

#### 11.7 Συσχέτιση με ιστορικά σεισμικά γεγονότα

Η ανύψωση των ακτών της Εύβοιας μαρτυρεί παλαιοσεισμικά γεγονότα μεγέθους πιθανώς μεγαλύτερα από Ms =7.0.

Αρχικά αυτό το αποτέλεσμα έρχεται σε αντίθεση με συμπεράσματα σχετικά με τα μέγιστα αναμενόμενα μεγέθη (Ms =7.0) των σεισμών στην κεντρική Ελλάδα που έχουν συναχθεί από την ιστορική και ενόργανη σεισμολογία καθώς και από τα ιστορικά δεδομένα αλλά και από το μοντέλο και τις διαστάσεις των κανονικών ρηγμάτων της περιοχής (Ambraseys & Jackson, 1990).

Ωστόσο, όπως συμφωνούν ορισμένοι συγγραφείς(Ambraseys & Jackson, 1990), η σεισμική ιστορία της περιοχής δεν είναι επαρκώς τεκμηριωμένη και τα περισσότερα γεγονότα τα οποία είναι γνωστό ότι έχουν πλήξει την Εύβοια (π.χ. οι σεισμοί του 450, 426 και 396 π.Χ., και του 106, 551, 1421, 1694, 1758 και 1894 μ.Χ) είναι πιθανό να έχουν τα επίκεντρά τους στην ηπειρωτική χώρα (Stiros et al, 1992).

Ειδικότερα, η ακολουθία των σεισμών που έπληξαν την κεντρική Ελλάδα το καλοκαίρι του 426 π.Χ. αναφέρονται σε διάφορες περιγραφές της περιόδου : Παρά το γεγονός ότι ήταν ζωντανός εκείνη τη στιγμή ο Θουκυδίδης δεν μαρτυρά τα γεγονότα, αλλά κάνει αναφορά (Πελοποννησιακού Πολέμου, ΙΙΙ, 87, 4 και ΙΙΙ, 89) ότι αυτοί οι σεισμοί απέτρεψαν έναν Πελοποννησιακό στρατό από την εισβολή του στην Αττική και ο ίδιος περιέγραψε τα αποτελέσματα ενός τσουνάμι που έπληξε την Εύβοια. Αργότερα, ο Διόδωρος (XII, 59, 1) απέδωσε φαινόμενα καθίζησης στην κοντινή ηπειρωτική χώρα στο ίδιο γεγονός. Ο Στράβων, που είχε συντάξει νωρίτερα συγγράμματα που τώρα έχουν χαθεί, άφησε μια λεπτομερή περιγραφή (GEORG, I, 3, 20) της καταστροφής, των απωλειών, της μεταβολής της πορείας των ποταμών, του τσουνάμι και των φαινομένων καθίζησης που οφείλονταν σε αυτούς τους σεισμούς(Stiros et al, 1992).

Τα δεδομένα της σύγχρονης ενόργανης σεισμολογίας αποκαλύπτουν ότι τοπικά πρόσφατα γεγονότα είναι αρκετά μικρά, με μεγέθη έως και 6.0 (Χάρτης 20). Κατά συνέπεια, τα περισσότερα μέρη του νησιού έχουν χαρακτηριστεί ως περιοχές μέτριου σεισμικού κινδύνου. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι τα διαθέσιμα ιστορικά στοιχεία των βλαβών των σεισμικών γεγονότων

 (1) συνήθως είναι μια συνάρτηση της πυκνότητας του πληθυσμού, και οι περισσότερες περιοχές της Εύβοιας σχεδόν στερούνταν σημαντικών πόλεων για μεγάλες περιόδους, και
 (2) αντιστοιχούν σε χτυπήματα που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια σημαντικών ιστορικών γεγονότων (π.χ., πόλεμοι) ή επισκέψεις από ξένους ταξιδιώτες.

178

Για τους λόγους αυτούς υπάρχει η βεβαιότητα ότι μια σειρά από σημαντικά γεγονότα δεν περιλαμβάνονται στους καταλόγους που καταρτίστηκαν χρησιμοποιώντας αυτές τις παρατηρήσεις. Οπότε δεν υπάρχουν διαθέσιμες πληροφορίες για την εμφάνιση μιας συνσεισμικής ανοδικής κίνησης του φλοιού κατά τη διάρκεια των ιστορικών χρόνων στην περιοχή. Ωστόσο, όσο αφορά σεισμικές διαρρήξεις και επιφανειακά σπασίματα του εδάφους που έχουν παρατηρηθεί σε ιζήματα του Τεταρτογενούς (αστεράκια Χάρτης 20) αυτά συνδέονται με τους σεισμούς του 1931 μεγέθους 5,0 έως 5,3 (Stiros et al, 1992).



Χάρτης 20 : Επίκεντρα σεισμών (Ms≥5) στην Εύβοια.

Οι διακεκομμένες γραμμές δείχνουν το μέγιστο μέγεθος των σεισμών που αναμένονται τα επόμενα 100 χρόνια (σύμφωνα με τους Μαρκόπουλος και Δρακόπουλος - 1983), τα αστεράκια είναι θέσεις επιφανειακών διαρρήξεων του 1931 και κάτω αριστερά φαίνεται το ίχνος του ρήγματος του 1894 Πηγή : S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece, Earth and planetary science letters 108, Elsevier, 1992, p.113

Υπάρχει επίσης ένα άλλο θέμα για τους σεισμούς μεγέθους μεγαλύτερου από 7.0 στην Εύβοια : Σε ολόκληρη την κεντρική Ελλάδα τα τεμάχη των κανονικών ρηγμάτων δεν είναι μεγαλύτερα των 15km, ένα μήκος που είναι δυνατό να παραχθεί από σεισμούς μικρότερους από Ms = 6.5. Εντούτοις, οι πάνω από 1000m βάθους κρημνοί της βορειοανατολικής ακτής της Εύβοιας, είναι πιθανό να είναι μια εξαίρεση, γι 'αυτό φαίνονται να είναι συνεχείς για μια απόσταση μεγαλύτερη των 80km (Χάρτης 19) και μπορεί να σχετίζονται με την παρατηρούμενη ανύψωση και τους σεισμούς μεγέθους Ms≥7.0 (Stiros et al, 1992).

Μια άλλη πιθανότητα είναι η ανύψωση να σχετίζεται με οριζόντιας ολίσθησης γεγονότα μεγέθους μεγαλύτερου από 7.0 τα οποία είναι γνωστό ότι εμφανίζονται ανοικτά της θάλασσας, μέσα και γύρω από την τάφρο του Βορείου Αιγαίου, περιοχή η οποία δεν είναι μακριά από την περιοχή μελέτης (Χάρτης 19). Το γεγονός ότι ανυψωμένες ακτές και

μεγάλου μήκους ανυψώσεις (π.χ., η ανύψωση του Ολύμπου) παρατηρούνται επίσης κατά μήκος της ακτής της Θεσσαλίας προς το Αιγαίο, απέναντι από την οποία καταλήγει η τάφρος του Βορείου Αιγαίου, φαίνεται να υποστηρίζει αυτή την υπόθεση (Stiros et al, 1992).

Σύμφωνα με τον S. Stiros et al (1992), είτε ήταν ένα γεγονός που προκάλεσε την ανύψωση στην Εύβοια, είτε ήταν δύο, είναι απίθανο κάποια από αυτές τις ανυψώσεις να αντιστοιχούσε σε ιστορικά γεγονότα μετά το 0 μΧ. και αποκλείεται να σχετίζεται κάποια με το σεισμό του 551 μ.Χ., ο οποίος είναι γνωστό ότι έχει προκαλέσει σημαντικές συν-σεισμικές ανυψώσεις στην Ανατολική Μεσόγειο. Σύμφωνα με τον ίδιο λοιπόν, οι ανυψωτικές κινήσεις στην Εύβοια (Χάρτης 19) μπορούν να αποδοθούν σε συν-σεισμικές κινήσεις που σημειώθηκαν κατά τις περιόδους 1050-900 και 510-380 π.Χ. ενώ η βυθισμένη εγκοπή στην ακτή Ευβοϊκού κόλπου παραμένει χωρίς χρονολόγηση (Stiros et al, 1992).

