

ΝΕΟΤΕΚΤΟΝΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ, ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑΣ ΣΤΟ ΑΝΩΤΕΡΟ ΤΕΤΑΡΤΟΓΕΝΕΣ*

Δ. ΣΑΚΕΛΛΑΡΙΟΥ¹, Γ. ΡΟΥΣΑΚΗΣ¹, Χ. ΚΡΑΝΗΣ¹, Ε. ΚΑΜΠΕΡΗ¹, Π. ΓΕΩΡΓΙΟΥ¹
& Ν. ΣΚΟΥΑΙΚΙΔΗΣ¹

ΣΥΝΟΨΗ

Η λίμνη καταλαμβάνει το χαμηλότερο τμήμα της νεοτεκτονικής λεκάνης Βεγορίτιδας, η εξέλιξη της οποίας ελέγχεται από την ομόνυμη ρηξιγενή ζώνη που οριοθετεί τη λεκάνη προς Δ. Το ρήγμα Αγίου Παντελεήμονα, με διεύθυνση Α-Δ και κίνηση οριζοντίας ολίσθησης, χωρίζει την λεκάνη σε ένα βόρειο τμήμα με έντονες νεοτεκτονικές κινήσεις και ένα νότιο τμήμα λιγότερο ενεργό. Υψηλής διακριτικότητας γεωφυσικές τομές Boomer από την λίμνη Βεγορίτιδα έδειξαν την παρουσία δύο σεισμικοστρωματογραφικών ακολουθιών στα ανώτερα 50-60m. του υποστρώματος, μεταξύ των οποίων παρεμβάλλεται μία επιφάνεια ασυμφωνίας με διαβρωσιγενή χαρακτήρα. Η διαβρωσιγενής επιφάνεια αντιπροσωπεύει χαμηλή στάθμη της λίμνης κατά την περίοδο πριν 13.000yr, δηλαδή λίγο μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου. Η κατακόρυφη κατανομή του ισότοπου ²¹⁰Pb σε πυρήνα από τα ιζήματα της λίμνης έδειξε ότι ο ρυθμός ιζηματογένεσης της λίμνης επηρεάστηκε έντονα από την ανθρωπογενούς προέλευσης υποβίβαση της στάθμης της λίμνης τα τελευταία 45 χρόνια.

SUMMARY

Lake Vegoritis is a 20km long lake located within the NE-SW oriented, Late Pliocene - Quaternary Vegoritis neotectonic depression. More than 200km of high resolution Boomer profiles provided valuable data on the recent evolution of the area.

Two main seismic units separated from each other by an erosional surface (Reflector "W") were recognized in the upper 50-60m below the lakebed. The upper seismic unit is an overlapping basin fill characterized by parallel, sub-horizontal internal reflectors. The thickness of the unit reaches 15-20m in the deeper part of the lake. The lower seismic unit is a parallel-stratified unit with continuous internal reflections, slightly folded or inclined. We interpret Reflector "W" as the peri-lake land-surface during the last lake-level low stand, i.e. during the last glacial maximum. The lake has amassed on average 15-20m of sediments since the end of Wurm Glacial Period with a mean sedimentation rate of about 1m/kyr. ²¹⁰Pb geochronology applied on a sediment core recovered in front of the main water stream outflow yielded maximum sedimentation rate of 0.4cm/y for the time before 1956 and 0.6cm/y since 1956. The later is attributed to the dramatic man-induced lowering of the lake level by more than 30m between 1956-1990.

Both the lakebed and the sediments below dip gently westwards, towards the SW-NE trending Vegoritis marginal fault. Slope failure phenomena occur in various stratigraphic levels along the fault-controlled western steep slope. The newly discovered E-W trending Ag Panteleimon fault divides Vegoritis fault into a northern active segment and a southern less effective one. On the seismic profiles the southern fault block subsides forming a 2m high morphological step on the lakebed, while the lake sediments are slightly folded. Further to the west Ag. Panteleimon fault separates Jurassic marbles to the north from Pleistocene conglomerates to the south and divides the NE-SW trending Petron-lake fault into two segments. We interpret Ag. Panteleimon fault as a dextral strike slip fault with minor normal component.

In conclusion, strike slip movements have significantly influenced the formation and evolution of the Late Pliocene-Quaternary Vegoritis asymmetric graben and possibly of other basins in NW Greece. Despite the "suspicious" very low seismicity of the area, both normal and strike slip faults remain presently active with high seismic potential.

* NEOTECTONIC MOVEMENTS, SEDIMENTATION AND WATER-LEVEL FLUCTUATION OF THE LAKE VEGORITIS IN UPPER QUATERNARY

1. Εθνικό Κέντρο Θαλάσσιων Ερευνών, Άγιος Κοσμάς 16604 Ελληνικό, Αθήνα

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ: Νεοτεκτονική, ενεργά ρήγματα, οριζόντια ολίσθηση, ασύμμετρη λεκάνη, ταχύτητα ιζηματογένεσης, παγετώδης περίοδος, διακύμανση στάθμης, ισότοπο ^{210}Pb

KEY WORDS: Neotectonics, active faults, strike slip, asymmetric basin, sedimentation rate, glacial period, lake level fluctuation, ^{210}Pb

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λίμνη Βεγορίτις είναι μια φυσική λίμνη, η οποία καταλαμβάνει το χαμηλότερο τμήμα της νεοτεκτονικής λεκάνης Βεγορίτιδας (Εικ. 1) και στερείται επιφανειακής απορροής. Η επιμήκης λεκάνη της Βεγορίτιδας έχει διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, μήκος 25-30 χλμ., πλάτος 5 χλμ. περίπου και ευρίσκεται σε υψόμετρο 500-550 μ., μεταξύ των οροσειρών Βόρα προς Δ. (υψ. 2000μ.) και Βέρμιον ανατολικά (υψ. 1600μ.). Αποτελεί τμήμα της μεταλπικής λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας, η οποία δημιουργήθηκε στο Μέσο – Ανώτερο Μειόκαινο με διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ και συνιστά τη σημαντικότερη μεταλλική εφελκυστική δομή της ΒΔ Ελλάδας (Pavlidis & Moundrakis, 1987).

