

ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΣΤΙΣ ΑΚΤΕΣ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΕΡΑΤΕΙΝΗΣ/ΤΟΛΟΦΩΝΑ (ΔΥΤ. ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΣ ΚΟΛΠΟΣ) ΛΟΓΩ ΤΟΥ ΣΕΙΣΜΟΥ ΤΩΝ 6.1R ΤΟΥ 1995*

ΠΑΠΑΘΕΟΔΩΡΟΥ, Γ.¹, ΧΑΣΙΩΤΗΣ, Θ.¹, ΤΡΙΨΑΝΑΣ, Ε.² & ΦΕΡΕΝΤΙΝΟΣ, Γ.¹

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σεισμός των 6.1R του 1995 προκάλεσε ένα πλήθος καταστροφικών φαινομένων στο Δυτ. Κορινθιακό κόλπο. Στην παρούσα εργασία εξετάζονται τα κατολισθητικά φαινόμενα που έλαβαν χώρα στην περιοχή Ερατεινής/Τολοφώνα, τα οποία αναπτύσσονται επάνω σε δελταϊκές αποθέσεις και διακρίνονται σε ροές κορημάτων και περιστροφές τεμαχίων. Οι κύριοι μηχανισμοί που έδρασαν ήταν μάλλον η αύξηση των διατημητικών τάσεων, λόγω του σεισμού, κατά μήκος μίας συγκεκριμένης επιφάνειας αλλά και η πιθανή ρυστοποίηση στρώσεων ιζημάτων.

ABSTRACT

On June 15th, 1995 a locally destructive earthquake of magnitude Ms=6.1 on the Richter scale occurred offshore, 7.5km NNE of the town of Aegion in the western Gulf of Corinth (Greece). An offshore survey along the NNW coast of the Gulf of Corinth, using a 3.5kHz subbottom profiling system and a sonar seafloor imaging system has shown that the earthquake caused submarine sediment failures, in at least three sites in the nearshore zone of the Tolofonas fan delta. The sediment failure sites were located within a radius of about 9km from the epicentre. The sediment deformation types identified at the failure sites consist of rotational slides and debris flows.

The rotated blocks sites occupy an area of 1.5×10^5 and $1.7 \times 10^5 \text{m}^2$. The rotated blocks have affected the uppermost 7m of the well layered foreset unit which has a dip between 1A and 4A. The causative mechanism of the block rotational slides is considered to be deformation of the underlying sediments caused by remoulding and/or liquefaction.

The areal size of the debris flow sites are about 38000 and 20000m². The debris flows have affected, in average, the upper 5-6m of the well layered foreset fan delta deposits. The failure planes were all bedding planes having a gradient less than 4A. The main morphological features within the debris flows area are: (i) a head scarp, (ii) a slide plane / evacuation zone where detached sediment blocks are locally detected, (iii) a depositional lobe whose surface is characterized by closely spaced pressure ridges and (iv) a distal area covered by rafted blocks. The debris flows were probably initiated by sliding and remoulding of the translated sediment mass. The sliding could have been caused either as a result of the stress increase acting on the sediments or as a shear strength reduction of the sediments through remoulding and/or liquefaction.

The study of historical documents reveals that sediment failure like those described above have also occurred at least four times during the past 2500 years in the same and nearby locations. Therefore, it is suggested that they could be repeated in the future by any earthquake event with a magnitude greater than 6R, depending upon the proximity of the site to the earthquake epicentre.

KEY WORDS: earthquake hazards, submarine debris flows and rotational blocks, Western Corinth Gulf

* SUBMARINE GRAVITATIVE MASS MOVEMENTS ALONG THE ERATINI/TOLOFONAS BEACH (NW CORINTH GULF) CAUSED BY THE 6.1R EARTHQUAKE IN 1995.

¹ Εργαστήριο Θαλάσσιας Γεωλογίας & Φυσικής Ωκεανογραφίας (Ε.Θ.Γ.Ε.Φ.Ω.), Τμήμα Γεωλογίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, 26110 Ρίο, Πάτρα

² Ψηφιακή Βιβλιοθήκη "Θεόφραστος" - Τμήμα Γεωλογίας, Α.Π.Θ.

² Παρούσα διεύθυνση: Dept. of Oceanography, A&M TEXAS UNIVERSITY.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΤΟΛΙΣΘΗΤΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΤΟΥ ΔΥΤ. ΚΟΡΙΝΘΙΑΚΟΥ

Οι ακτές του δυτικού Κορινθιακού κόλπου έχουν επανειλημμένα πληγεί από κατολισθητικά φαινόμενα στο παρελθόν.

Η πρώτη περιγραφή κατολισθητικών φαινομένων αφορά τις ακτές της Αιγιαλείας, οι οποίες είναι διαμορφωμένες από αποθέσεις αλλοβιακών ριπιδίων, προέρχεται από τους Παιωνία, Ερατοσθένη και Στράβωνα και σχετίζεται με την καταστροφή της Αρκαίας Ελίξης από το σεισμό του 373π.Χ.

Σύμφωνα με τις αναφορές που σώζονται, φαίνεται ότι η αρχαία Ελίξη βυθίστηκε με αργό ρυθμό, περίπου 20m κάτω από τη θάλασσα, λόγω μίας κατολίσθησης που προκλήθηκε από έναν προσεισμό. Ο κύριος σεισμός που επακολούθησε λίγο αργότερα, προκάλεσε ένα παλιρροιακό κύμα που ολοκλήρωσε τις καταστροφές όχι μόνο της Ελίξης αλλά και της ευρύτερης περιοχής (αρχαία πόλη Βούρα).

Οι ακτές της Αιγιαλείας επλήγησαν άλλη μία φορά από κατολισθητικά φαινόμενα κατά το σεισμό των 6.7R του 1861, όταν μία επιμήκης ζώνη γης, μήκους 13km και μέσου εύρους 200m, η οποία εκτεινόταν από τη Τέμενη μέχρι το Διακοφτό καταβυθίστηκε με αργό ρυθμό και μόνο τα δένδρα παρέμειναν πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας.

Το 1965, κατά το σεισμό των 6.5R, κατολισθητικά φαινόμενα εκδηλώθηκαν στην ακτή της Ερατεινής. Σύμφωνα με τον Ambraseys (1967), 1000m² κατά μήκος της παραλίας βυθίστηκαν 6m κάτω από τη στάθμη της θάλασσας. Ως αποτέλεσμα αυτού του γεγονότος και πιθανώς άλλων κατολισθησιών, ένα παλιρροιακό κύμα ύψους 3m κάλυψε την ακτή και πλυμμήρισε το κατώτερο τμήμα της Ερατεινής. Επιπλέον παρατηρήθηκαν φαινόμενα ρευστοποίησης σε θέσεις γύρω από την ακτή. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι, σύμφωνα με πληροφορίες των ψαράδων της περιοχής, οι έντονες βροχοπτώσεις του 1955 και 1962 προκάλεσαν μεταβολές των βαθών οι οποίες έφταναν τα 14m (σύμφωνα με τη σύγκριση βυθομετρικών τομών του 1936 και 1965).