Στην περιοχή της Χιλής εντοπίστηκε μία μόνο ανυψωμένη εγκοπή στο +70±10cm η οποία σίγουρα σχετίζεται με ένα γεγονός π.Χ. Από τη μελέτη των ραδιοχρονολογήσεων της ευρύτερης περιοχής σε συνδυασμό με τα στοιχεία των σεισμών, προκύπτει ότι η ανύψωση μπορεί να προέκυψε από το σεισμό του 426 π.Χ (ή καλύτερα από τους σεισμούς του Βόρειου Ευβοϊκού οι οποίοι μάλιστα είναι από τους καλύτερα περιγραμμένους τις κλασικής αρχαιότητας (Παυλίδης, 2003) και φαίνεται να έχουν επηρεάσει την ευρύτερη περιοχή με έντονες μετατοπίσεις) ή από σεισμό από ρήγματα που υπάρχουν στον υποθαλάσσιο χώρο βόρεια της Εύβοιας.

#### 12. Συμπεράσματα

Η χρήση της στάθμης θάλασσας ως σημείο αναφοράς στο πλαίσιο της έρευνας σεισμών οφείλεται στη σχετική σταθερότητα του επιπέδου της θάλασσας στα τέλη του Ολόκαινου. Όταν λοιπόν σε μια περιοχή έχουν λάβει χώρα ανοδικές ή καθοδικές κινήσεις κατά τη διάρκεια του Ολόκαινου, η περιοχή μπορεί να θεωρηθεί ως σεισμοτεκτονικά ενεργή και μελετάται για τον προσδιορισμό του σεισμού που είναι πιθανό να προκάλεσε τη μετατόπιση. Τα στοιχεία αυτά προάγουν την έρευνα που αφορά τη σεισμικότητα της περιοχής και βοηθούν την εκτίμηση της περιόδου επαναφοράς μεγάλου μεγέθους σεισμικών γεγονότων που πιθανά αποτελεί έναν αξιόπιστο τρόπο αδρής πρόγνωσης των σεισμών σε παράκτιες περιοχές, ενώ ταυτόχρονα συνεισφέρουν στη μελέτη της νεοτεκτονικής (που εξετάζει τις πρόσφατες γεωλογικές δομές και διεργασίες του γήινου φλοιού), της μορφοτεκτονικής (που μελετά την επίδραση των τεκτονικών διεργασιών στο γήινο ανάγλυφο) και της παλαιοσεισμολογίας (η ανάλυση των όρων από : Σ. Παυλίδης (2003), σελ.20).

Η βιβλιογραφική επισκόπηση του θέματος οδήγησε στη διαπίστωση ότι οι εγκοπές έχουν πλέον καθιερωθεί ως γεωμορφές – ενδείξεις για τη διερεύνηση των μεταβολών της στάθμης της θάλασσας. Πρέπει όμως να σημειωθεί ότι ο πλέον ακριβής διαβρωσιγενούς προέλευσης μορφολογικός δείκτης, αυτός δηλαδή που παρέχει ακρίβεια εκατοστού σε προστατευμένες περιοχές, είναι οι «παλιρροιακές εγκοπές», των οποίων η διάκριση από τους άλλους τύπους είναι μεγάλης σημασίας σε ανάλογες μελέτες.

Σε περίπτωση μιας μετατόπισης, το σχήμα της εγκοπής μπορεί να παρέχει ποιοτικές πληροφορίες για την ταχύτητα (αργή, γρήγορη ή στιγμιαία) της κάθετης τεκτονικής κίνησης, προτείνοντας διάφορα σενάρια τεκτονικής δραστηριότητας που έχει επηρεάσει την εκάστοτε ακτή Ταυτόχρονα οι βιολογικοί δείκτες θαλάσσιας στάθμης (με τη μορφή απολιθωμάτων) δίνουν αξιόπιστες πληροφορίες για την κατεύθυνση της σχετικής μετατόπισης, για το κάθετο πλάτος της, για την πολυπλοκότητα (απλή κίνηση ή σύνθετα ανοδικά και καθοδικά επεισόδια), για τη σχετική ταχύτητα (από αργή μέχρι στιγμιαία) αλλά και για την ηλικία (με την διαθεσιμότητα βιολογικού – οργανικού υλικού που μπορεί να χρονολογηθεί ώστε να δώσει απόλυτη ηλικία).

Συνήθως μελετώνται οι ανυψωτικές κινήσεις γιατί στις κινήσεις βύθισης τόσο ο προσδιορισμός της ταχύτητας όσο και η χρονολόγηση είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν, δεδομένου ότι οι δείκτες (μορφολογικοί και βιολογικοί) καταστρέφονται στην υποπαλιρροιακή ζώνη από τις έντονες διαβρωτικές διεργασίες που συντελούνται σε αυτή. Όμως όταν μελετώνται ανυψωτικές κινήσεις, πριν την τελική διαπίστωση του αν μια ανύψωση είναι συνσεισμική πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η εξαίρεση των ειδών της

181

ανώτερης μεσοπαλιρροιακής ζώνης, της προστατευμένης με ιζήματα περιοχής και της ενδοβιωτικής πανίδας.

Στην Ελλάδα έγουν εντοπιστεί ανυψωμένες και βυθισμένες παλαιοακτογραμμές στην Κρήτη και στα Αντικύθηρα, στη Ρόδο, στα νησιά του Ιονίου (Ζάκυνθος, Κεφαλονιά, Κέρκυρα, Λευκάδα και Ιθάκη), στην περιοχή του νότιου και βόρειου Κορινθιακού κόλπου, στη χερσόνησο της Περαχώρας, στον Ευβοϊκό κόλπο, στη Σάμο, στη Θεσσαλία, στο Θεολόγο, στην Κυλλήνη, στη Λακωνία, στην Κάρπαθο και στο Καστελόριζο. Οι βυθισμένες δεν ήταν δυνατό να χρονολογηθούν από βιολογικούς δείκτες, αλλά για τις ανυψωμένες έχουν χρησιμοποιηθεί τα είδη Dendropoma, Neogoniolithon και κυρίως Neogoniolithon notarisii και Neogoniolithon papillosum, Vermetid, Lithophaga, Other calcareous algae, Βιόλιθοι από κοραλλιογενή φύκη, Serpulidae, Chthamalus, Lithophyllum Lichenoides, Amphiroa, Vermetus Triqueter, Marine Crust, Cladocora Caespitosa, Cerithium, Arca, Murex, Patella, Serpulorbis, Stenocyathus Vermiformus, Caryophyllida, Balanophyllia regia και Myriapora Truncata. Από τις γρονολογήσεις αυτές οι ανυψώσεις συσχετίστηκαν με σεισμικά ιστορικά γεγονότα και προέκυψε ότι η Κρήτη, τα Αντικύθηρα, η Ζάκυνθος, η Κεφαλονιά, η Λευκάδα, (ίσως και η Κέρκυρα), η Περαχώρα, η Σάμος και η Θεσσαλία χαρακτηρίζονται από ανυψωτικές κινήσεις που έχουν χρονολογηθεί 1500yr BP δηλαδή την περίοδο 350-550μ.Χ, όπου αναφέρεται πως ένα γεγονός ή μια ακολουθία γεγονότων συγκλόνισε την Ανατολική Μεσόγειο.

Το παράρτημα Α που σχεδιάστηκε με αφορμή τη βιβλιογραφική μελέτη πολλών (ίσως όλων) των περιπτώσεων μελέτης μεταβολών βραχωδών ακτών στο Ολόκαινο με τη χρήση βιολογικών δεικτών, περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά, την περιγραφή, την ταξινόμηση και φωτογραφίες των παράκτιων ειδών που έχουν χρησιμοποιηθεί στον Ελλαδικό χώρο. Το παράρτημα αυτό αποτελεί χρήσιμο βοήθημα για όσους αναζητούν βιολογικούς δείκτες σε τεκτονικά μετατοπισμένες ακτογραμμές.

Στην περιοχή της Χιλής στην ανατολική Εύβοια, το καλά διατηρημένο προφίλ της εγκοπής, το οποίο απεικονίστηκε στην εργασία πεδίου, οδήγησε στη διαπίστωση ότι η ανύψωση της ακτογραμμής ήταν συν σεισμική. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει επίσης από την παρατήρηση της παρουσίας μιας πολύ καλά ανεπτυγμένης εγκοπής στη σημερινή στάθμη θάλασσας που αποδεικνύει πως η ανύψωση της ανώτερης εγκοπής έγινε σχετικά παλιά ίσως την εποχή π.Χ. Αν και δεν στάθηκε δυνατή η χρονολόγηση των δειγμάτων που ελήφθησαν, αντλήθηκαν στοιχεία από προηγούμενη μελέτη στην ευρύτερη περιοχή που έγινε από τους S. Stiros et al.(1992) και έτσι η ανύψωση της εγκοπής μπορεί να προέκυψε από το σεισμό που

182

έλαβε χώρα το 426π.Χ με μέγεθος 7,0 στο Μαλιακό ή από σεισμό από άλλα ρήγματα που υπάρχουν στον υποθαλάσσιο χώρο βόρεια της Εύβοιας.