Προαλπικοί γνεύσιοι και αμφιβολίτες και αλπικοί σχιστόλιθοι και μάρμαρα της Πελαγονικής Μάζας και του μετα-ιζηματογενούς καλύμματος της δομούν το υπόβαθρο της λεκάνης Φλώρινας – Βεγορίτιδας – Πτολεμαΐδας και εμφανίζονται στα περιθώρια αυτής (Brunn 1956, Moundrakis 1984). Κροκαλοπαγή, μάργες, άργιλοι και ξυλίτες Ανωμειοκαινικής ηλικίας αποτελούν τα αρχαιότερα ιζήματα της λεκάνης (Velitzelos & Petrescu 1981). Αργιλικές αποθέσεις και λιγνίτες Πλειοκαινικής ηλικίας καθώς επίσης Τεταρτογενή κροκαλοπαγή, κώνοι κορημάτων και αλλουβιακές αποθέσεις συμπληρώνουν τη στρωματογραφική στήλη της λεκάνης (Van de Veerd 1979, Koufos 1982, Ioakim 1984).

Εφελκυσμός διεύθυνσης ΒΔ-ΝΑ κατά το Αν. Πλειόκαινο και Τεταρτογενές οδήγησε στη δημιουργία τεκτονικών τάφρων και υβωμάτων διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ, κάθετα προς τη διεύθυνση της κύριας λεκάνης (Pavlidis & Moundrakis 1987), με πλέον χαρακτηριστικό παράδειγμα τη λεκάνη Βεγορίτιδας.

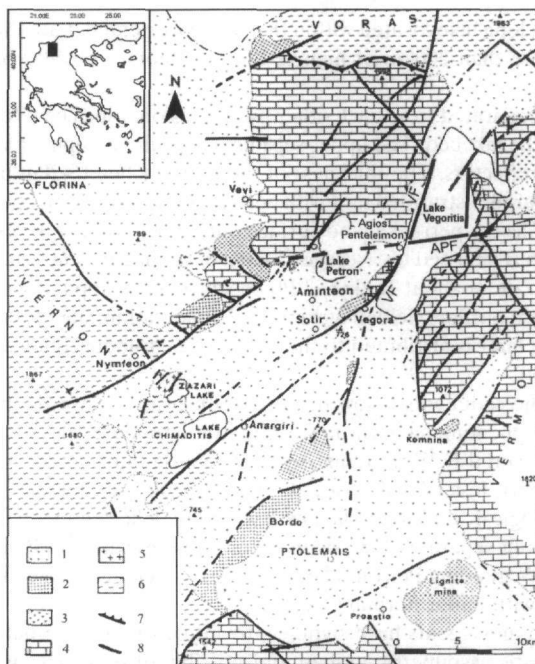


Fig. 1: Geological map of the Florina – Ptolemais basin (modified after Pavlidis & Moundrakis, 1987). 1: Quaternary, 2: Neogene, 3: Ophiolites, 4: Marbles (Mesozoic), 5: Granites (U. Carboniferous), 6: Metamorphics (L. Paleozoic), 7: Overthrust, 8: Fault. APF: Agios Panteleimon Fault, VF: Vegoritida Fault.

Εικ. 1: Γεωλογικός χάρτης της λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας (τροποπ. από Pavlidis & Moundrakis, 1987). 1: Τεταρτογενές, 2: Νεογενές, 3: Οφιόλιθοι, 4: Μάρμαρα (Μεσοζωικό), 5: Γρανίτες (Α. Λιθανθρακοφόρο), 6: Μεταμορφωμένα πετρώματα (Κ. Παλαιοζωικό), 7: Επώθηση, 8: Ρήγμα. APF: Ρήγμα Αγ. Παντελεήμονα, VF: Ρήγμα Βεγορίτιδας

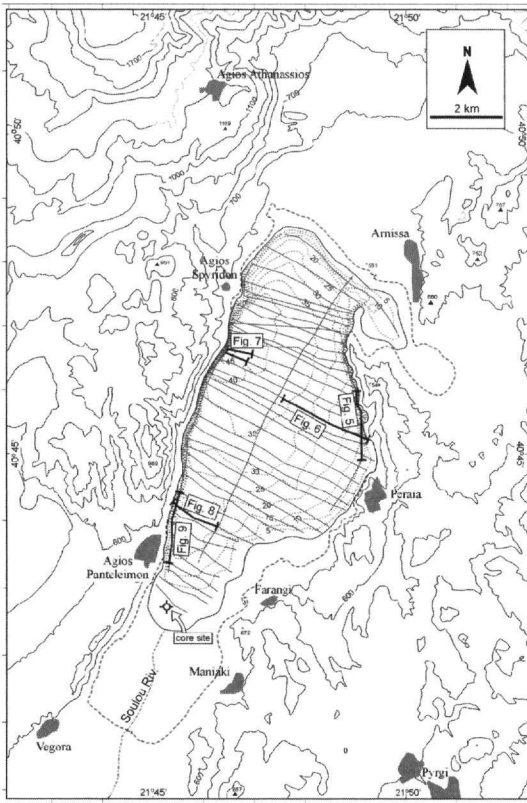


Fig. 2: Topographical, bathymetric and track line map. Contour interval is 100m, depth contour interval (dotted lines) is 5m. Dashed line shows the coastline shown in the HAGS topographic maps.

Εικ. 2: Τοπογραφικός, βυθομετρικός και χάρτης ακουστικών τομών της Λίμνης. Ισοδιάσταση των υψομετρικών καμπυλών είναι 100μ. και των βαθυμετρικών καμπυλών (εστιγμένες καμπύλες) 5μ.

Η διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει την ακτογραμμή όπως εμφανίζεται στους τοπογραφικούς χάρτες της ΓΥΣ

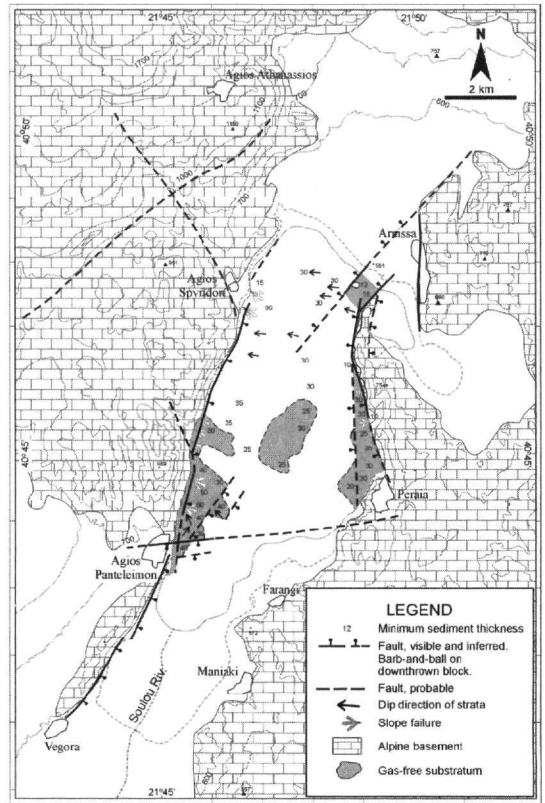


Fig. 3: Tectonic and geological map of Lake Vegoritida. Faults and geology on land after Matarangas (1981); Brunn (1982); Pavlides & Mountrakis (1987); Mercier et al (1988) and Koukoulas (1997).