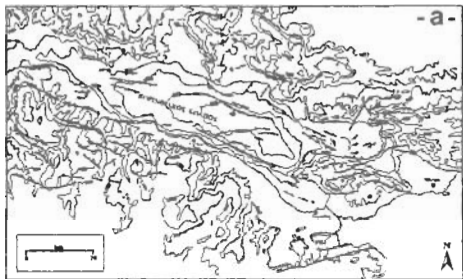
Το 1995 κατά το σεισμό των 6.1R στο Αίγιο, οι ακτές του Δυτ. Κορινθιακού κόλπου επλήγησαν για άλλη μία φορά από κατολισθήσεις στις περιοχές: (α) του υποθαλάσσιου δέλτα του Μεγαλίτη στο Αίγιο και (β) των δελταϊκών αποθέσεων του ποταμού Σελινούντα και Κερανίτη, στα Νικολέικα. Τα φαινόμενα τα οποία έλαβαν χώρα σχετίζονταν με ροές κορημάτων, περιτοροφικές ολισθήσεις τεμαχίων ιζημάτων και σύνθετες ολισθήσεις με επιπτεύσεις τεμαχίων και πτυχωσεις στον πόδα των ολισθησιών (Paratheodorou and Ferentinis, 1997). Το πάχος των ιζημάτων που αποκολλήθηκε και μετακινήθηκε ήταν της τάξης των 5-8m, ενώ οι επιφάνειες ολίσθησης είχαν κλίσεις από 1 έως και 21°.

Το κατολισθητικό φαινόμενο όμως το οποίο προκάλεσε τις μεγαλύτερες καταστροφές στην παράκτια ζώνη του δυτικού Κορινθιακού κόλπου, προκλήθηκε ύστερα από έντονες βροχοπτώσεις. Το Φεβρουάριο του 1963, ένα μεγάλο τμήμα του δέλτα του Ερινέου ποταμού (Καμάρες), αποκολλήθηκε και προκάλεσε ένα παλιρροιακό κύμα το οποίο εισέβαλε μέσα στη στεριά κατά 50 έως 100m (Γαλανόπουλος, κ.α., 1964). Η κατολίσθηση αυτή αποδόθηκε στις έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες προκάλεσαν άνοδο της στάθμης του υδροφόρου ορίζοντα και στη συνέχεια της πίεσης του νερού των πόρων των ιζημάτων, καθώς καμία σεισμική δραστηριότητα δεν καταγράφηκε πριν ή κατά τη διάρκεια της κατολίσθησης.

Λόγω των συχνών καταστροφικών φαινομένων που, όπως έχει διαπιστωθεί, εκδηλώνονται στις παράκτιες περιοχές του δυτικού Κορινθιακού κόλπου μετά από ισχυρούς σεισμούς, η τεχνική εταιρεία Α.Δ.Κ. Σύμβουλοι Μηχανικοί Α.Ε., στα πλαίσια σχετικής μελέτης που ανέλαβε από το Υ.ΠΕ.ΧΩ.Δ.Ε., ανέθεσε στο Ε.Θ.Α.Γ.Ε.Φ.Ω. την εκπόνηση μίας θαλάσσιας γεωφυσικής έρευνας κατά μήκος των αλλοιούμενων ακτών Ερατεινής - Τολοφώνα με σκοπό τον εντοπισμό και χαρτογράφηση πιθανών παράκτιων κατολισθητικών φαινομένων που πυροδοτήθηκαν από το σεισμό του Αιγίου (6.1R) το 1995. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την προαναφερθείσα έρευνα.

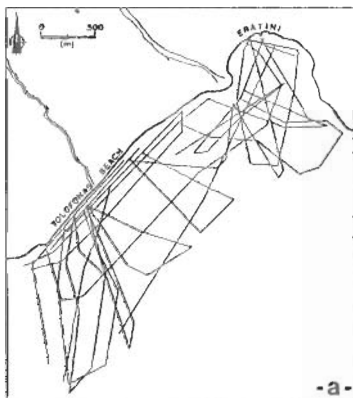
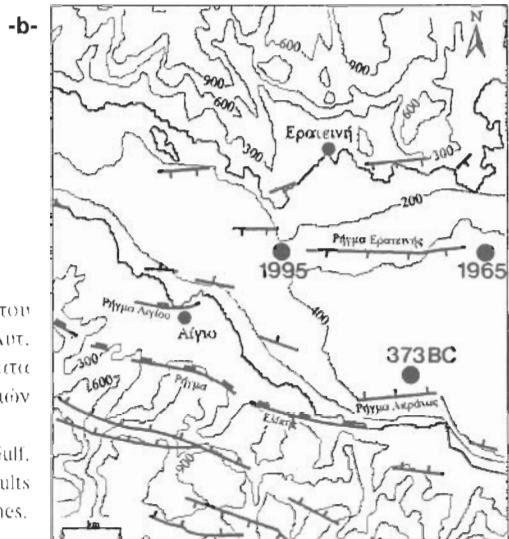
2. ΓΕΩΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΕΙΣΜΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

Ο Κορινθιακός κόλπος είναι μία επιμήκης ημίλειστη θαλάσσια λεκάνη, μήκους περίπου 100km, μέσου εύρους 20km και μέγιστου βάθους περίπου 850m. Ο κόλπος, από γεωλογικής πλευράς, αποτελεί μία “εν εξέλιξη” (ενεογή) τεκτονική τάφρο, ΛΒΑ-ΑΝΑ διεύθυνσης (Εικ. 1a) της οποίας οι πλευρές οριοθετούνται από μία σειρά επάλληλων (en-echelon) ενεογών ρηγμάτων ΔΒΔ-ΑΝΑ διεύθυνσης. Στο δυτικό Κορινθιακό κόλπο τα πιο γνωστά από αυτά είναι (Εικ. 1b) τα ρήγματα της Ελίξης, της Ερατεινής και του Αγίου, η δραστηριοποίησή των οποίων είχε ως αποτέλεσμα τους σεισμούς, αντίστοιχα, των 6.7R το 1861, των 6.5R το 1965 και των 6.1R του 1995.