Από την περίπτωση μελέτης φάνηκε η ανάγκη της ύπαρξης μιας βάσης δεδομένων με όλα τα στοιχεία και τις χρονολογήσεις των ανυψωμένων και βυθισμένων παλαιοακτογραμμών στην Ελλάδα ώστε να μπορούν τα στοιχεία των διαφόρων μελετών να συναξιολογούνται αλλά και να προστίθενται νέα στοιχεία ώστε να επεκτείνονται οι θέσεις των μελετημένων βραχωδών ακτογραμμών τεκτονικά ενεργών περιοχών (Πίνακας 14 και Παράρτημα Β).

## Συντομογραφίες

A.C : After Christ
A.D : After Death
AMS : Accelerator Mass Spectrometry
B.C : Before Christ
BioSLI : Biological Sea Level Indicators
BMSI : Biological Mean Sea level Indicators
BMSL : Biological Mean Sea Level
Cal. Yrs BP : Calculated Years Before Present
EBTP : Early Byzantine Tectonic Paroxysm
FBI : Fixed Biological Indicators
GPS : Global Positioning System
INTCAL : Intelligent field Calibrator
MSL : Mean Sea Level
Yr B.P : Years Before Present
WGS '84 : World Geodetic System 1984

Β.Μ.Σ.Θ : Βιολογική Μέση Στάθμη Θάλασσας

ΓΥΣ : Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού

- ΕΓΣΑ '87 : Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987
- ΙΓΜΕ : Ινστιτούτο Γεωλογικών και Μεταλλευτικών Ερευνών
- $M.\Sigma.\Theta: M$ έση Στάθμη Θάλασσας

## Ελληνική Βιβλιογραφία

- Ε. Βερύκιος Παπασπυριδάκης, Γ. Μπαρθέλλος και Χ. Σκυλοδήμος, Φυσικογεωγραφικές Παρατηρήσεις της παράκτιας ζώνης της βορειοανατολικής Ρόδου, Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής εταιρείας τομ. XXXVI, 2004, Πρακτικά 10<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Θεσσαλονίκη (2004), p. 958-967.
- Ν. Ευελπίδου, Δείκτες μεταβολής της θαλάσσιας στάθμης, Θερινό σχολείο Κίσαμος
   2011, Τμήμα Γεωλογίας ΕΚΠΑ, p.28-34
- Καρύμπαλης, Ε. Θ. (2010), Παράκτια Γεωμορφολογία, Αθήνα : εκδόσεις Ίων
- Κουτσόπουλος, Κ., Ευελπίδου, Ν., Βασιλόπουλος, Α. (2006), Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Χρήση του MapInfo Professional, Αθήνα : Εκδόσεις Παπασωτηρίου.
- Κ. Παπαδοπούλου-Βρυνιώτη, Α. Μαρκοπούλου-Διακαντώνη, Γεωμορφολογικές και παλαιοοικολογικές παρατηρήσεις στα μεταλπικά ιζήματα της περιοχής χιλής (κεντρικοανατολική Εύβοια), Δελτίο της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας, τομ. XXXII/1, Πρακτικά 8<sup>ου</sup> Διεθνούς Συνεδρίου, Πάτρα (1998), p. 307-317.
- Παπαζάχου, Β. και Παπαζάχου, Κ. (1989), Οι σεισμοί της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη : Εκδόσεις Ζήτη, p. 212-34
- Παυλίδης, Σ. Π. (2003), Γεωλογία των σεισμών, Θεσσαλονίκη : University Studio Press, p. 49-135
- Γ. Φακορέλλης, Γ. Μανιάτης, Φαινόμενες ηλικίες ραδιοάνθρακα θαλάσσιων κελυφών : επίπτωσή τους στη χρονολόγηση δειγμάτων από το σπήλαιο του κύκλωπα της νήσου Γιούρα των Β. Σποράδων, Ελληνική Αρχαιομετρική εταιρεία, 3° Συμπόσιο της ΕΑΕ (1996).

### Διεθνής Βιβλιογραφία

- W. H. Adey, *Coralline algae as indicators of sea- level*, p. 229-280, in: Van De Plaasche, Sea-Level Re- search: A Manual for the Collection and Evaluation of Data. Geo Books 9 (1986).
- N. N. Ambraseys and J. A. Jackson, Seismicity and associated strain of central Greece between 1890 and 1988, Geophys. J. Int. 101 (1990), p. 663-708.
- R. D. Berdin, F.P. Siringan, Y. Maeda, Holocene sea-level highstand and its implications for the vertical stability of Panglao Island, southwest Bohol, Philippines, Quaternary International Vol. 115–116, INQUA/Elsevier Science Ltd (2004), p. 27-37.
- F. Cooper, G. Roberts, C. Underwood, A comparison of 103–105 year uplift rates on the South Alkyonides Fault, central Greece: Holocene climate stability and the formation of coastal notches, Geophysical Research Letters, Vol. 34, L14310, American Geophysical Union (2007), p. 1-6.
- □ A. Cundy, *Recent rapid sea level change in the eastern Mediterranean and the coastal sedimentary record*, Zeitschrift für Geomorphologie, Vol.137 (2005), p. 29-35.
- □ Dieter, H.(2005), Sea-Level Indicators, p.833-834 in Encyclopedia of Coastal Science, No14.
- □ Drakopoulos, J. and Makropoulos, K. (1983), *Seismicity and hazard analysis studies in the area of Greece*, Seismological Laboratory, University of Athens.
- N. Evelpidou, P.A. Pirazoli, J.F. Saliège, A. Vassilopoulos, Submerged notches and doline sediments as evidence for Holocene subsidence, Continental Shelf Research Vol 31 (2011), Elsevier Ltd, p. 1273-1281.
- N. Evelpidou, P. A. Pirazzoli, A. Vassilopoulos, and A. Tomasin, *Holocene submerged shorelines on Theologos area (Greece)*, Zeitschrift f
  ür Geomorphologie, Vol55, 1, Stuttgart (2011), p. 31-44.
- N.C Flemming, Holocene eustatic changes and coastal tectonics in the Northeast Mediterranean: implications for models of crustal consumption. Philos, Trans. R. Sot. London, Ser. A, 289 (1978), p. 405-458 & Appendix 1.
- N. Flemming & C.O. Webb, Tectonic and eustatic coastal changes during the last 10000 years derived from archaeological data, Zeitschrift für Geomorphologie, Vol.62 (1986), p. 1-29.
- K. Gaki Papanastassiou, D. Papanastassiou, H. Maroukian, Geomorphic and archaeological-historical evidence for past earthquakes in Greece, Annali di Geofisica, Vol.XXXIX, No.3, 1996, p.589-601

- K. Gaki-Papanastassiou, H. Maroukian, G. Tsartsidou, Late Quaternary morphological changes along the western coast of the Lakonic gulf (Peloponnesus, Greece) based on geomorphological and archaeological data, Hellenic Journal of Geosciences, Vol.42, 2007, p.39-44
- □ Haslett, S. K. (2000), *Coastal systems*, London : Routledge, p. 136-145.
- □ Imamura, A.(1937), *Theoretical and Applied Seismology*. Tokyo: Maruzen.
- □ D. Kelletat, *A Holocene sea level curve for the eastern Mediterranean from multiple indicators*, Zeitschrift für Geomorphologie, Vol.137 (2005), p. 1-9.
- □ K. H. Kleemann, Der Gesteinsabbau durch Atz- muscheln an Kalkkiisten, Oecologia, 13 (1973a), p. 377-395.
- □ K. H. Kleemann, *Lithophaga lithophaga (L.) (Bivalvia) in different limestones*, Malacologia, 14 (1973b), p. 345-347.
- J. Laborel, F. Laborel-Deguen, Biological Indicators of Relative Sea-Level Variations and of Co- Seismic Displacements in the Mediterranean Region, Journal of Coastal Research, Vol. 10, No.2 (1994), p. 395-415.
- □ J. Laborel, F. Laborel-Deguen, *Biological Indicators of Holocene Sea Level and climatic variations on rocky coasts of tropical and subtropical regions*, Quaternary International, Vol.31, INQUA/Elsevier Science Ltd (1995), p. 53-60.
- B. Lavie & E. Nevo, Genetic diversity of marine gastropods : contrasting strategies of Cerithium rupestre and C.scabridum in the Mediterranean Sea, Marine Ecology – Progress Series, Vol. 28 (1986), p. 99-103.
- □ Lyell, C. (1875), *Principles of Geology*, London: J. Murray.
- H. Maroukian, K. Gaki-Papanastassiou, D. Papanastassiou, N. Palyvos, Geomorphological observations in the coastal zone of the Kyllini peninsula, NW Peloponnesus, Greece and their relations to the seismotectonic regime of the area, Journal of Coastal Research, Vol.16, No.3, 2000, p.853-863
- H. Maroukian, K. Gaki-Papanastassiou, E. Karymbalis, K. Vouvalidis, K. Pavlopoulos, D. Papanastassiou, K. Albanakis, *Morphotectonic control on drainage network evolution in the Perachora Peninsula, Greece*, Geomorphology 102, Elsevier (2008), p. 81-92.
- □ Merlin, M. D. (2005), Seismic Displacement, p.859-860 in Encyclopedia of Coastal Science, No16.
- □ N. Mouyaris' D. Papastamatiou' C. Vita-Finzi, *The Helice Fault?*, Terra Nova, Vol.4, Issue 1(1992),p.124-128