Εικ. 3: Τεκτονικός και γεωλογικός χάρτης της Λίμνης Βεγορίτιδας. Τα γεωλογικά και τεκτονικά στοιχεία στη χέρσο προέρχονται από Matarangas (1981); Brunn (1982); Pavlides & Mountrakis (1987); Mercier et al (1988) and Koukoulas (1997).

Το βόρειο τμήμα της λεκάνης Βεγορίτιδας, με την ομώνυμη λίμνη, έχει αναπτυχθεί μεταξύ των μαριάρων του Πελαγονικού Καλύμματος που εμφανίζονται στις περιβάλλουσες οροσειρές του Βόρα δυτικά και του Βεομίου ανατολικά και χαρακτηρίζεται από ευδιάκριτα περιθώρια προς το αλπικό υπόβαθρο. Η ρηξιγενής ζώνη της Βεγορίτιδας, με διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ, οριοθετεί προς Δ τη λεκάνη και έχει δημιουργήσει υψομετρική διαφορά της τάξης των 1000m περίπου μεταξύ του ορεινού όγκου του Βόρα και της λεκάνης. Λιμναίες και ποταμοχειμάριας αλλουβιακές αποθέσεις καλύπτουν τη λεκάνη ενώ αλλουβιακοί κώνοι και κώνοι κορημάτων εμφανίζονται στα περιθώρια της.

Το νότιο τμήμα της λεκάνης Βεγορίτιδας έχει αναπτυχθεί μέσα στις μεταλλικές αποθέσεις της λεκάνης Φλώρινας-Πτολεμαϊδας-Βεγορίτιδας. Ανωμειοκαινικές-κατωπλειοκαινικές μάργες με ενδιαστρώσεις λιγνιτών δομούν τα περιθώρια του νότιου τμήματος της λεκάνης και υψώνονται περί τα 150-200m πάνω από αυτήν. Ο πυθμένας της λεκάνης καλύπτεται από Πλειστοκαινικά κροκαλοπαγή και αλλουβιακές αποθέσεις.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Περίπου 200km υψηλής διακριτικότητας τομογραφιών και βαθυμετρικών τομών καταγράφηκαν κατά τη

διάρκεια των εργασιών πεδίου από τη λίμνη Βεγορίτιδα τον Σεπτέμβριο 1999 (Εικ. 2). Για τη καταγραφή των τομογραφιών χρησιμοποιήθηκε τομογράφος Boomer στα 175 Joule και εύρος συχνοτήτων του ηχητικού σήματος μεταξύ 1-2,5kHz. Με τα παραπάνω χαρακτηριστικά επιτεύχθηκε διείδυση του ηχητικού σήματος σε βάθος μέχρι περίπου 60m. κάτω από τον πυθμένα της λίμνης στις περιοχές στις οποίες τα ιζήματα της λίμνης δεν ήταν κορεσμένα σε βιογενές αέριο.

Συμπληρωματικά προς τα παραπάνω πραγματοποιήθηκε μία πυρηνοληψία στο νότιο τμήμα της λίμνης με σκοπό τον υπολογισμό του ρυθμού ιζηματογένεσης με τη μέθοδο του ισοτόπου ^{210}Pb .

3. ΒΑΘΥΜΕΤΡΙΑ

Τον Σεπτέμβριο 1999 η στάθμη της λίμνης βρισκόταν σε υψόμετρο 513-515 μ. Η λίμνη τη περίοδο αυτή είχε μέγιστο μήκος σε διεύθυνση ΒΒΑ-ΝΝΔ περί τα 12 χλμ. και μέγιστο πλάτος 5 χλμ. (Εικ. 2). Το νότιο τμήμα της λίμνης χαρακτηρίζεται από μικρό βάθος και δέχεται την απόθεση των φερτών υλικών του ρέματος Σουλού, το οποίο διατρέχει το νότιο τμήμα της λεκάνης. Το βάθος της λίμνης αυξάνεται σταδιακά προς Βορρά και φθάνει τα 48m (απόλυτο υψόμετρο 465m περίπου). Το βαθύτερο τμήμα της λίμνης ευρίσκεται στη βάση του δυτικού απότομου πρανού. Αντίθετα προς Α το βάθος μειώνεται σταδιακά, γεγονός που προσδίδει σαφή ασυμμετρία στη μορφολογία του πυθμένα.

4. ΣΕΙΣΜΙΚΗ ΣΤΡΩΜΑΤΟΓΡΑΦΙΑ

Τα μάρμαρα του πελαγονικού καλύμματος, τα οποία συνιστούν το υπόβαθρο των λιμναίων ιζημάτων, αποτελούν το ακουστικό υπόβαθρο των τομογραφιών Boomer και παρουσιάζονται στο δυτικό πρανές και κοντά στην ανατολική ακτή της λίμνης (Εικ. 3). Σε ένα μεγάλο τμήμα του υποστρώματος της λίμνης, η στρωματογραφία των ιζημάτων καλύπτεται από την παρουσία αερίων, τα οποία προέρχονται από την αναερόβια σήψη οργανικού υλικού. Στο υπόλοιπο τμήμα του υποστρώματος, κυρίως κοντά στην ανατολική και την δυτική πλευρά, αναγνωρίστηκαν δύο στρωσιγενείς σεισμικές ακολουθίες (Εικ. 4).