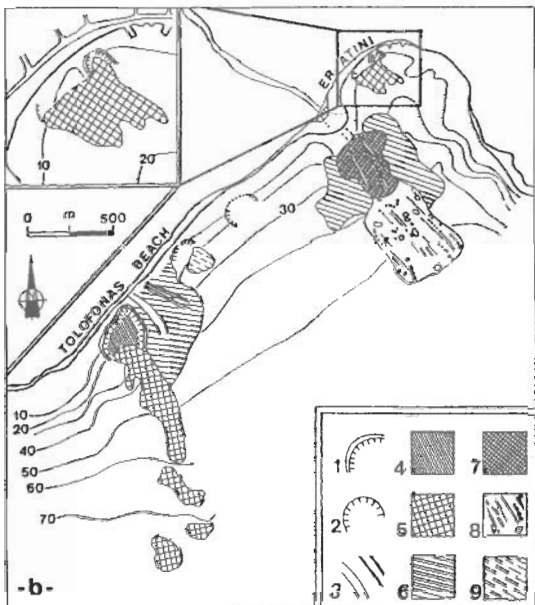
Εικ. 1: (a) Τεκτονικός και βυθομετρικός χάρτης του Κορινθιακού κόλπου. (b) Τεκτονικός χάρτης του Λιμ. Κορινθιακού κόλπου στον οποίο φαίνονται τα κύρια ρήγματα της περιοχής και τα επίκεντρα των σημαντικότερων σεισμών κατά τους ιστορικούς χρόνους.

Fig. 1: (a) Tectonic and bathymetric map of the Corinth Gulf. (b) Tectonic map of the W. Corinth Gulf showing the major faults and the epicenters of the main earthquakes during historic times.



Εικ. 2: (a) Χάρτης στον οποίο φαίνονται οι πορείες γεωφυσικής διασκόπησης. (b) Χάρτης γεωλογικών επικινδυνότητων. 1: μέτωπο κεφαλής, 2: θαμμένο μέτωπο κεφαλής, 3: κανάλια, αυλάκια, 4: επιφάντια ολίσθησης / ζώνη εκκένωσης, 5: απόθεση ροής κορμιμάτων, 6: περιστροφόμενα τεμάχια ιζημάτων, 7: περιοχή διάβρωσης λόγω υψηλών πυκνότητας, 8: περιοχή αποθεσιών ροών κορμιμάτων για οριζόντιων πυκνότητας και 9: θαμμένες αποθέσεις ροών κορμιμάτων.

Fig. 2: (a) Map showing the marine geophysical survey lines. (b) Offshore geological hazards map. 1: head scarp, 2: buried scarp, 3: channels, chutes, 4: slide plane/evacuation zone, 5: debris flow deposit, 6: rotated sediment blocks, 7: erosional area due to high density currents, 8: debris flow and density currents depositional area and 9: buried debris flow deposits.



Το ρήγμα της Ελίξης είναι επίσης κατά πάσα πιθανότητα υπεύθυνο για τον πολύ ισχυρό σεισμό των 7.3R το 373π.Χ., ο οποίος κατέστρεψε την πόλη της Ελίξης.

Ο Δυτικός Κορινθιακός χαρακτηρίζεται γενικά από έντονη σεισμικότητα (Parazachos and Compnakis, 1982). Είναι χαρακτηριστικό ότι από το 1900 μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί 44 σειμοί μεγέθους μεγαλύτερου από 4.5R.

Τα ρήγματα της ευρύτερης περιοχής, όπως προκύπτει από εμπειρικούς τύπους μπορεί να δώσουν σειμούς μεγέθους 5.0 έως 6.7R (Doutsos and Poulimepos, 1992).

Η αερογραμμή Ερατεινής - Τολοφώνα είναι διαμορφωμένη πάνω σε ένα αλλουβιακό ριπίδιο το οποίο έχει σχηματιστεί εντός μίας ΒΒΔ-ΝΝΑ κοιλάδας, οι πλαγιές της οποίας συνίστανται από Ηοκκαινικό φλύσχη.

Το αλλουβιακό ριπίδιο έχει δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια του Τεταρτογενούς και διασχίζεται από 3 χειμάωρους. Ο κυριότερος από αυτούς είναι ο χειμάωρος που εκβάλλει δυτικά της Ερατεινής (χειμ. Ερατεινής) και ο χειμάωρος που εκβάλλει ανατολικά της Αγ. Παρασκευής (χειμ. Τολοφώνα). Σήμερα κατόπιν ανθρώπινης παρέμβασης μόνο ο χειμάωρος της Ερατεινής είναι ενεργός. Ο χειμάωρος του Τολοφώνα έχει αποκοπεί από τις πηγές τροφοδοσίας του.

3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΡΕΥΝΑΣ

Η έρευνα εκτελέστηκε σε δύο φάσεις. Η πρώτη πραγματοποιήθηκε 15 ημέρες μετά το σεισμό των 6.1R (15/6/1995) με στόχο την αποτύπωση των θαλάσσιων κατολισθητικών φαινομένων στις περιοχές του Αγίου, της παραλίας των Νικολέζων και της Ερατεινής. Η δεύτερη εκτελέστηκε τον Ιούνιο του 1997 και επικεντρώθηκε στην περιοχή Ερατεινής/Τολοφώνα. Κατά τη διάρκεια της πρώτης φάσης ερευνητών χρησιμοποιήθηκε τομογράφος υποδομής πυθμένα τύπου 3.5kHz (O.R.E.) και υποβυθίω κατευθυνόμενο όχημα τύπου BENTHOS MKII, ενώ κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης χρησιμοποιήθηκε τομογράφος τύπου 3.5kHz (O.R.E.) καθώς και ηχοβολιστής πλευρικής σάρωσης (side scan sonar) τύπου E.G.&G. Για τον προσδιορισμό της θέσης και την πλοήγηση του σκάφους χρησιμοποιήθηκε δορυφορικό σύστημα προσδιορισμού (G.P.S.) τύπου MAGNAVOX MX200, η ακρίβεια του οποίου ήταν της τάξης των 30-50m (Ειγ. 2α).

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΖΗΤΗΣΗ

ΒΥΘΟΜΕΤΡΙΑ: Η βυθομετρία της περιοχής έρευνας, δείχνει ότι η αιγιαλίτης ζώνη διακρίνεται σε τρεις μορφολογικές ενότητες: (α) την ανάβαθη ζώνη, (β) το προανές και (γ) την κρηπίδα.

Η ανάβαθη ζώνη εκτείνεται από την αερογραμμή μέχρι την ισοβαθή των 5-6m, έχει μικρό εύρος (έως 110m), ομαλό ανάγλυφο και πολύ μικρές κλίσεις (4.5<%), όταν παρουσιάζει τη μέγιστη ανάπτυξη της.

Το προανές εκτείνεται από την ισοβαθή των 5-6m μέχρι την ισοβαθή των 17-18m και χαρακτηρίζεται από μία μέση κλίση της τάξης του 10%. Σε ορισμένες θέσεις οι κλίσεις είναι αρκετά μεγάλες, με τιμή περίπου 20%.

Η ενότητα της κρηπίδας η οποία εκτείνεται πέρα από την ισοβαθή των 18m χαρακτηρίζεται από ομαλό ανάγλυφο και μικρές κλίσεις.

Στην εκβολή του χειμ. Ερατεινής έχει αναπτυχθεί ένα δέλτα, το οποίο εκτείνεται και υποθαλασσίως. Στην εκβολή του χειμ. Τολοφώνα δεν υπάρχει διαμορφωμένο δέλτα στην αερογραμμή αλλά η γεωφυσική έρευνα έδειξε την παρουσία υποθαλάσσιου δέλτα γεγονός που δηλώνει ότι οι επιφανειακές αποθέσεις του δέλτα έχουν διαβρωθεί από τότε που ο χειμάωρος σταμάτησε να μεταφέρει υλικό.