- □ M. R. Nader and S. E Indary, *First record of Diadema setosum (Leske, 1778)* (*Echinodermata, Echinoidea, Diadematidae*) from Lebanon, Eastern Mediterranean, Aquatic Invasions, Volume 6, Supplement 1: S23–S25, Reabic (2011), p.S24
- F. Ottmann and J. Picard, Sur quelques mouve- ments tectoniques récents sur les côtes nord et est de la Sicile. Comptes rendus de l'Academie des Sciences. Paris, 239 (1954), p.1230-1231.
- N. Palyvos; F. Lemeille; D. Sorel; D. Pantosti; K. Pavlopoulos, Using geomorphic and biological indicators of coastal uplift for the evaluation of paleoseismicity and Holocene uplift rate at the footwall of a normal fault (western Corinth Gulf, Greece), Article in press, Geomorphology xx (2007), available on line at www.sciencedirect.com, Elsevier B.V
- S. Papageorgiou, M. Arnold, J. Laborel, S. Stiros, Seismic uplift of the harbour of ancient Aigeira, Central Greece, The International Journal of Nautical Archaeology 22.3 (1993), p.275-281.
- □ J. M Peres and J. Picard., *Nouveau manuel de bionomie benthique en Mediterranie*, Recueil des travaux de la Station Marine d' Endoume, 31(47) (1964), p. 1–131.
- P. A. Pirazzoli, J. Comment, Y. Thommeret, J. Laborel and L.F. Montaggioni, *Crustal block movements from Holocene shorelines : Crete and Antikythira(Greece)*, Tectonophysics, 86, Elsevier Science Publishers B.V. (1982), p.27-43.
- P. A. Pirazzoli, L. F. Montaggioni, J. F. Saliège, G. Segonzac, Y. Thommeret and C. Vergnaud-Grazzini, *Crustal block movements from Holocene shorelines : Rhodes Island (Greece)*, Tectonophysics, 170 (1989), Elsevier Science Publishers B. V. (1989), p.89-114.
- P. A Pirazzoli, J. Laborel, J. F. Saliège, O. Erol, I. Kayan, A. Person, *Holocene raised shorelines on the Hatay coasts (Turkey) : Palaeoecological and tectonic implications*, Marine Geology, 96 (1991), Elsevier Science Publishers B.V, p. 295-311.
- P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, *Late-Holocene shoreline changes related to palaeoseismic events in the Ionian Islands*, The Holocene, Vol.4,4, Edward Arnold (1994a), p.397-405.
- P. A Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, *Episodic uplift deduced from Holocene shorelines in the Perachora Peninsula, Corinth area, Greece*, Tectonophysics 229, Elsevier Science (1994b), p. 201-209.
- P. A. Pirazzoli, S. C. Stiros, M. Arnold, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, *Late Holocene Coseismic Vertical Displacement and Tsunami Deposits Near Kynos, Gulf of Euboea, Central Greece*, Phys. Chem. Earth (A), Vol.24, No.4, Elsevier (1999), p.361-367.

- P.A.Pirazzoli, Marine erosion features and bioconstructions as indicators of tectonic movements, with special attention to the eastern Mediterranean area, Zeitschrift für Geomorphologie, Vol.137 (2005), p. 71-77.
- P. A. Pirazzoli, *Sea level studies*, Geomorphological Indicators, Elsevier (2007), p. 2974-2983.
- P. A. Pirazzoli, *Holocene sea level changes and tectonic movements in the eastern Mediterranean*, 15<sup>th</sup> Joint Geomorphological Meeting, Athens (2011), p. 1-31.
- □ D. Rust, S. Kershaw, Holocene tectonic uplift patterns in northeastern Sicily : evidence from marine notches in coastal outcrops, Marine Geology, 167, Elsevier (2000), p. 105-126.
- B. Shaw, J. A. Jackson, T. F. G. Higham, P.C. England, A.L. Thomas, *Radiometric dates of uplifted marine fauna in Greece: Implications for the interpretation of recent earthquake and tectonic histories using lithophagid dates*, Earth and planetary science letters 297, Elsevier (2010), p.395-404.
- T. A. Stephenson, A. Stephenson, *The Universal Features of Zonation between Tide Marks on Rocky Coasts*, The journal of Ecology, Vol.37, No.2, British Ecological Society (1949), p. 289-305.
- □ I. Steward, *Holocene uplift and palaeoseismicity on the Eliki Fault, Western Gulf of Corinth, Greece, Annali di geofisica, Vol. XXXIX, No. 3 (1996), p. 575-588.*
- □ I. Steward, C. Vita-Finzi, *Coastal uplift on active normal faults : The Eliki Fault, Greece*, Geophysical Research Letters, Vol.23, No14, 1996, p.1853-1856
- S. C. Stiros, *The AD 365 Crete earthquake and possible seismic clustering during the fourth to sixth centuries AD in the Eastern Mediterranean: a review of historical and archaeological data*, Journal of Structural Geology, 23, Elsevier Science Ltd (2001), p. 545-562.
- S.C. Stiros, M. Arnold, P.A. Pirazzoli, J. Laborel, F. Laborel and S. Papageorgiou, *Historical coseismic uplift on Euboea Island, Greece*, Earth and planetary science letters 108, Elsevier (1992), p.109-117.
- □ S.C. Stiros, P.A. Pirazzoli, *Palaeoseismic studies in Greece: A review*, Quaternary International, Vol.25, INQUA/Elsevier Science Ltd, (1995), p. 57-63.
- S.C. Stiros, J. Laborel, F. Laborel-Deguen, S. Papageorgiou, J. Evin, P.A. Pirazzoli, Seismic coastal uplift in a region of subsidence: Holocene raised shorelines of Samos Island, Aegean Sea, Greece, Marine Geology, 170, Elsevier (2000), p. 41-58.
- □ S. C. Stiros, *The* 8.5+ *magnitude*, *AD365 earthquake in Crete: Coastal uplift*, *topography changes*, *archaeological and historical signature*, Quaternary International, Vol.216, Elsevier Ltd and INQUA (2010), p. 54-63.

- □ Stuiver, M., Pearson, G. W. and Bnuiunas, T. (1986), *Radiocarbon age calibration of marine samples back to 9000cal. yr BP*, Radiocarbon 28 (2B), p. 980-1021
- □ Thomas, D. S. G, Goudie, A. (2000), *The dictionary of Physical Geography*, Great Britain : Blackwell Publishers Ltd, p.340.
- □ Vita-Finzi, C.(1986), Recent Earth Movements, London: Academic Press.
- C. Vita-Finzi, Evaluating late Quaternary uplift in Greece and Cyprus, in Magmatic Processes and Plate Tectonics, edited by H. M. Prichard, T. Alabaster, N. B. W. Harris and C.R. Neary, Geological Society, London, Special Publications, No.76, 1993, p.417-424.
- D. Wziatek, M. V. Vousdoukas, P. Terefenko, Wave-cut notches along the Algarve coast, S. Portugal: Characteristics and formation mechanisms, Journal of Coastal Research, S I 64 (2011), p. 855-859.