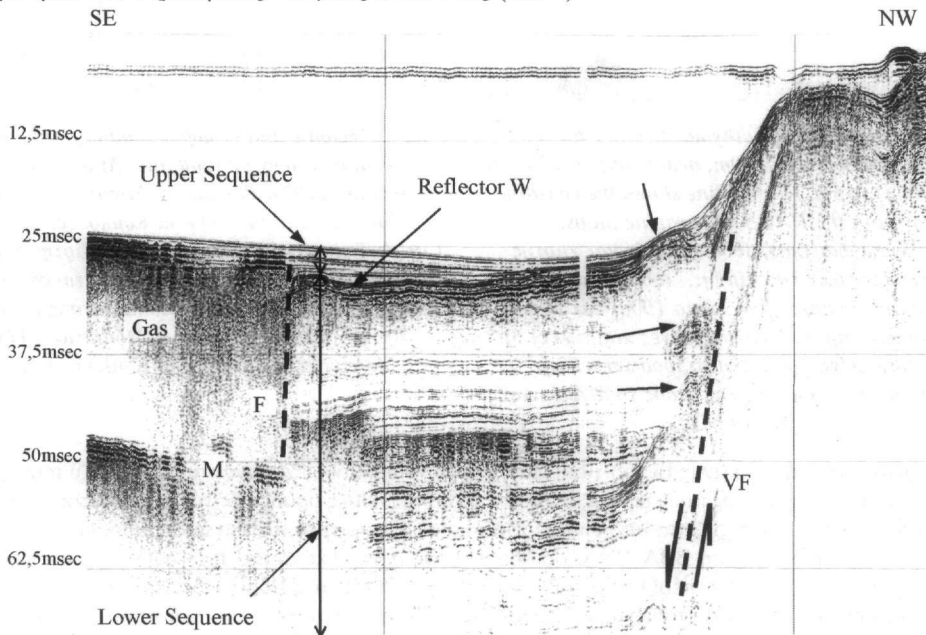


Fig. 4: BOOMER 175J seismic profile showing the western slope of the lake off Agios Panteleimon village. Note the inferred plain of Vegoritida fault and the slumping phenomena indicated by small arrows. A secondary synthetic fault (F) controls the mobilisation of organic gas within the sediments. M: multiple. For location see Fig. 3.

Εικ. 4: Τομογραφία BOOMER 175J από το δυτικό πρανές της λίμνης. Με διακεκομμένη γραμμή παρουσιάζεται η θέση του ρήγματος Βεγορίτιδας (VF). Τα μικρά βέλη δείχνουν δομές ολίσθησης. Ένα δευτερεύον ρήγμα (F) οριοθετεί την εξάπλωση του οργανικού αερίου στα ιζήματα. M: 2η ανάκλαση. Η θέση της τομής παρουσιάζεται

στην Εικ. 3.

Η κατώτερη ακολουθία χαρακτηρίζεται από συνεχείς παράλληλους ανακλαστήρες, οι οποίοι εναλλάσσονται με περισσότερο διαφανείς οριζόντες. Το μέγιστο ορατό πάχος της κατώτερης ακολουθίας φθάνει τα 45-50m. Η διείδωση του ηχητικού σήματος σε βάθος μέχρι 50-60m. κάτω από τον πυθμένα της λίμνης δεν επέτρεψε την παρατήρηση του δαπέδου της κατώτερης ακολουθίας. Οι σεισμικοί οριζόντες κλίνουν συστηματικά προς Δ, δηλαδή προς την ρηξιγενή ζώνη Βεγορίτιδας. Σε αρκετά σημεία κατά μήκος του δυτικού κυρίως αλλά και του ανατολικού πρσανούς, και σε διάφορα στρωματογραφικά επίπεδα, παρατηρήθηκαν δομές βαρυτικής ολίσθησης μαζών (Εικ. 4).

Η οροφή της κατώτερης ακολουθίας αποτελεί έναν ιδιαίτερο σεισμικό ανακλαστήρα με πολύ έντονη ανακλαστικότητα και σαφή χαρακτήρα διάβρωσης, ο οποίος στη συνέχεια θα αποκαλείται ανακλαστήρας W. Οι σεισμικοί οριζόντες της κατώτερης ακολουθίας διακόπτονται προς τα πάνω, ενώ οι οριζόντες της ανώτερης ακολουθίας καλύπτουν ασύμφωνα την υποκείμενη δομή. Σε τομές παράλληλες προς την ακτογραμμή της λίμνης διακρίνεται καθαρά η συγγένεια της μορφολογίας του ανακλαστήρα W με τη μορφολογία της παραλίμνιας χερσαίας περιοχής. Η αλληλουχία αντρεσιωμάτων και κοιλάδων της παραλίμνιας περιοχής συνεχίζεται χωρίς διακοπή προς τα κατάντι, κάτω από την στάθμη και τον σημερινό πυθμένα της λίμνης, στην 'υπο-πυθμείνα' μορφολογία του ανακλαστήρα W.

Η παραπάνω δομή του ανακλαστήρα W παρατηρήθηκε σε τομογραφίες κοντά στην δυτική και την ανατολική ακτή της λίμνης και σε συνολικό βάθος του ανακλαστήρα μέχρι 25-30m. από τη στάθμη της λίμνης. Σε μεγαλύτερα βάθη ο ίδιος ανακλαστήρας, όπου η μειωμένη παρουσία αερίων επιτρέπει την παρατήρηση του, διατηρεί την πολύ έντονη ανακλαστικότητα, δεν παρουσιάζει όμως χαρακτηριστικά διαβρωσιγενούς επιφάνειας. Αντίθετα παρεμβάλλεται μεταξύ των σεισμικών οριζόντων της κατώτερης και της ανώτερης ακολουθίας χωρίς να παρατηρούνται ενδείξεις ασυμφωνίας μεταξύ τους ή διακοπής της λιμναίας ιζηματογένεσης.

Η ανώτερη σεισμική ακολουθία χαρακτηρίζεται από συνεχείς και παράλληλες, ασθενείς ανακλάσεις, οι οποίες είναι παράλληλες και προς τον πυθμένα της λίμνης (Εικ. 4). Γενικά παρουσιάζει διαφανή χαρακτήρα συγκρινόμενη με την κατώτερη ακολουθία. Το πάχος της αυξάνεται από την ακτογραμμή προς το κέντρο της λίμνης και φθάνει μέχρι 15m περίπου. Δομές ολίσθησης μαζών παρατηρήθηκαν κυρίως κατά μήκος του δυτικού πρσανούς της λίμνης.

5. ΡΗΞΙΓΕΝΗΣ ΤΕΚΤΟΝΙΣΜΟΣ

Κατά μήκος της βάσης του δυτικού απότομου πρσανούς της λίμνης εντοπίζεται το ίχνος του βόρειου κλάδου της ρηξιγενούς ζώνης Βεγορίτιδας, το οποίο ελέγχει κατά κύριο λόγο την εξέλιξη της λιμναίας λεκάνης (Εικ. 3 & 5). Ο πυθμένας της λίμνης και τα λιμναία ιζήματα κλίνουν σταθερά προς Δ, δηλαδή προς τη ρηξιγενή επιφάνεια, δηλώνοντας την τεκτονική ασυμμετρία της λεκάνης της Βεγορίτιδας. Το απότομο δυτικό πρσανές της λίμνης είναι επίσης αποτέλεσμα της κίνησης κατά μήκος της ρηξιγενούς αυτής επιφάνειας.