ΓΕΩΛΟΓΙΚΕΣ ΕΠΙΚΙΝΔΥΝΟΤΗΤΕΣ: Η θαλάσσια γεωφυσική διασκόπηση κατά μήκος των ακτών της περιοχής Ερατεινής/Τολοφώνα έδειξε την ύπαρξη κατολισθητικών φαινομένων, τα οποία προκάλεσε ο σεισμός των 6.1R της 15/6/1995. Τα κατολισθητικά φαινόμενα, τα οποία επηρέασαν μόνο τα χαλαρά ιζήματα (επιφανειακά 10m), διακρίνονται σε ροές κορημάτων (debris flows) και σε περιστροφές τεμαχών (rotational blocks). Τα αβαντίστα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν στις

τομογραφίες και στις ηχογραφίες είναι διαγνωστικά και τυπικά του είδους της βαρυτικής μετακίνησης που έλαβε χώρα (Prior et. al., 1984).

Ροές κορημάτων εντοπίστηκαν σε τρεις περιοχές: (i) στις εκβολές του χειμάρρου Τολοφώνα (ii) στην παροαλία της Ερατεινής και (iii) στις εκβολές του χειμάρρου Ερατεινής (Εικ. 2b). Περιστροφές τεμαχίων εντοπίστηκαν στην ευρύτερη περιοχή των δελταϊκών αποθέσεων των προαναφερθέντων χειμάρρων (Εικ. 2b).

(i) Στις εκβολές του χειμ. Τολοφώνα, σε βάθος νερού 5m, όπου αρχίζει η μορφολογική ενότητα του προαυούς, η ροή κορημάτων επηρέασε το δυτικό τμήμα των υποθαλάσσιων δελταϊκών αποθέσεων του χειμάρρου. Η ροή κορημάτων έχει επίμηκες σχήμα και η μορφολογία της διακρίνεται σε: (α) μέτωπο κεφαλής, (β) επιφάνεια ολίσθησης/ζώνη εκκένωσης και (γ) λοβό απόθεσης.

Το μέτωπο κεφαλής διακρίνεται από τον απότομο τετραγωνισμό των σεισμικών ανακλάσεων στις τομογραφίες και αναπτύσσεται στο όριο μετάβασης της ζώνης των αβαθών υδάτων στη ζώνη του προαυούς. Το πάχος των χαλαρών ιζημάτων που αποκολλήθηκαν κυμαίνεται από 7.5 έως 2.5m στο ανατολικό και δυτικό τμήμα του μετώπου αντίστοιχα. Τοπικά διαπιστώθηκε ότι τα πλευρικά μέτωπα είναι ασταθή και καταρρέουν. Η επιφάνεια ολίσθησης αναπτύσσεται κατά μήκος μίας διεπιφάνειας μέσα στα χαλαρά ιζήματα (Εικ. 3c,d), έχει μία κλίση τουλάχιστον 9% και η έκτασή της είναι περίπου 38000m² (Εικ. 3a,c). Το σχήμα της επιφάνειας της ζώνης εκκένωσης ταυτίζεται περίπου με ένα ασύμμετρο τραπεζίο, η μικρού μήκους πλευρά του οποίου σχετίζεται με το δυτικό πλευρικό μέτωπο, ύψους 2.5m, ενώ η μεγάλη πλευρά με το ανατολικό μέτωπο (ύψους 7.5m). Στις σεισμικές καταγραφές παρατηρήθηκαν επίσης εναπομείναντα τεμάχια ιζημάτων να κείνται επάνω στη ζώνη εκκένωσης.

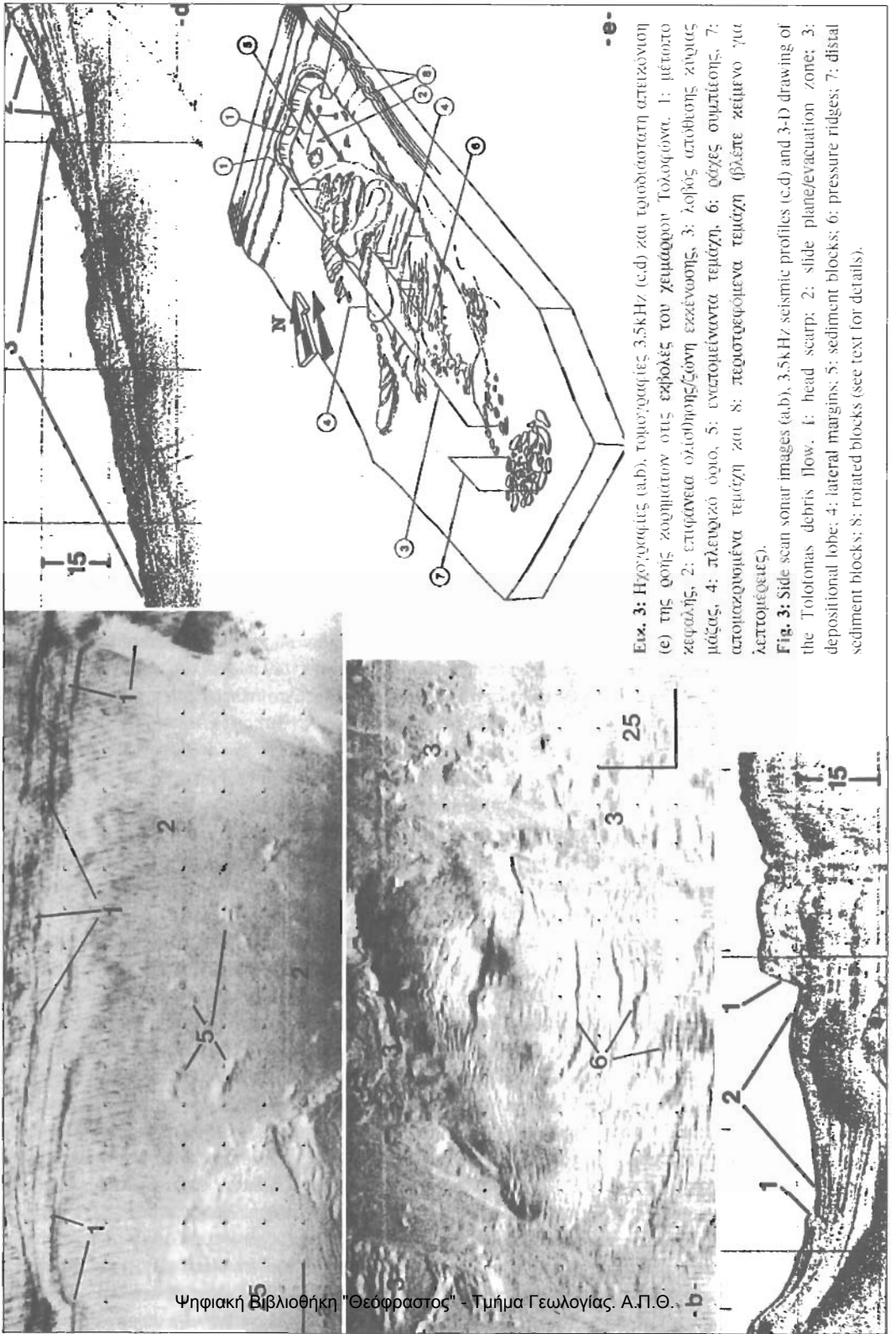
Κάτω από την επιφάνεια ολίσθησης διαπιστώθηκε μία περιοχή η οποία αζουστικά παρουσιάζεται σεισμογονιασμένη λόγω της παρουσίας αέριων υδρογονανθράκων ή/και χοντροκόκκου ιλύιου (π.χ. κοκοάλες). Η πιθανή παρουσία και η ανοδική κίνηση των αέριων υδρογονανθράκων διαμέσου των πόρων των ιζημάτων είναι δυνατό να αυξήσει την πίεση του νερού των πόρων και άρα να ελαττώσει σημαντικά τη διατμητική αντοχή των ιζημάτων (Whelan et al, 1975). Οι συνθήκες αυτές είναι δυνατό να επιταχυνθούν με την επιβολή εξωτερικών φορτίων (π.χ. σεισμών).