### Διαδίκτυο

- **Ο** Ορθοφωτοχάρτες. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx</u>
- Ο χάρτης της Εύβοιας. Εύρεση στις 24 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.servitoros.gr/map-evia/index.php</u>
- Earthquake dating confused by sea shells. Εύρεση στις 30 Νοεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.sott.net/articles/show/214252-Earthquake-Dating-Confused-by-Sea-Shells</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Χρονολόγηση με 14C. Εύρεση στις 30 Νοεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.c14dating.com/int.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Marine database. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://calib.qub.ac.uk/marine/</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Ελληνική Φυκολογική Εταιρεία. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.phycology.gr/gr/index.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Κατάλογος σεισμών. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.geo.auth.gr/en\_e-teach\_database.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Κατάλογοι σεισμών. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://geophysics.geo.auth.gr/ss/</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

# Βιβλιογραφία Παραρτήματος Α

- Γεωργιάδου Δικαιούλια, Ε., Συμεωνίδης, Ν.Κ., Θεοδώρου, Γ. Ε (2005), Παλαιοντολογία μέρος Α, Αθήνα : Εκδόσεις Γκέλμπεσης, p. 38
- Δερμιτζάκη, Μ. Δ., Θεοδώρου, Γ. Ε.(1994), Γλωσσάριο Γεωλογικών Εννοιών, Αθήνα
   Εκδόσεις Δ. Μαυρομμάτη.
- Ελληνική Φυκολογική Εταιρία (ΕΛ.Φ.Ε.) (2008), Μια βουτιά, μια ματιά στους κήπους του νερού-Γνωρίζοντας τα φύκη, Αθήνα : Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε
- Συρίδης, Γ. Ε. (1996), Σημειώσεις παλαιοντολογίας Ασπονδύλων, Θεσσαλονίκη.
- Ψαριανού, Π. Σ., Μανωλέσσου, Ν. Ι. (1966). Εγχειρίδιον Παλαιοντολογίας, Τόμος Α, Ασπόνδυλα, Αθήνα.
- Amphiroa. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/\_mediafiles/algaebase/5B7BE95A076ca2C0E0PXY2CAB8</u> <u>A2/7h3uBKpBw4Le.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Amphiroa. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus\_id=33227&-</u>

 $\underline{session=abv4:5E420D9D032d42FC2AiQJ3C3D5F5}.$  Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

- Acropora palmata. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.fau.edu/facilities/ehs/info/elkhorn\_staghorn\_corals.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Balanus. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.umpi.maine.edu/~mccartnk/balanus.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Arbacia lixula. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/30/photo-arbacia-lixula-fg16.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Arca noae, Evia Island, Greece.Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : http://www.conchology.be/?t=68&u=243182&g=80b8174b175929daf2b4810984175e 08&q=2aad564dadc033299c7d8d46d08d06f9. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : http://www.google.gr/
- Arenicolides branchialis (Audouin & Milne Edwards, 1833). Εύρεση στις 8 Δεκέμβρη 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/16/photo-arenicolides-branchialis-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Balanophyllia regia. Εύρεση στις 31 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://www.habitas.org.uk/marinelife/photo.asp?item=balreg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Balanus Perforatus. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/24/photo-balanus-perforatus-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **Β**ioherm with Pentacrinus dargniesi. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.fossils.ch/img/s\_25.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Biostrome με Agriopleura darderi. Εύρεση στις 8 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.paleotax.de/rudists/images/agrio-5.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Caryophyllidae. Εύρεση στις 12 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://chaloklum-diving.com/marine-life-koh-phangan/corals-more-cnidaria/hexacorals-zoantharia/hard-corals-scleractinia/bean-corals-caryophyllidae-family/</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Caryophyllidae. Εύρεση στις 31 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://www.suttonreef.co.uk/Coral%20Stock/EuphylliaParancora.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cerithium vulgatum Bruguière, 1792 Mediterranean G\_CERI\_021 Crete 56mm. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.idscaro.net/sci/01\_coll/plates/gastro/pl\_cerithiidae\_1.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Chiton olivaseus. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/14/photo-chiton-olivaceus-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

- Chthamalus. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://seanet.stanford.edu/RockyShore/Barnacles/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Chthamalus montagui πάνω σε μαύρο λειχήνα Verrucaria Maura. Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.marlin.ac.uk/speciesinformation.php?speciesID=4572</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **Chthamalus.** Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://seanet.stanford.edu/RockyShore/Barnacles/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Chthamalus stellatus. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.marlin.ac.uk/speciesinformation.php?speciesID=2982</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Chthamalus depressus. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.biodiversidadvirtual.org/insectarium/Chthamalus-depressus-</u> <u>img31543.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cliona. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα <u>http://www.prionace.it/lespugneperforantinglese.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cliona celata. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα <u>http://www.european-marine-life.org/02/cliona-celata.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cliona schmidti. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα <u>http://www.european-marine-life.org/02/photo-cliona-schmidti-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cliona viridis. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα <u>http://www.european-marine-life.org/02/photo-cliona-viridis-wb04.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **C** Conus marmoreus. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.gastropods.com/1/Shell\_671.shtml</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Conus. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://www.gastropods.com/1/Shell\_671.shtml</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Coralline Rhodophyta πάνω σε γιγάντια αχιβάδα. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.ucmp.berkeley.edu/protista/reds/rhodolh.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cyanobacteria. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.abdn.ac.uk/rhynie/cyano.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cystoseira baccata. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://european-marine-life.org/62/photo-cystoseira-baccata-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Cystoseira tamariscifolia. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://european-marine-life.org/62/photo-cystoseira-tamariscifolia-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

- Dendropoma petraeum. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html . Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Dendropoma petraeum. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.sim-online.it/img/img/401.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Diadema spp. Σε ένα συνδυασμό άσπρων και μαύρων βελόνων. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.divephotoguide.com/user/keealf/gallery/kee-alfian/photo/9593/</u> στις 12 Δεκεμβρίου 2011. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Echinometra viridis. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : http://www.nhm.ac.uk/research-curation/research/projects/echinoiddirectory/taxa/specimen.jsp?id=3356. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : http://www.google.gr/
- **C** Echinometra mathaei. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://eol.org/pages/73315/overview</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Endolithic cyanobacteria. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://people.bu.edu/golubic/marine-cyano.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Endolithic cyanobacteria. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.uni-kl.de/FB-Biologie/Botanik/bsc\_antarktis.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **Γ** Filamentous algae. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://njscuba.net/biology/fw\_fishes\_bottom.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Filamentous algae. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.soton.ac.uk/~imw/jpg-Lymington/8LYM-Crabs-Filamentous-Algae.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Goniolithon papillosum. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://geology.uprm.edu/Morelock/4\_image/cralg1.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Hexaplex trunculus Fasciatus, Saronikos, greece. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.conchology.be/?t=68&u=647128&g=dcfd3f4e3586b66f77af48309fb2d00f</u> <u>&q=14d3fd4dbf7eb7e2058eecc820caa831</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Hyotissa. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στη σελίδα : <u>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=204006</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Hyotissa Hyotis. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.conchology.be/?t=66&family=GRYPHAEIDAE</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Hyotissa Hyotis. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.comunedibova.it/museo/bivalvi.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

- Lithophaga lithophaga. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/14/photo-lithophaga-lithophaga-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Lithophyllum. Εύρεση στις 15 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\_id=915</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Lythophyllum incrustans. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://european-marine-life.org/52/photo-lithophyllum-incrustans-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Myriapora trucata. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=111435</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Myriapora trucata. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.naturamediterraneo.com/Public/data7/stefano%20guerrieri/2%20-</u> <u>%20Myriapora%20truncata%2029-09-05%20DSCF7010.jpg\_2009328112912\_2%20-</u> <u>%20Myriapora%20truncata%2029-09-05%20DSCF7010.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Mytilus edulis. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/14/photo-mytilus-edulis-wb1.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Mytilus edulis. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.animalbase.uni-</u> <u>goettingen.de/zooweb/servlet/AnimalBase/home/picture?id=4376</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Mytilus edulis. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.animalbase.uni-</u> <u>goettingen.de/zooweb/servlet/AnimalBase/home/picture?id=916</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Neogoniolithon. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\_id=2201</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Neogoniolithon. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species\_id=1592</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Neogoniolithon. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.flickr.com/photos/dkeats/6181307925/</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Neogoniolithon brassica-florida (=notarisii). Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.biowin.at/all/Pflanzen/systematik/abteilungen/Rhodophyta/Corallinales/N</u> <u>eogoniolithon/neogoniolithon.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **Ο** Oysters. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.ylmass.edu.hk/~bio/Field%20Trip.htm</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

- Paracentrotus lividus. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.habitas.org.uk/marinelife/photo.asp?item=parliv</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Patella limpet with barnacles. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.thomaslaupstad.com/blog/pictures/limpet\_shell\_barnacles\_800.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Patella Vulgata (common limpet). Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.theseashore.org.uk/theseashore/SpeciesPages/Limpets.jpg.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Petaloconchus glomeratus. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα: <u>http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **D** Petaloconchus varians. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα: <u>http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **Sargassum muticum.** Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://european-marine-life.org/62/photo-sargassum-muticum-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Serpulorbis arenarius, Costa brava, East Spain σε βάθος 5m. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/14/photo-serpulorbis-arenarius-wb01.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **C** Serpulorbis arenarius. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Stenocyathus vermiformus. Εύρεση στις 31 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=135208</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Stenocyathus vermiformis. Εύρεση στις 31 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://eol.org/pages/1006561/overview</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Strombus. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://www.gastropods.com/0/Shell\_1330.shtml</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **C** Strombus gracilior. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.gastropods.com/0/Shell\_1330.shtml</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Tetraclita rubescens. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://seanet.stanford.edu/RockyShore/Barnacles/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Thais haemastoma, Rhodos Island, Greece. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.conchology.be/?t=68&u=168732&g=dcfd3f4e3586b66f77af48309fb2d00f</u> <u>&q=14d3fd4dbf7eb7e2058eecc820caa831</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