Η συνολική κατακόρυφη μετατόπιση μεταξύ του ανερχόμενου (οροσειρά Βόρα) και του κατερχόμενου (λεκάνη) ρηξιτεμάχους εκατέρωθεν του βόρειου κλάδου της ζώνης Βεγορίτιδας υπερβαίνει τα 600-700m. Η μετατόπιση αυτή προκύπτει κυρίως από μορφολογικά κριτήρια, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν στρωματογραφικά ισοδύναμοι οριζόντες εκατέρωθεν της ρηξιγενούς επιφάνειας, ενώ επίσης δεν κατέστη δυνατό να προσδιορισθεί το μέγιστο πάχος των ιζημάτων της λίμνης Βεγορίτιδας. Δεύτερης τάξης μικρότερα ρήγματα διεύθυνσης ΒΑ-ΝΔ παρατηρήθηκαν στον πυθμένα της λίμνης.

Τα ρήγματα αυτά μεταθέτουν τα λιμναία ιζήματα και επηρεάζουν και τον πυθμένα της λίμνης, ενώ ταυ-

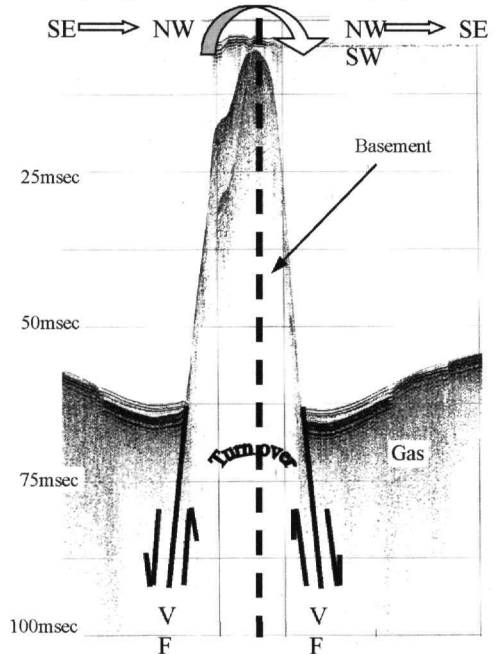


Fig. 5: BOOMER 175J seismic profile showing the steep slope formed along the Vegoritits fault at the western lakeside. For location see Fig. 3.

Εικ. 5: Τομογραφία BOOMER 175J από το απότομο δυτικό πρσανές της λίμνης, κατά μήκος του ρήγματος Βεγορίτιδας. Η θέση της τομής παρουσιάζεται στην Εικ. 3.

τόχρονα λειτουργούν σαν όρια για την εξάπλωση των οργανικών αερίων στο υπόστρωμα της λίμνης. Δευτερεύοντα ρήγματα διεύθυνσης Β-Ν έως ΒΑ-ΝΔ παρατηρήθηκαν επίσης κατά μήκος της ανατολικής πλευράς της λίμνης και μπορούν να θεωρηθούν ως αντιθετικά ως προς τη δυτική περιθωριακή ρηξιγενή ζώνη.

Η ρηξιγενής ζώνη της Βεγορίτιδας παρουσιάζει διπλό χαρακτήρα. Ο βόρειος κλάδος της ζώνης, βόρεια από τον Άγιο Παντελεήμονα, χαρακτηρίζεται από σημαντική κατακόρυφη μετατόπιση και τη δημιουργία έντονου αναγλύφου μεταξύ του ανερχόμενου και του κατερχόμενου ρηξιτέμαχους. Τα συχνά φαινόμενα αστάθειας του πρανού και η κλίση των λιμναίων ιζημάτων και του πυθμένα της λίμνης προς τη ρηξιγενή επιφάνεια δηλώνουν ότι παραμένει ενεργός. Αντίθετα ο νότιος κλάδος της ζώνης, νότια από τον Άγιο Παντελεήμονα, παρουσιάζει σαφώς ασθενέστερα χαρακτηριστικά. Η υψομετρική διαφορά του αναγλύφου εκτέρωθεν του νότιου κλάδου δεν υπερβαίνει τα 200m και είναι κατά 3-4 φορές μικρότερη από αυτήν του βόρειου κλάδου (Εικ. 3).

Η ζώνη μετάπτωσης μεταξύ του βόρειου και του νότιου κλάδου της ρηξιγενούς ζώνης Βεγορίτιδας ευρίσκεται στην ανατολική πλευρά του Αγίου Παντελεήμονα και συμπίπτει με το ίχνος του ομώνυμου ρήγματος (Εικ. 3), το οποίο παρατηρήθηκε στις τομογραφίες Boomer (Εικ. 6). Το ρήγμα Αγίου Παντελεήμονα έχει διεύθυνση σχεδόν Α-Δ και προκαλεί κατακόρυφη μετατόπιση του πυθμένα της λίμνης κατά 1-2m. Η κατακόρυφη μετατόπιση αυξάνεται με το βάθος κάτω από τον πυθμένα της λίμνης.

Η επιφάνεια του ρήγματος είναι σχεδόν κατακόρυφη ή κλίνει με μεγάλη κλίση προς Ν. Σύμφωνα με την φορά της μετατόπισης που παρατηρήθηκε στις τομογραφίες, το νότιο ρηξιτέμαχος, το οποίο συνιστά το ρηχό τμήμα της λίμνης, κατέρχεται, ενώ το βόρειο ρηξιτέμαχος, δηλαδή το βαθύτερο τμήμα της λίμνης, φαινομενικά ανυψώνεται. Τα λιμναία ιζήματα παρουσιάζονται παραμορφωμένα κοντά στη ρηξιγενή επιφάνεια, ενώ ιδιαίτερα βόρεια από αυτήν παρατηρούνται κάμψεις έως ανοιχτή πτύχωση των ιζημάτων, που δηλώνει συμπιεστικής μορφής παραμόρφωση.

Η προέκταση του ίχνους του ρήγματος Αγίου Παντελεήμονα προς Δ συμπίπτει με το νότιο όριο των μαρμάρων του δυτικού περιθωρίου της λίμνης (Εικ. 3) ενώ ακόμα πιο δυτικά ταυτίζεται με τη ζώνη μετάπτωσης μεταξύ δύο κλάδων της ρηξιγενούς ζώνης Νυμφαίων – Πετρών, νότια από το χωριό Πέτρες (Εικ. 1).