Η κύρια μάζα (λοβός) απόθεσης της ροής κορημάτων παρουσιάζει ένα κυματοειδές /λοφοειδές ανάγλυφο στις τομογραφίες, με εμφάνιση, τοπικά, υπερβολικών ανακλάσεων, ημιδιαφανή έως χαώδη αζουστικό χαρακτήρα και φαίνεται ν' αποσφηνώνεται προς τα κατόντι (Εικ. 3d). Η σύνθετη μορφολογία του λοβού που διαπιστώθηκε στις σεισμικές καταγραφές είναι αποτέλεσμα των διεργασιών που έδρασαν κατά τη μεταφορά και απόθεση του. Συγκεκριμένα ο λοβός διακρίνεται στο άνω τμήμα όπου έλαβε χώρα η απόθεση της κύριας μάζας και εμφανίζει έντονο/τραχύ ανάγλυφο και στον πόδα ο οποίος παρουσιάζει πολύ χαμηλό (σχεδόν ομαλό) ανάγλυφο.

Η μη συνέχεια της επιφάνειας ολίσθησης κάτω από την κύρια μάζα απόθεσης, στις τομογραφίες, και ο εντοπισμός άλλων σεισμικών ανακλάσεων, οι οποίοι σαφώς ανήκουν σε κατώτερες ιζηματογενείς σειρές, δηλώνουν ότι η απόθεση της κύριας μάζας οικοδομήθηκε από αποκολληθέντα ιζήματα τα οποία κατά τη μεταφορά τους διέβρωσαν τα υποκείμενα υγιή ιζήματα. Σε αντίθεση, οι αποθέσεις στον πόδα της ροής δε διέβρωσαν τα ιζήματα του πυθμένα αλλά αποτέθηκαν επάνω σ' αυτά.

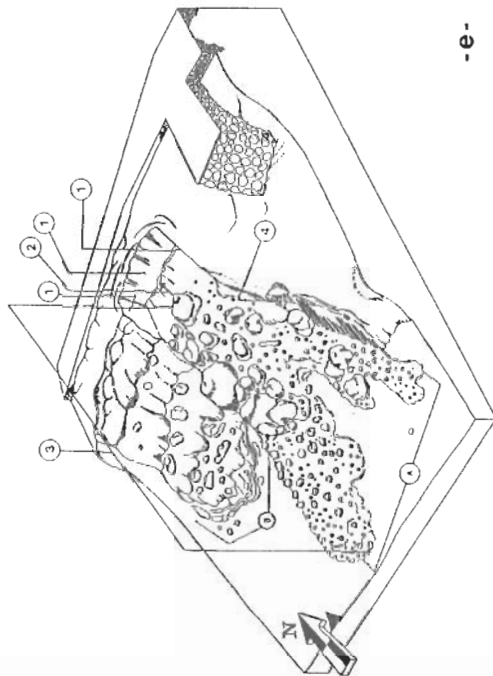
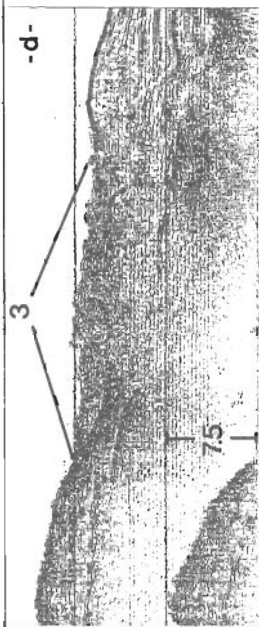
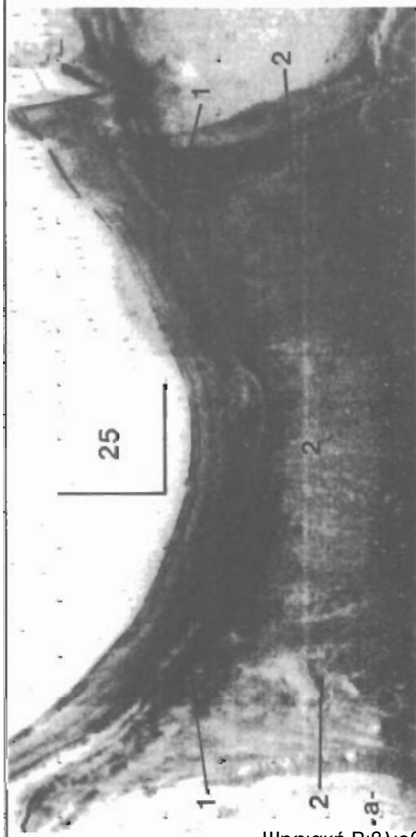
Επιπλέον διαπιστώθηκε η παρουσία περιοχών, αρκετά μακρύτερα από τον πόδα του λοβού, όπου έλαβε χώρα απόθεση μεμονωμένων τεμαχίων. Τα τεμάχια αυτά φαίνεται ότι αποκολλήθηκαν και απομακρύνθηκαν από τον πόδα της ροής και αποτέθηκαν επάνω στα σύγχρονα ιζήματα. Τέτοιες περιοχές βρέθηκαν σε απόσταση έως και 1500m από το μέτωπο της κεφαλής, σε βάθη μεγαλύτερα από 70m και έχουν έκταση ακόμη και 30000m². Μεμονωμένα τεμάχια ιζημάτων είναι δυνατό να έχουν μεταφερθεί ακόμα μακρύτερα, προς τα κατόντι, έξω από τα όρια της υπό μελέτη περιοχής.