- Trottoir a vermets. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://it.wikipedia.org/wiki/File:Trottoir.jpg</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- **Π** Trottoir à vermets. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://it.wikipedia.org/wiki/Trottoir a vermeti</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Vermetus triqueter. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.animalbase.uni-</u> goettingen.de/zooweb/servlet/AnimalBase/list/thumbnails?taxon\_id=16434&include\_s ynonyms=false. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Vermetus triqueter. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Verrucaria Maura. Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.botanicalgarden.ubc.ca/potd/2007/08/verrucaria\_maura.php</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Verrucaria Maura. Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 201, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.societe.org.gg/sections/marine/20060513/index.html 1</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>
- Verrucaria Maura. Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.theseashore.org.uk/theseashore/V.maura%20SRS(US).html</u>. Αναζήτηση στο δικτυακό τόπο : <u>http://www.google.gr/</u>

Παράρτημα Α

# Χαρακτηριστικά είδη της υπερπαλιρροιακής ζώνης

Endolithic Cyanobacteria Ενδολιθικά Κυανοβακτήρ ια	Είναι οργανισμοί που φτιάχνουν αποικίες στο εσωτερικό των βράχων και σε άλλα σκληρά υποστρώματα. Καταλαμβάνουν προϋπάρχουσες ρωγμές και κοιλότητες στα βράχια ή διεισδύουν διαλύοντας ανθρακικά και φωσφορικά υποστρώματα (Ενδολιθικά κυανοβακτήρια. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://people.bu.edu/golubic/marine-cyano.html</u> .) (για κυανοβακτήρια γενικά, βλέπε : Κυανοφύκος στο Χαρακτηριστικά είδη της μεσοπαλιρροιακής Ζώνης) Ενδολιθικά κυανοβακτήρια (η πράσινη περιοχή), σε γρανίτη, μετά την απομάκρυνση τμήματος του πετρώματος. Πηγή : Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.uni-kl.de/FB- Biologie/Botanik/bsc_antarktis.htm</u> .)
Verrucaria Maura Μαύρος Λειχήνας	To είδος αυτό είναι επίσης γνωστό σαν μαύρος λειχήνας. Αποτελεί μια λεπτή μαύρη οριζόντια κρούστα πολύ ευδιάκριτη στις ακτές. Μοιάζει με ένα μαύρο «λεκέ» αλλά είναι ένας ζωντανός οργανισμός πάνω στον οποίο ζουν συνήθως πεταλίδες. (Verrucaria Maura. Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : http://www.theseashore.org.uk/theseashore/V.maura%20SRS(US).html.) Chthamalus montagui πάνω σε μαύρο λειχήνα Verrucaria Maura. Πηγή : Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : http://www.marlin.ac.uk/speciesinformation.php?speciesID=4572. Verrucaria Maura. Πηγή : Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : http://www.botanicalgarden.ubc.ca/potd/2007/08/verrucaria_maura.php . Verrucaria Maura. Πηγή : Εύρεση στις 13 Δεκεμβρίου 201, στην ιστοσελίδα : http://www.botanicalgarden.ubc.ca/potd/2007/08/verrucaria_maura.php .

#### Χαρακτηριστικά είδη του ορίου υπερπαλιρροιακής – μεσοπαλιρροιακής ζώνης



### Χαρακτηριστικά είδη της μεσοπαλιρροιακής Ζώνης



Cyanophytes or cyanobacteria Κυανοβακτήρ ιο ή κυανοφύκος	Τα κυανοφύκη είναι μικροσκοπικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί, προκαρυωτικοί που δεν φέρουν σχηματοποιημένους πυρήνες, χλωροπλάστες και άλλα χαρακτηριστικά οργανίδια ενός ευκαρυωτικού κυττάρου. Το χρώμα τους είναι κυρίως κυανοπράσινο επειδή επικρατεί η χρωστική φυκοκυανίνη. Σήμερα κατατάσσονται στα φωτοσυνθετικά βακτήρια (κυανοβακτήρια) αλλά αναφέρονται συχνά ως κυανοφύκη. Υπάρχουν μονοκύτταρες, αποικιακές, νηματοειδείς μορφές, ακίνητες ή κινητές αλλά χωρίς μαστίγια. Ήταν οι πρώτοι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που αναπτύχθηκαν στην γη (ΕΔΦΕ, 2008).
	Ευκαρυωτικοί οργανισμοί, Βασίλειο : Plantae, Υποβασίλειο : Biliphyta, Διαίρεση : Rhodophyta, Υποδιαίρεση : Eurhodophytina, Τάξη : Florideophyceae, Υποτάξη : Corallinophycidae, Οικογένεια : Corallinaceae, Υποοικογένεια : Lithophylloideae, Γένος : Lithophyllum. (Lithophyllum. Εύρεση στις 15 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=915</u>
Lithophyllum lichenoides Ροδοφύκος	Lythophyllum incrustans. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://european-marine-life.org/52/photo-lithophyllum-incrustans-wb01.php</u>



### Χαρακτηριστικά είδη της Υποπαλιρροιακής Ζώνης





Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Γαστερόποδα (Gastropoda), Τάξη : Πρωσοβράγχια, Υποτάξη : Κτενοβράγχια (Ctenobranchia), Οικογένεια : Vermetidae, Γενος : Dendropoma



Dendropoma petraeum Malta, St. Thomas Bay NMR 37482. Common sze Ø 5.5 mm

Dendropoma

Dendropoma petraeum. Πηγή : Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html</u>

Μαλάκιο



Dendropoma petraeum. Πηγή : Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.sim-online.it/img/401.jpg</u>





Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Ελασματοβράγχια (Lamellibranchiata) ή Δίθυρα (Bivalvia), Τάξη : Δυσόδοντα (Dysodonta), Αντιπρόσωποι : Avicula, Posidonia, Daonella, Aucella, Pecten, Flabellipecten, Chlamys, Amussium, Janira, Hinnites, Mytilus, Modiola, Lithophaga ή Lithodomus, Gervilleia, Isognomon, Inoceranus, Pinna, Ostrea, Gryphaea, Lopha, Exogyra, Lima, Dreissena, Congeria (Ψαριανού&Μανωλέσσου, 1966). Θαλάσσιο δίθυρο με κυλινδρικό όστρακο. Ανοίγουν οπές εντός των πετρωμάτων της ακτής (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).



Lithophaga

Μαλάκιο

Οπές Lithophaga, σε κάποιες από τις οποίες διατηρείται και το δίθυρο Πηγή : Ε.Γεωργιάδου – Δικαιούλια, Ν.Κ. Συμεωνίδης, Γ.ε Θεοδώρου, Παλαιοντολογία μέρος Α, Σελ38



Lithophaga lithophaga. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/14/photo-lithophaga-lithophaga-wb01.php</u>




Το Sargassum ανήκει επίσης στα φαιοφύκη και είναι ένα άλλο χαρακτηριστικό είδος που περιέχει αλγινικά άλατα<sup>·</sup> Θαλλός μορφής θάμνου, σκληρής υφής, μεγάλου μεγέθους. Υπάρχει ένας βασικός άξονας και εναλλάξ εκφύονται πλευρικοί άξονες με σχηματισμούς σαν φύλλα που είναι σχετικά μικρά. Στην Ελλάδα το φύκος είναι αυτό είναι προσκολλημένο σε βράχια και απαντά σε σημεία εκτεθειμένα στο φως. Υπάρχουν και είδη που επιπλέουν στο νερό, όπως αυτά του ατλαντικού που σχηματίζουν εκτεταμένες αναπτύξεις στην επιφάνεια του νερού(θάλασσα Σαργασσών)(ΕΛΦΕ, 2008).



Sargassum

Φαιοφύκος

Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://european-marine-life.org/62/photo-sargassum-muticum-wb01.php</u>



Sargassum.