6. ΜΕΘΟΔΟΣ ²¹⁰Pb – ΡΥΘΜΟΣ ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΕΣΗΣ

Ενας πυρήνας μήκους 70 εκατοστών συλλέχθηκε από τα επιφανειακά ιζήματα από το νότιο ρηχό τμήμα της λίμνης. Η θέση της πυρηνοληψίας ευρίσκεται λίγες εκατοντάδες μέτρα βορειότερα από την εκβολή του ρέματος Σουλού, σε βάθος νερού 1,5m. Το συγκεκριμένο σημείο ανείκει στο κατερχόμενο τέμαχος του νότιου κλάδου της ρηξιγενούς Ζώνης Βεγορίτιδας και στο φαινομενικά ανερχόμενο τέμαχος του ρήγματος Αγίου Παντελεήμονα. Η περιοχή αυτή της λίμνης χαρακτηρίζεται από υψηλό ρυθμό ιζηματογένεσης, δεδομένου ότι δέχεται την απόθεση των φερτών υλικών του ρέματος Σουλού, το οποίο διατρέχει το νότιο τμήμα της λεκάνης Βεγορίτιδας.

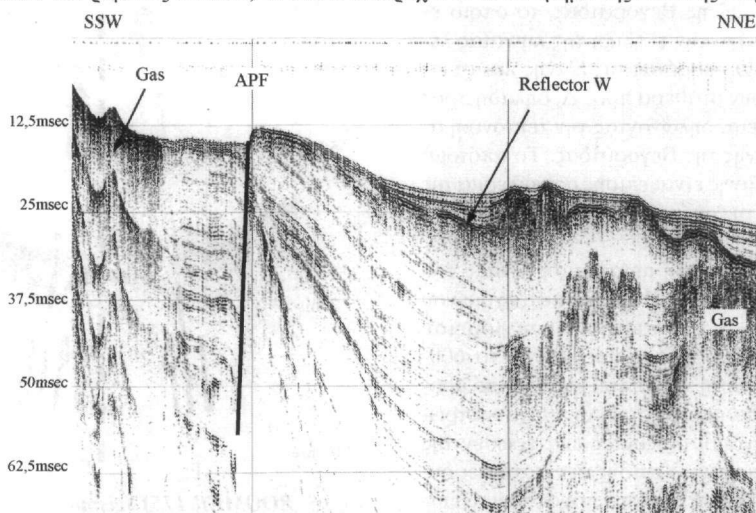


Fig. 6: BOOMER 175J seismic profile close to Agios Panteleimon village (see Fig. 3 for location). Note the deformation of the lower sequence sediments to the north of Agios Panteleimon fault plain (APF).

Εικ. 6: Τομογραφία BOOMER 175J ανατολικά από τον Άγιο Παντελεήμονα (βλ. Εικ. 3 για θέση). Στη τομογραφία είναι εμφανής η παραμόρφωση των ιζημάτων της κατώτερης ακολουθίας βόρεια από το ρήγμα Αγίου Παντελεήμονα (APF).

Ο προσδιορισμός του ισότοπου ^{210}Pb στο ίζημα γίνεται έμμεσα, μέσω του προσδιορισμού του ισότοπου ^{210}Po . Στο ίζημα η συγκέντρωση του ^{210}Po ισοδυναμεί με αυτή του ^{210}Pb , διότι, λόγω του μικρού χρόνου ημιζωής του ^{210}Po (138 ημέρες), τα δύο ισότοπα βρίσκονται σε ισορροπία. Έτσι, ο υπολογισμός του ^{210}Pb στο ίζημα γίνεται με μαθηματικές εξισώσεις χρησιμοποιώντας απευθείας την ένταση ακτινοβολίας του ^{210}Po .

Η δειγματοληψία του πυρήνα έγινε ανά 1cm στα ανώτερα 10cm και ανά 5cm στο υπόλοιπο τμήμα μέχρι το κάτω άκρο. Τα δείγματα διαλυτοποιήθηκαν πλήρως και στη συνέχεια το ισότοπο ^{210}Po προσροφήθηκε στην επιφάνεια δίσκου από φύλλο καθαρού αργύρου. Η ολική ακτινοβολία α μετρήθηκε σε μετρητή ORTEC EG&G (Sanchez-Cabesa *et al.*, 1998) και η ακτινοβολία του ^{210}Pb υπολογίστηκε από την αντίστοιχη του ^{210}Po .

Όπως φαίνεται στην Εικ. 7, η κατακόρυφη κατανομή του ^{210}Pb παρουσιάζει ασυνήθιστη μορφή. Από τον πυθμένα της λίμνης και μέχρι τα πρώτα 30cm παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας στο ισότοπο ^{210}Pb . Από το σημείο αυτό και μέχρι το κατώτερο άκρο του πυρήνα (-70cm) η περιεκτικότητα μειώνεται εκθετικά παρουσιάζοντας σχεδόν ιδεατή κατανομή. Η κατανομή αυτή δεν μπορεί να εξηγηθεί με βάση τα θεωρητικά πρότυπα απορρόφησης του ^{210}Pb της ατμόσφαιρας από τα λιμναία ιζήματα, γεγονός που δηλώνει ότι άλλοι παράγοντες, σχετικοί με την εξέλιξη της λιμναίας λεκάνης επηρέασαν την παραπάνω διεργασία.

Η στάθμη της λίμνης τον Σεπτέμβριο 1999 ήταν σε υψόμετρο 515m περίπου. Μέχρι το 1956, όταν μετρήθηκε η υψηλότερη στάθμη των τελευταίων 100 χρόνων (542m, Σταμος 1996), οι διακυμάνσεις της στάθμης ακολουθούσαν τις μεταβολές των κλιματικών παραμέτρων (Εικ. 8). Το 1956 τέθηκε σε λειτουργία η σήραγγα της Αρνισσας στο βορειοανατολικό άκρο της λίμνης, δια μέσου της οποίας διοχετεύθηκαν μεγάλες ποσότητες νερού προς τον Εδεσσαίο ποταμό με σκοπό την υδροδότηση του ΥΗΣ Αγρα. Αποτέλεσμα τούτου ήταν η συνεχής πτώση της στάθμης της λίμνης, η οποία εφθασε σε υψόμετρο χαμηλότερο των 515,5m το 1990, όταν η σήραγγα τέθηκε εκτός λειτουργίας.