Η κύρια μάζα απόθεσης χαρακτηρίζεται επίσης από δομές παραμόρφωσης, οι οποίες συνίστανται από επιμήκεις και παράλληλες ράχες, κάθετες ή σχεδόν κάθετες προς την διεύθυνση της ροής. Οι δομές αυτές δημιουργούνται λόγω της απότομης επιβράδυνσης της ροής η οποία είναι δυνατό να οφείλεται σε δυνάμεις τριβής που αναπτύσσονται μεταξύ των αποκολληθέντων και των υγιών ιζημάτων, κατά τη



Εικ. 3: Ηχογραφήες (a,b), τομογραφίες 3.5kHz (c,d) και τρισδιάστατη απεικόνιση (e) της ροής ζορημάτων στις εκβολές του χειμάρρου Τολοθώνα. 1: μέτωπο κεφαλής, 2: επιφανεια ολίσθησης/ζώνη εκκένωσης, 3: λοβός αποθήκευσης αβύθας μάζας, 4: πλευρικό όριο, 5: εντατοιμένα τεμάχια, 6: ρόχλες συμπίεσης, 7: απομακρυνόμενα τεμάχια και 8: περιστρεφόμενα τεμάχια (βλέπε κείμενο για λεπτομέρειες).

Fig. 3: Side scan sonar images (a,b), 3.5kHz seismic profiles (c,d) and 3-D drawing of the Tolothonas debris flow. 1: head scarp; 2: slide plane/evacuation zone; 3: depositional lobe; 4: lateral margins; 5: sediment blocks; 6: pressure ridges; 7: distal sediment blocks; 8: rotated blocks (see text for details).



Εικ. 4: Ηχογραφής (a,b), τομογραφίες 3.5kHz (c,d) και τριδιάστατη οπτικοποίηση (ε) της όψης κορυφαίων στην περιοχή της Ερατινής. 1: μέτωπο κεφαλόης; 2: επιφάνεια ολόθρονης/πλάγια εκκένωσης; 3: λαβός απόθρονης ζώνης; 4: πλευρικό όριο. Α: ροή λόγω του σεισμού του 1995; Β: ροή λόγω του σεισμού του 1965 (βλ. κείμενο για λεπτομέρειες).

Fig. 4: Side scan sonar images (a,b), 3.5kHz seismic profiles (c,d) and 3-D drawing of the Eratini beach debris flow. 1: head scarp; 2: slide plane/evacuation zone; 3: depositional lobes; 4: lateral margins; A: 1995 debris flow; B: 1965 debris flow (see text for details).

διάγνωση της προς τα κατάντι κίνησης των πρώτων (Prior et al, 1984). Οι ράγες αναπτύσσονται κυρίως στο κεντρικό τμήμα της απόθεσης (κύρια μάζα λοβού) στις περιοχές όπου η ροή έχει συμπεριλάβει και υψηλά ιζημένα του πυθμένα.

Τα πλευρικά περιθώρια του λοβού απόθεσης είναι σαφή κυρίως στο ανατολικό του τμήμα, ενώ προς τα δυτικά παρατηρούνται περιοχές όπου οι αποθέσεις της ροής είτε αποκόπτονται από την κύρια μάζα και ολισθαίνουν πάνω στα παρακείμενα αδιατάρακτα ιζημένα, είτε δημιουργούν δακτυλιόμορφες αποθέσεις (στο ανώτερο τμήμα της απόθεσης) οι οποίες χαρακτηρίζονται από δομής παραμόρφωσης (επιμήξεις και παράλληλες ράγες). Ο λοβός απόθεσης φαίνεται ότι έχει μία γενική τάση αποσύνθεσης σε ΝΝΔ διεύθυνση.

(ii) Στην παρoλία της Ερτεινής σε βάθος περίπου 6m, στην περιοχή όπου σχιζίζει η μορφολογική ενότητα του προανός, τα χαλαρά ιζημένα μεταφέρθηκαν υπό μορφή ροής κορημάτων προς τα κατάντι (Ειζ. 4). Η ροή κορημάτων, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, παρουσιάζει σχεδόν τα ίδια αζονοτικά χαρακτηριστικά και διακρίνεται (α) στο μέτωπο κεφαλής, (β) στην επιφάνεια ολίθωσης/ζώνη εκκένωσης και (γ) στο λοβό απόθεσης. Το μέτωπο κεφαλής βρίσκεται πολύ κοντά στην ατογραφική και τα πλευρικά του περιθώρια, τοπικά, φαίνεται ότι αποσυντίθενται. Η έντονη αναπλαστικότητα (σχοροδόχρωμη καταγραφή) της ζώνης εκκένωσης στις ηχογραμμές (Ειζ. 4a), οφείλεται στην αποζάλιση είτε συμπυκνωτημένων ιζημάτων είτε στην παρουσία χοντροκόκκου υλικού το οποίο αποκαλύφθηκε μετά την ατομάζωση των επιφανειακών χαλαρών υλικών. Η επιφάνεια ολίθωσης έχει εμβαδό περίπου 3600m² και το μέσο πάχος των χαλαρών ιζημάτων που μεταφέρθηκε είναι 1.5-2m. Ο όγκος της ροής κορημάτων υπολογίζεται περίπου σε 5400m³.

Η μελέτη των σεισμικών καταγραφών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι η απόθεση της ροής κορημάτων προέχοντα μάλλον από δύο επιμέρους ροές. Η πρώτη (δυτική σκέλος) μάλλον προκλήθηκε από το σεισμό των 6.5R του 1965 (Ambraseys, 1967) και η δεύτερη (ανατολικό σκέλος) από τον πρόσφατο σεισμό του 1995. Τα κύρια διαγνωστικά στοιχεία τα οποία οδηγούν στη διάκριση των ροών είναι: (α) Το ομαλό ανάγλυφο της πρώτης σε σχέση με το τραχύ/λοφοειδές της δεύτερης, χαρακτηριστικά που εντοπίστηκαν στις τομογραφίες αλλά και στις ηχογραφίες. Στις ηχογραφίες είναι εντυπωσιακή η μεταβολή της αναπλαστικότητας μεταξύ των δύο περιοχών. Η παλαιά (δυτική απόθεση) έχει πολύ μικρότερη αναπλαστικότητα και πιο ομαλή μορφολογία σε σχέση με τη νέα (ανατολική) απόθεση, η οποία είναι κατάστικτη από εναλλαγές έντονης αναπλαστικότητας και ηχητικών σιμών (Ειζ. 4a,b). Το γεγονός αυτό οφείλεται μάλλον στη διαφωτική δράση των κινήσεων τα οποία ομαλοποίησαν το ανάγλυφο της απόθεσης, η οποία είχε αποθεθεί άλλωστε σε περιβάλλον ρηχών νερών. Αντίθετα η σύγχρονη απόθεση δεν έχει ομαλοποιηθεί από τη δράση τους λόγω του μικρού χρόνου από το σχηματισμό της. (β) Το γεγονός ότι δεν εντοπίστηκε στις τομογραφίες ένα ευρύ μέτωπο κεφαλής της αποζάλισης ανάντι του δυτικού τμήματος της απόθεσης απ' όπου θα μπορούσε να προέχεται όλος ο όγκος απόθεσης της κύριας μάζας. Αντίθετα, διαπιστώθηκε η ύπαρξη ενός σαφούς μετώπου, ανάντι του ανατολικού τμήματος της απόθεσης (Ειζ. 4c), το οποίο προκάλεσε καταβύθιση μικρού τμήματος (μερικών μέτρων) της αετής αμέσως μετά το σεισμό της 15/6/1995. (γ) Η επαφή και η απόληξη προς τα κατάντι των αποθέσεων των δύο ροών φανερώνουν ένα σαφή διαχωρισμό (Ειζ. 4b,c).