Πηγή: Μια βουτιά, μια ματιά στους κήπους του νερού-Γνωρίζοντας τα φύκη, Ελληνική Φυκολογική Εταιρία (ΕΛ.Φ.Ε.), Εκδόσεις Σταμούλη Α.Ε, Αθήνα 2008, σελ.31

	Συνομοταξία : Αρθρόποδα(Arthropoda), Ομοταξία : Καρκινοειδή(Crustacean), Υφομοταξία : Εντομόστρακα (Entomostraca), Τάξη : Θυσανόποδα(Cirripedia), Υποτάξη : Thoracica, Οικογένεια : Tetraclitidae Διακρίνεται από τις κοκκινωπές πλάκες ( λευκό σε νεαρά άτομα) διαμέτρου έως 30mm (Tetraclita. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://seanet.stanford.edu/RockyShore/Barnacles/index.html</u> )
Tetraclita Αρθρόποδο	Fetraclita rubescens. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : http://seanet.stanford.edu/RockyShore/Barnacles/index.html
Trottoir à vermets	Το Trottoir à vermets είναι μια παράκτια ανθρακική πλατφόρμα που επεκτείνεται προς τη θάλασσα και έχει σχηματιστεί σαν μια διαδικασία συγκόλλησης ορισμένων ειδών της οικογένειας vermetidae. Είναι μια βιοδομή της Μεσογείου αντίστοιχη με τους κοραλλιογενείς υφάλους. Η ανάπτυξή της οφείλεται στη δράση δυο γαστερόποδων του Dendropoma petraeum και του Vermetus triquetrus. Δημιουργούν πισίνες που επεκτείνουν το διαθέσιμο χώρο για το είδος, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση της βιοποικιλότητας των σχετικών πληθυσμών (Trottoir à vermets. Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://it.wikipedia.org/wiki/Trottoir a vermeti</u> ).

## Χαρακτηριστικά είδη υποπαλιρροιακών πισινών και πάγκων

Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Γαστερόποδα (Gastropoda), Τάξη : Πρωσοβράγχια, Υποτάξη : Κτενοβράγχια (Ctenobranchia), Vermetidae (Ψαριανού & Μανωλέσσου, 1966).



Serpulorbis arenarius, Costa brava, East Spain σε βάθος 5m. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-life.org/14/photo-serpulorbis-arenarius-wb01.php</u>.

Serpulorbis arenarius

Μαλάκιο



Serpulorbis arenarius Spain, Canarias, Fuerteventura NMR 37471. Common size Ø 11 mm

Serpulorbis arenarius. Πηγή : Εύρεση στις 12 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html</u> Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Γαστερόποδα (Gastropoda), Τάξη : Πρωσοβράγχια, Υποτάξη : Κτενοβράγχια (Ctenobranchia), Αντιπρόσωποι : Vermetus (Ψαριανού & Μανωλέσσου, 1966). Όστρακο ακανόνιστο ελιγμένο, σωληνοειδές, σκωληκόμορφο. . Ζει προσκολλημένο σε διάφορα αντικείμενα. Μοιάζει με τον σκώληκα Serpula (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).



## Vermetus triqueter

Μαλάκιο

Vermetus triqueter.

$$\label{eq:linear} \begin{split} \Pi \eta \gamma \dot{\eta} : E \dot{\upsilon} \rho \epsilon \sigma \eta \ \sigma \tau \iota \varsigma \ 9 \ \Delta \epsilon \kappa \epsilon \mu \beta \rho ( \delta \upsilon \ 2011, \ \sigma \tau \eta \nu \ \iota \sigma \tau \sigma \sigma \epsilon \lambda i \delta \alpha : \\ \underline{http://www.animalbase.uni-goettingen.de/zooweb/servlet/AnimalBase/list/thumbnails?taxon \ id=16434 \& include \ synony \\ \underline{ms=false} \end{split}$$



Vermetus triquetrus Spain, Baleares, Formentera NMR 37483. Common size Ø 5,5 mm

 $\label{eq:linear} \begin{array}{l} \mbox{Vermetus triqueter.} \\ \Pi\eta\gamma\dot{\eta}: E \acute{u}\rho\epsilon\sigma\eta\; \mbox{stigma}\; 12\; \Delta\epsilon\kappa\epsilon\mu\beta\rho\acute{u}ov\; 2011,\; \mbox{styv}\; \mbox{istosel}\acute{a}\dot{b}\alpha: \mbox{http://www.nmr-pics.nl/Vermetidae/album/index.html} \end{array}$ 

## Αλλα είδη ή δομές που αναφέρονται στο κείμενο

Ονομασία	περιγραφή			
Amphiroa Ροδοφύκος	Eυκαρυωτικοί οργανισμοί, Βασίλειο : Plantae, Υποβασίλειο : Biliphyta, Διαίρεση : Rhodophyta, Υποδιαίρεση : Eurhodophytina, Τάξη : Florideophyceae, Υποτάξη : Corallinophycidae, Οικογένεια : Corallinaceae, , Υποοικογένεια : Lithophylloideae (Amphiroa. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/genus/detail/?genus id=33227&amp;-</u> session=abv4:5E420D9D032d42FC2AiQI3C3D5F5)			
Acropora palmate Κοιλεντερόζω ο	Συνομοταξία : Κοιλεντερόζωα (Coelenterata), Υποσυνομοταξία : Κνιδόζωα (Cnidaria), Ομοταζία : Ανθόζωα (Anthozoa), Υφομοταζία : Ζωανθάρια (Zoantharia), Τάζη : Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια (Scleractinia), Υποτάξη : Astrocoeniina, Αντιπρόσωποι : Acropora. Φέρουν septa σε εξακτινωτή συμμετρία, τα οποία μπορούν να είναι λίγα ή πολλά αλλά πολλαπλάσια του 6. Εμφανίζονται είτε ως μονήρη είτε αποικιακά, είναι ερματυπικά και μη και ταξινομούνται με βάση τη μορφολογία των septa (Συρίδης, 1996).			

	Συνομοταξία : Σκώληκες (Vermes), Υποσυνομοταξία :					
	Δακτυλιοσκώληκες(Annelida), Αντιπρόσωποι : Serpula, Ditrupa, Spirorbis,					
	Protula, Rotularia, Midkoia, Canadia και Ottoia.					
	Έχουν κατά το πλείστον επιμήκες σώμα, σπάνια πεπιεσμένο και με τομή					
Annelids	κυκλικη. Διακρινουμε το προστομιο, το σωμα και το πυγιδιο. Το μήκος τοι ποικίλει από λίγα χιλιοστά έως 3 μέτρα (Ψαριανού & Μανωλέσσου, 1966).					
Αννελίδες						
<b>A</b>						
Δακτυλιοσκω						
No proces						
	Arenicolides branchialis (Audouin & Milne Edwards, 1833).					
	Πηγή : Εύρεση στις 8 Δεκέμβρη 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-</u>					
	life.org/16/photo-arenicolides-branchialis-wb01.php.					
	Συνομοταξία : Εχινόδερμα (Echinodermata), Ομοταξία : Εχινοειδή					
	(Echinoidea) (Συρίδης, 1996), Υφομοταξία : Euechinoidea, Τάξη : Echinacea,					
	Arbacioida, Γένος : Arbacia					
Arbacia						
Εχινόδερμα	and a second sec					
	www.mer-littoral.org @ Frederic Gulmard					
	Arbacia lixula.					
	Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.european-marine-</u> life.org/30/photo-arbacia-lixula-fg16.php					
	Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Ελασματοβράγχια					
	(Lamellibranchiata) ή Δίθυρα (Bivalvia), Τάξη : Ταξόδοντα, Οικογένεια : Arcidae, Όστοακο ισόθυρο, τετοάπλευρο, που έγει ακτινωτές πτυνές					
	(Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).					
Arca						
Μαλάκιο						
	© 2005 - G. & Ph. Poone					
	Arca noae, Evia Island, Greece.					
	Πηγή : Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : http://www.conchology.be/?t=68&u=243182&g=80b8174b175929daf2b4810984175e08&g=					
	2aad564dadc033299c7d8d46d08d06f9					

Balanophyllia regia Κοιλεντερόζω ο	Συνομοταξία : Κοιλεντερόζωα (Coelenterata), Υποσυνομοταξία : Κνιδόζωα (Cnidaria), Ομοταξία : Ανθόζωα (Anthozoa), Υφομοταζία : Ζωανθάρια (Zoantharia), Τάξη : Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια (Scleractinia), Υποτάξη : Dendrophylliidae, Γένος : Balanophyllia regia
Βεγοzοα Βρυόζωο	Συνομοταξία : Βρυόζωα(Bryozoa), Υποσυνομοταξίες : Ενδόπρωκτα(Entoprocta), Εξώπρωκτα(Ectoprocta). Είναι ζώα μικρά που σχηματίζουν αποικίες μορφής βρύων. Οι πολύποδές τους έχουν σκελετό εντός του οποίου προφυλάσσονται (Ψαριανού & Μανωλέσσου, 1966). Είναι κυρίως θαλάσσια και σπάνια γλυκών και υφάλμυρων υδάτων. Διακρίνονται για τον πολυμορφισμό των ατόμων. Απολιθωμένα είναι γνωστά μόνο τα βρυόζωα με ασβεστολιθικό σκελετό(Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).