Πιστεύουμε ότι η ασυνήθιστη κατανομή του ^{210}Pb οφείλεται στην ραγδαία πτώση της στάθμης της λίμνης μετά το 1956 και την συνεπακόλουθη αλλαγή των συνθηκών ιζηματογένεσης. Όπως αναφέρθηκε η θέση πυρηνοληψίας ατείχε λίγες εκατοντάδες μέτρα από τις εκβολές του ρέματος Σουλού, ενώ το βάθος της λίμνης στο ίδιο σημείο τον Σεπτέμβριο 1999 ήταν 1,5 μ. Πριν το 1956, όταν δηλαδή η στάθμη της λίμνης ήταν τουλάχιστον 20 μ. υψηλότερα, το βάθος στο ίδιο σημείο υπερέβαινε τα 20 μ. ενώ η απόσταση του από τις εκβολές του ρέματος Σουλού ήταν μερικά χιλιόμετρα.

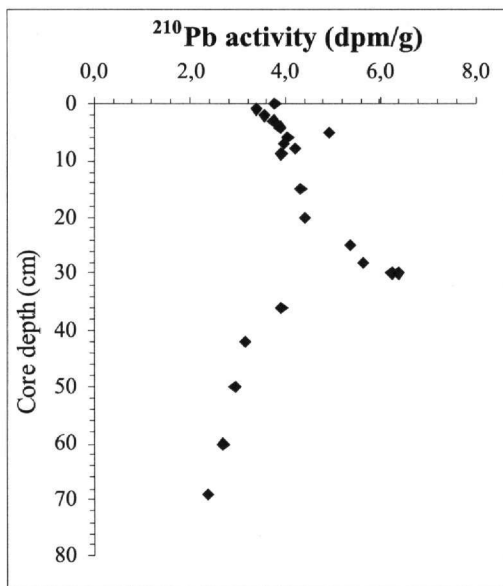


Fig. 7: ^{210}Pb distribution along the sediment core recovered from Vegoritiss lake bed.

Εικ. 7: Κατακόρυφη κατανομή του ^{210}Pb στον πυρήνα από τη λίμνη Βεγορίτιδα

Για τους παραπάνω λόγους υπολογίσαμε δύο διαφορετικές ταχύτητες ιζηματογένεσης για τα τμήματα του πυρήνα μεταξύ 30-70cm και 0-30cm κάτω από τον πυθμένα. Για το κατώτερο τμήμα του πυρήνα (30-70cm), το οποίο σύμφωνα με τα παραπάνω αντιπροσωπεύει την χρονική περίοδο πριν το 1956, χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο CRS (Constant Rate of Supply, Appleby & Oldfield 1978) και υπολογίστηκε ταχύτητα ιζηματογένεσης 4

mm/yr. Επακόλουθα το ανώτερο τμήμα του πυρήνα (0-30cm) αποτέθηκε στο χρονικό διάστημα των 45 χρόνων από το 1956 μέχρι το 1999 με ταχύτητα 6 mm/yr.

7. ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα νέα στοιχεία που προέκυψαν από την γεωφυσική διερεύνηση της λίμνης Βεγορίτιδας και παρουσιάστηκαν παραπάνω προκύπτει ότι η λεκάνη της Βεγορίτιδας παρουσιάζει σαφή χαρακτηριστικά τεκτονικής ασυμμετρίας. Την παραπάνω άποψη ενισχύουν (1) το υψηλό ανάγλυφο του δυτικού περιθωρίου και το απότομο δυτικό πρηνές της λεκάνης, που έχει δημιουργηθεί κατά μήκος της ρηξιγενούς ζώνης της Βεγορίτιδας, (2) το σχετικά χαμηλό ανάγλυφο του ανατολικού περιθωρίου και οι ήπιες κλίσεις του ανατολικού πρηνούς και (3) η σταθερή προς Δ, κλίση του πυθμένα και των ιζημάτων της λίμνης.

Η ρηξιγενής ζώνη Βεγορίτιδας αποτελείται από δύο κλάδους. Ο βόρειος κλάδος, βόρεια από τον Άγιο Παντελεήμονα, συνιστά το ρηξιγενές δυτικό περιθώριο του μεγαλύτερου και βαθύτερου τμήματος της λιμναίας λεκάνης και διαχωρίζεται τα λιμναία ιζήματα από τα αλπικά υποβάθρο που εμφανίζεται στο δυτικό περιθώριο. Ο νότιος κλάδος αντίθετα παρουσιάζεται λιγότερο ενεργός. Η τεκτονική βύθιση του νότιου τμήματος της λεκάνης είτε έχει σταματήσει είτε έχει ισοσκελισθεί από την απόθεση ποταμοχειμάρων και λιμναίων ιζημάτων. Επιπρόσθετα το ανάγλυφο του δυτικού περιθωρίου του νότιου τμήματος είναι πολύ χαμηλό συγκρινόμενο με το ανάγλυφο του αντίστοιχου περιθωρίου του βόρειου τμήματος της λεκάνης, και δομείται από τα κατώτερα ιζήματα της λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας, ηλικίας Α. Μειόκαινου – Κ. Πλειόκαινου.

Η ζώνη μετάπτωσης μεταξύ των δύο κλάδων της ρηξιγενούς ζώνης Βεγορίτιδας ευρίσκεται ανατολικά του Αγίου Παντελεήμονα και συμπίπτει με την προς Δ προέκταση του ρήγματος του Αγίου Παντελεήμονα. Το ρήγμα αυτό παρατηρήθηκε για πρώτη φορά στις τομογραφίες Boomer που καταγράφηκαν από τη λίμνη και το ίχνος του προεκτείνεται δυτικά μέχρι την ρηξιγενή ζώνη Νυμφαίων – Πετρών. Με διεύθυνση ΑΒΑ-ΔΝΔ και κατακόρυφη ή πολύ μεγάλη κλίση προς Ν χωρίζει, εκτός από τους δύο κλάδους της ρηξιγενούς ζώνης Βεγορίτιδας, και την ίδια την νεοτεκτονική λεκάνη σε ένα βόρειο τμήμα, που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των μαρμάρων του αλπικού υποβάθρου και παρουσιάζει έντονη τεκτονική βύθιση, και ένα νότιο τμήμα, το οποίο δημιουργήθηκε στα προϋπάρχοντα Μειο-Πλειοκαινικά ιζήματα της λεκάνης Φλώρινας – Πτολεμαΐδας και δεν παρουσιάζει αξιόλογη τεκτονική βύθιση.