(iii) Στις εκβολές του χειμάρρου της Ερτεινής και σε αποστάσεις από 500 έως 1000m από το υποθαλάσσιο δέλτα του χειμάρρου, η ανάλυση των τομογραφιών και των ηχογραφιών (Ειζ. 5) δείχνει την ύπαρξη αυτοτελών μαζών χαλαρών ιζημάτων να κείται στην επιφάνεια του πυθμένα. Η απόθεση έχει επιμήξεις σχήμα, έκτασης περίπου 200000m² και συνίσταται από τεμάχια μεγέθους από 75 έως 500m² και μέσου πάχους 1.5m. Οι αποθέσεις αυτές πρέπει να είναι αποτέλεσμα μίας ή περισσότερων ροών κορημάτων που προκλήθηκαν στο παρελθόν και επηρέασαν το υποθαλάσσιο δέλτα του χειμάρρου. Τομογραφίες και ηχογραφίες οι οποίες συλλέχθηκαν στην περιοχή του υποθαλάσσιου δέλτα δεν έδειξαν την ύπαρξη εκτεταμένου μετώπου κεφαλής ή ζώνης εκκένωσης που να δικαιολογεί τον όγκο των προς τα κατάντι αποθέσεων. Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι το κενό που αφήνουν οι ροές κορημάτων στην περιοχή της κεφαλής, πληρώνεται σχεδόν αμέσως από τις φρενές ύλες του χειμάρρου. Οι αυτοτελείς μάζες, όπως φαίνεται στις ηχογραφίες (Ειζ. 5), σχηματίζονται με τη δημιουργία

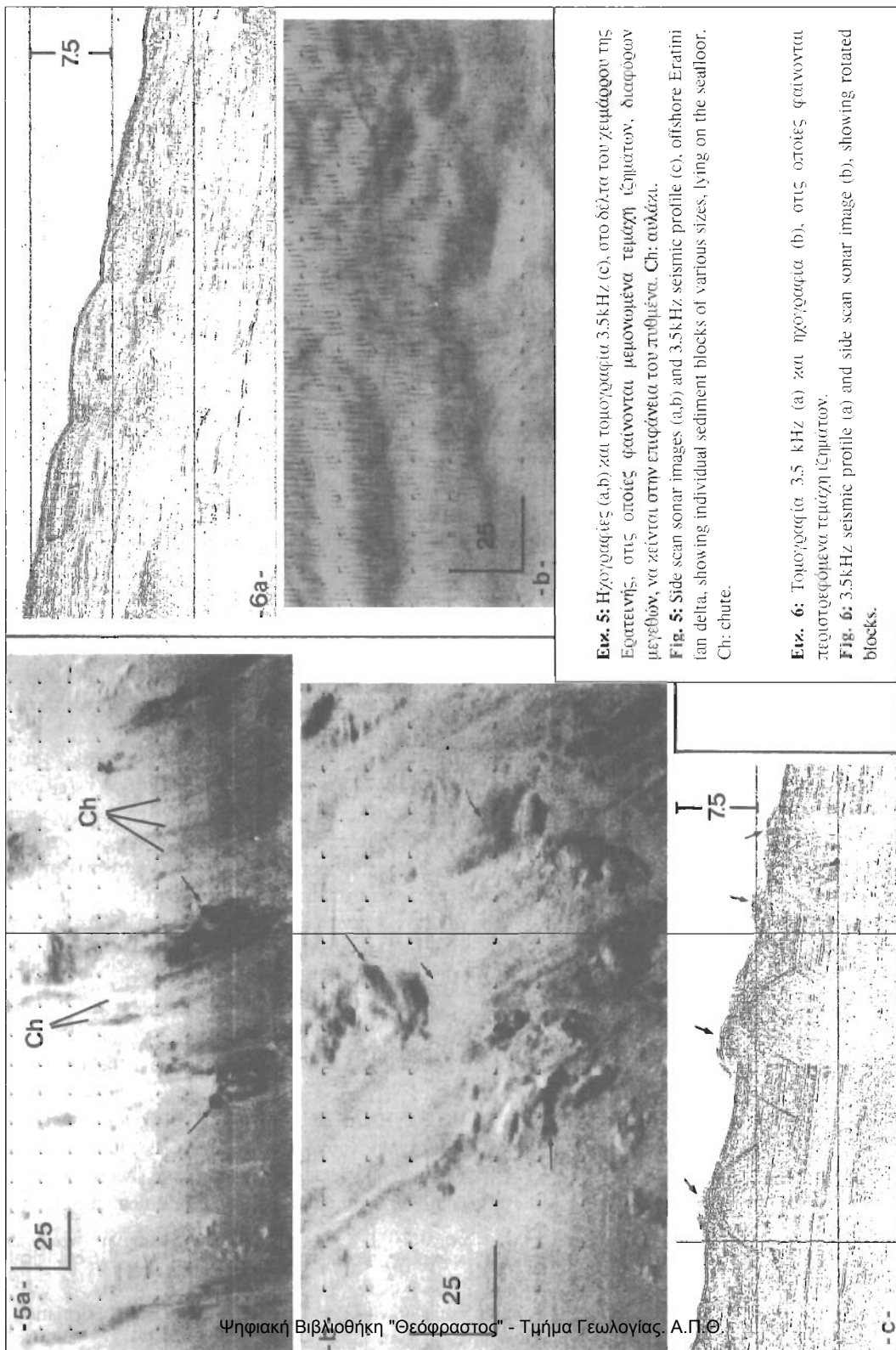


Fig. 5: Ηχογραφήες (a,b) και τομογραφία 3.5kHz (c), στο δέλτα του χερσαίου της Ερατινής, στις οποίες φάνονται μεμονωμένα τεμάχια ιζημάτων, διαφόρων μεγεθών, να ζείνται στην επιφάνεια του πυθμένα. Ch: ανάβαση.

Fig. 5: Side scan sonar images (a,b) and 3.5kHz seismic profile (c), offshore Eratimi fan delta, showing individual sediment blocks of various sizes, lying on the seafloor. Ch: chute.

Fig. 6: Τομογραφία 3.5 kHz (a) και ηχογραφήα (b), στις οποίες φανονται περιστροφόμενα τεμάχια ιζημάτων.