Caryophyllida e Κοιλεντερόζω α	Συνομοταξία : Κοιλεντερόζωα (Coelenterata), Υποσυνομοταξία : Κνιδόζωα (Cnidaria), Ομοταξία : Ανθόζωα (Anthozoa), Υφομοταξία : Ζωανθάρια (Zoantharia), Τάξη : Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια (Scleractinia), Υποτάξη : Caryophyllidae (Caryophyllidae. Εύρεση στις 12 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα http://chaloklum-diving.com/marine-life-koh-phangan/corals-more-cnidaria/hexacorals-zoantharia/hard-corals-scleractinia/bean-corals-caryophyllidae-family/) Caryophyllidae. Caryophyllidae. Caryophyllidae. Caryophyllidae. The second s
Cerithium Μαλάκιο	Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Γαστερόποδα (Gastropoda), Οικογένεια : Cerithidae Όστρακο πυργοειδές με σπειροειδή στολισμό (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).Ανάλογα με το είδος ζει είτε στην ανώτερη είτε στην κατώτερη μεσοπαλιρροιακή ζώνη (B. Lavie & E Nevo, 1986). Cerithium vulgatum Bruguière, 1792 Mediterranean G_CERI_021 Crete 56mm. Πηγή : Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : http://www.idscaro.net/sci/01_coll/plates/gastro/pl_cerithiidae_1.htm.
Cladocora Caespitosa Κοράλλιο	Συνομοταξία : Κοιλεντερόζωα (Coelenterata), Υποσυνομοταξία : Κνιδόζωα (Cnidaria), Ομοταξία : Ανθόζωα (Anthozoa), Υφομοταξία : Ζωανθάρια (Zoantharia), Τάξη : Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια (Scleractinia), Υποτάξη : Favina, Οικογένεια : Oculinidae, Αντιπρόσωποι : Cladocora Caespitosa (Cladocora caespitosa. Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα http://www.waza.org/en/zoo/choose-a-species/invertebrates/corals-sea-anemonas-jellyfish- and-relatives-cnidaria/cladocora-caespitosa.).

Συνομοταξία : Σπόγγοι (Porifera), Ομοταξία : Πυριτόσπογγοι (Silicispongiae), Τάξη : Μονακτινελλίδες (Monactinellida), Γένος : Cliona. Χαρακτηρίζονται από τις μη συγκολλημένες μοναξονικές βελόνες ή τις ενωμένες με σπογγίνη. Έχουν την ιδιότητα να διατρυπούν ή να χαράσσουν τους ασβεστολίθους καθώς επίσης και τα όστρακα των μαλακίων (Ψαριανού & Μανωλέσσου, 1966).



Ένα κέλυφος στο οποίο έχει επιτεθεί Cliona. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα http://www.prionace.it/lespugneperforantinglese.htm.



Cliona

Σπόγγος





Cliona schmidti. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα <u>http://www.european-marine-life.org/02/photo-cliona-schmidti-wb01.php</u>



Cliona viridis. Πηγή : Εύρεση στις 9 Δεκεμβρίου 2011, στην ιστοσελίδα <u>http://www.european-marine-life.org/02/photo-cliona-viridis-wb04.php</u>.

	Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Γαστερόποδα (Gastropoda),
	Τάξη : Neogastropoda, Οικογένεια : Conidae coninae (Conus. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα http://www.gastropods.com/1/Shell_671.shtml.)
Conus Μαλάκιο	Γανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>Ντηνή</u> : Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.gastropods.com/1/Shell_671.shtml</u>
Coral	Θαλάσσιος ασπόνδυλος οργανισμός του βυθού ο οποίος ανήκει στην τάξη
	των anthozoa φυλο Coelenterata. Ειναι κοινα σε τροπικες η ευκρατες
Κοράλλιο	αναπτύσσονται είτε ως μονήρη είτε ως αποικίες (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).
Coral reef	Σειρά ασβεστολιθικών βράχων οι οποίοι σχηματίστηκαν κυρίως από
Κοραλλιογενή ς ύφαλος	κοράλλια και μερικώς από φύκη στην επιφάνεια ή κοντά στην επιφάνεια θερμών θαλασσών (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).
Filamentous algae Νηματοειδές φύκος	Τα φύκη είναι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που δεν έχουν βλαστούς, φύλλα, ρίζες όπως τα υπόλοιπα φυτά. Έχουν πρωτόγονη οργάνωση , πολύ απλή στις κατώτερες ταξινομικά ομάδες και πιο πολύπλοκη στις ανώτερες. Από πλευράς μορφολογίας υπάρχει εξαιρετική ποικιλία, μεταξύ των οποίων και η νηματοειδής μορφή (ΕΛΦΕ, 2008)





	Ευκαρυωτικοί οργανισμοί, Βασίλειο : Plantae, Υποβασίλειο : Biliphyta, Διαίρεση : Rhodophyta, Υποδιαίρεση : Eurhodophytina, Τάξη : Florideophyceae, Υποτάξη : Corallinophycidae, Οικογένεια : Corallinaceae, , Γένος : Goniolithon (Neogoniolithon. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα : <u>http://www.algaebase.org/search/species/detail/?species_id=1592</u> .)			
Papillosum Goniolithon Ροδοφύκος	Fuure for the formation of the formatio			
Paracentrotus Εχινόδερμα	Συνομοταξία : Εχινόδερμα (Echinodermata), Ομοταξία : Εχινοειδή (Echinoidea) (Συρίδης, 1996)			
Serpula Σέρπουλα	Συνομοταξία : Σκώληκες (Vermes), Υποσυνομοταξία : Δακτυλιοσκώληκες(Annelida), Αντιπρόσωποι : Serpula, Ditrupa, Spirorbis, Protula, Rotularia, Midkoia, Canadia και Ottoia (Ψαριανού & Μανωλέσσου, 1966). Ζει σε ασβεστολιθικούς σωλήνες τους οποίους δημιουργεί (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994), ή από ανθρακικό ασβέστιο ή από κόκκους άμμου α. Serpula convolute, β. Serpula limax Πηγή : Π.Σ. Ψαριανού, Ν.Ι. Μανωλέσσου, Εγχειρίδιον Παλαιοντολογίας, Τόμος Α, Ασπόνδυλα, Αθήνα 1966, σελ 100			

	Συνομοταξία : Κοιλεντερόζωα (Coelenterata), Υποσυνομοταξία : Κνιδόζωα (Cnidaria), Ομοταξία : Ανθόζωα (Anthozoa), Υφομοταξία : Ζωανθάρια (Zoantharia), Τάξη : Σκληρακτίνια ή Εξακοράλλια (Scleractinia), Υποτάξη : Stenocyathidae, Γένος : Stenocyathus. (Stenocyathus vermiformus. Εύρεση στις 31 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα <u>http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&amp;id=135208</u> )
Stenocyathus Vermiformis Κοιλεντερόζω α	υ υ υ υ υ υ υ υ υ υ υ υ υ υ
Strombus Μαλάκιο	Συνομοταξία : Μαλάκια (Mollusca), Ομοταξία : Γαστερόποδα (Gastropoda), Τάξη : Littorinimorpha, Υποοικογένεια : Stromboidea, Γένος : Strombus (Strombus. Εύρεση στις 30 Ιανουαρίου 2012, στην ιστοσελίδα http://www.gastropods.com/0/Shell 1330.shtml)
Thallus Θαλλός	Υπάρχουν φύκη μικροσκοπικά, αόρατα με γυμνό μάτι, όπως για παράδειγμα αυτά που συμμετέχουν στο φυτοπλαγκτό και αποκαλούνται συλλογικά μικροφύκη. Άλλα είναι ορατά με γυμνό μάτι, αυτό που βλέπουμε το ονομάζουμε Θαλλό, ή και μεγαλύτερων διαστάσεων που φθάνουν αρκετά μέτρα μήκος όπως για παράδειγμα τα μεγάλα Φαιοφύκη που συλλογικά τα αποκαλούμε μακροφύκη (ΕΛΦΕ, 2008).
Vermetid reef Οργανογενή Ύφαλος	Μικρός οργανογενής ύφαλος ο οποίος συνίσταται από ακανονίστως περιελιγμένα σωληνόμορφα ασβεστολιθικά όστρακα τα οποία μοιάζουν με σκώληκες (Δερμιτζάκη & Θεοδώρου, 1994).

Παράρτημα Β











	0	1	2	3
κλιμακα		_	_	









A