Fig. 6: 3.5kHz seismic profile (a) and side scan sonar image (b), showing rotated blocks.

στον πυθμένα γεωμορφών τύπου δακτυλιογλυφών οι οποίες έχουν διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΑ-ικτή. Γεωμορφές αυτού του τύπου αποδίδονται γενικώς στη δράση ρευμάτων πάνω από επίπεδο **πυθμένα**. Λαμβάνοντας υπόψη (i) ότι οι δακτυλιογλυφές βρίσκονται στην επέκταση της κοίτης του ποταμού σε διεύθυνση ΝΑ-ικτή, (ii) την αποουσία ισχυρών θαλάσσιων ρευμάτων και (iii) τις μεγάλες παροχές του χειμάρρου το χειμώνα με φρετές ύλες, συνεπάγεται ότι οι γεωμορφές είναι προϊόν διάβρωσης / απόθεσης στον πυθμένα λόγω ρευμάτων πυκνότητας οι οποίες κινούνται προς τα κατάντι υπό τη μορφή τυφβόδους ροής.

Οι περισσότερες τεμαχών συγκεντρώνονται εξατέρωθεν του υποθαλάσσιου δέλτα του χειμάρρου Ερατεινής και στο ανατολικό τμήμα του δέλτα του χειμάρρου του Τολοφώνα (Εικ. 6). Στην περιοχή του χειμάρρου του Τολοφώνα η έκταση που επηρεάζεται από τα περισσότερα τεμάχια είναι 150000m² ενώ η αντίστοιχη έκταση στην περιοχή του χειμ. Ερατεινής είναι περίπου 170000m².

Τα περισσότερα τεμάχια έχουν αναπτχθεί πάνω στα σύγχρονα, χαλαρά ιζημάτια και διαχωρίζονται μεταξύ τους από σαφείς επιφάνειες διάτμησης. Το μέσο πάχος τους είναι 7.5m και το μέσο μήκος και εύρος ανάπτυξης είναι 25 και 60m, αντίστοιχα (Εικ. 6). Η μετατόπιση που δημιουργείται στην επιφάνεια του πυθμένα λόγω της περιστροφής είναι πολύ μικρή. Η μετατόπιση και η περιστροφή των τεμαχών γίνεται πάνω σε μία επιφάνεια μικρής κλίσης (<1°), στην οποία καταλήγουν οι επιφάνειες διάτμησης όλων των τεμαχών, με σχετικά κυματοειδές ανάγλυφο και σχεδόν διαφανή αζουσιτικό χαρακτήρα (Εικ. 6α). Η μορφολογία και ο αζουσιτικός χαρακτήρας της επιφάνειας ολίσθησης, καθώς και το βάθος κάτω από την επιφάνεια του πυθμένα όπου εντοπίζεται, είναι δυνατό να δηλώνουν μερική ρευστοποίηση ιζημάτων με μικρή ή καθόλου κίνηση προς τα κατάντι (Myrow and Hiscott, 1991).

Γενικά, ο μηχανισμός πυροδότησης των κατολισθητικών φαινομένων που παρατηρήθηκαν, είναι δυνατό να αποδοθεί στην ολίσθηση των επιφανειακών στρωμάτων, πάχους μερικών μέτρων, πάνω σε μία επιφάνεια, λόγω αύξησης των διατμητικών τάσεων ή/και λόγω της ρευστοποίησης ενός οριζόντια κάτω από την επιφάνεια αυτή. Η αύξηση των διατμητικών τάσεων προήλθε από τη σεισμική δόνηση των 6.1R, ενώ η ρευστοποίηση από την αύξηση της πίεσης του νερού των πόρων των ιζημάτων λόγω της κυκλικής τους φόρτισης από το σεισμό.

Τέλος πρέπει να σημειωθεί ότι όπως προκύπτει από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, οι ακτές του δυτικού Κορινθιακού κόλπου είναι από τις πλέον ευάλωτες ανά τον κόσμο, στην εκδήλωση κατολισθητικών φαινομένων. Δεν υπάρχουν, παγκοσμίως, άλλες περιοχές εκτός από τα Νορβηγικά και τα Καναδικά φιάτ (fjord) (Laternauer et. al., 1994) οι οποίες να επηρεάζονται τόσο έντονα από κατολισθητικά φαινόμενα. Λαμβάνοντας υπόψη την έντονη τουριστική και οικιστική ανάπτυξη της παράκτιας ζώνης του δυτικού Κορινθιακού, καθώς και το γεγονός ότι δεν έχουν συνταχθεί μελέτες για την ευστάθεια των περιοχών αυτών, θα πρέπει σύντομα να ξεκινήσει μία ολοκληρωμένη μελέτη για τον προσδιορισμό των γεωλογικών επικινδυνοτήτων και για τη μελέτη της ευστάθειας των παράκτιων τριανών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- AMBRASEYS, N., (1967). "The earthquakes of 1965-1966 in the Peloponnesos, Greece. A field report". Bull. Seismol. Soc. Amer., v. 57, pp. 1025-1046.
- ΓΑΛΛΑΝΟΠΟΥΛΟΣ, Α., ΛΕΛΗΜΠΑΣΗΣ, Ν. και ΚΟΜΝΗΝΑΚΗΣ, Π., (1964). "Θαλάσσιον κύμα εκ κατολισθήσεως άνευ σεισμικής διεγέρσεως". Γεωλογικά Χρονικά, τομ. 16, σελ. 93-110.
- DOUTSOS, T. and POULIMENOS, G., (1992). "Geometry and kinematics of active faults and their seismotectonic significance in the western Corinth-Patras rift (Greece)". Jour. of Structural Geology, v. 14, pp. 689-699.
- LUTERNAUER, J., et. al., (1994). "Fraser river delta: geology, geohazards and human impact". Geological Survey of Canada Bull., v. 481, pp. 197-220.
- MYROW, P. and HISCOTT, R., (1991). "Shallow-water gravity-flow deposits, Chapel Island Formation, southeast Newfoundland, Canada". Sedimentology, v. 38, pp. 935-959.

- PAPATHEODOROU, G. and FERENTINOS, G., (1997). "Submarine and coastal sediment failure triggered by the 1995, Ms=6.1R Aegion earthquake, Gulf of Corinth, Greece". *Marine Geology*, v. 137, pp. 287-304.
- PAPAZACHOS, B. and COMNINAKIS, P., (1982). "A catalogue of earthquakes in Greece and the surrounding area for the period 1901-1980". Univer. Of Thessaloniki, Geophysical Laboratory, Publ. No 5.
- PRIOR, D., BORNHOLD, B. and JOHNS, M., (1984). "Depositional characteristics of a submarine debris flow". *Jour. Of Geology*, v. 92, pp.707-727.
- WHELAN, T.A., COLEMAN, J.M. and SUYAYDA, J.N., (1975). "The geochemistry of recent Mississippi river delta sediments: gas concentration and sediment stability." *Offshore Technology Conference*, Texas, paper 2342, pp. 71-84.