Η παραπάνω κινηματική των δύο τμημάτων της λεκάνης έρχεται σε αντίθεση με την γεωμετρία και κινηματική του ρήγματος Αγίου Παντελεήμονα, όπως παρουσιάζεται στις τομογραφίες Boomer. Στις τελευταίες το νότιο ρηξιτέμαχος του ρήγματος, δηλαδή το ρηχό τμήμα της λίμνης, φαινομενικά κατέρχεται σε σχέση με το βόρειο ρηξιτέμαχος, δηλαδή το βαθύτερο τμήμα της λίμνης. Η παραπάνω αναντιστοιχία, σε συνδιασμό με την μεγάλη, σχεδόν κατακόρυφη κλίση της ρηξιγενούς επιφάνειας και την συμπιεστική παραμόρφωση των λιμναίων ιζημάτων (Εικ. 6), μπορεί να εξηγηθεί με την παραδοχή οριζόντιας ολίσθησης κατά μήκος του ρήγματος Αγίου Παντελεήμονα. Η διέλευση της δυτικής προέκτασης του ρήγματος από τη ζώνη μετάπτωσης μεταξύ αφενός των δύο κλάδων της ζώνης Βεγορίτιδας αφετέρου των δύο κλάδων της ζώνης Νυμφαίων – Πετρών ενισχύει την παραπάνω υπόθεση.

Οι νεοτεκτονικές διεργασίες της περιοχής έχουν σαφώς επηρεάσει και την εξέλιξη της ιζηματογένεσης στη λίμνη Βεγορίτιδα, δεν είναι όμως δυνατόν μόνο με αυτές να δοθεί ικανοποιητική εξήγηση για τη παρουσία και σημασία του ανακλαστήρα W. Ο ανακλαστήρας αυτός αποτελεί επιφάνεια ασυμφωνίας μεταξύ της κατώτερης και της ανώτερης λιθοσεισμικής ακολουθίας των ιζημάτων της λίμνης και παρουσιάζει χαρακτηριστικά διάβρωσης. Το γεγονός αυτό δηλώνει ότι μεταξύ της απόθεσης της κατώτερης και της ανώτερης ακολουθίας μεσο-λάβησε ένα χρονικό διάστημα, κατά το οποίο η στάθμη της λίμνης ήταν κατά 25-30 μ. χαμηλότερα από τη σημερινή στάθμη, σε υψόμετρο δηλαδή 485-490m περίπου και η έκταση που καταλάμβανε ήταν πολύ μικρότερη. Το τμήμα της λίμνης που χέρσευσε στο διάστημα αυτό, εκτέθηκε στην χερσαία διάβρωση και το ανάγλυφο που δημιουργήθηκε καλύφθηκε από τα ιζήματα της ανώτερης ακολουθίας, όταν η στάθμη της λίμνης ανέβηκε και πάλι.

Οι λόγοι της πτώσης της στάθμης της λίμνης θα πρέπει να αναζητηθούν στις κλιματικές μεταβολές των τελευταίων γεωλογικών χρόνων. Έχει παρατηρηθεί (Prentice et al. 1992) ότι οι λίμνες της περιοχής της Ανατολικής Μεσογείου παρουσιάζουν ελάχιστη στάθμη πριν από 13.000yr, δηλαδή λίγο μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου, γεγονός που αποδίδεται στη σημαντική μείωση των χειμερινών βροχοπτώσεων μετά την απόσυρση των παγετώνων προς Β.

Η παρουσία των παγετώνων της τελευταίας περιόδου έχει ήδη πιστοποιηθεί στην Ελλάδα, κυρίως στα όρη Γράμμος (2520m) και Σμόλικας (2637m) στη ΒΔ Ελλάδα, Ολυμπος (2911m) στη Θεσσαλία και Παρνασσός (2450m), Γκιώνα (2510m) και Βαρδούσια (2495m) στη Κεντρική Ελλάδα (Messerli 1967, Denton & Hughes 1981, Smith et al 1994). Εκτός των παραπάνω έχουν εντοπισθεί γεωμορφές και αποθέσεις παγετώδους προέλευσης στα ανώ-

τερα τμήματα λεκανών απορροής της ΒΔ Ελλάδας, όπως στις λεκάνες του Βοϊδομάτη και του Μετσοβίτικου ποταμού (Woodward et al 1995). Η αποδεδειγμένη παρουσία γεωμορφών και αποθέσεων παγετώδους προέλευσης στην Βόρεια και Κεντρική Ελλάδα και οι παρατηρήσεις των Prentice et al. (1992) μας επιτρέπουν να υποθέσουμε ότι η τελευταία παγετώδης περίοδος επηρέασε και την στάθμη της λίμνης Βεγορίτιδας.

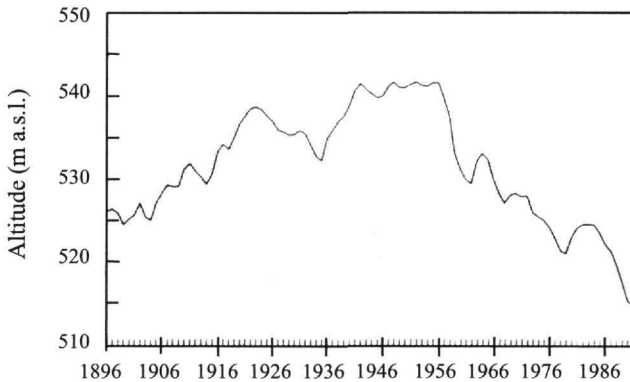


Fig. 8: Fluctuations of Vegoritis lake-level during the last century (Stamos 1996).
Εικ. 8: Διακύμανση της στάθμης της λίμνης μεταξύ 1896-1990 (Στάμος 1996)

Με βάση την παραπάνω υπόθεση ο ανακλαστήρας W που παρατηρήθηκε στις τομογραφίες Boomer αντιπροσωπεύει τον πυθμένα του τμήματος της λίμνης που χέρσωσε και διαβρώθηκε κατά την περίοδο πριν από 13.000yr, δηλαδή λίγο μετά το τέλος της τελευταίας παγετώδους περιόδου. Σαν λογική συνέπεια τα ιζήματα της ανώτερης ακολουθίας αποτέθηκαν κατά τη διάρκεια των τελευταίων 13.000yr, ενώ η κατώτερη ακολουθία αντιπροσωπεύει τις αποθέσεις της λίμνης κατά τη διάρκεια της τελευταίας παγετώδους περιόδου.

Σύμφωνα με την υπόθεση αυτή η μέγιστη ταχύτητα ιζηματογένεσης κατά την απόθεση της ανώτερης ακολουθίας είναι περίπου 1-1,2m/kyr, δεδομένου ότι το μέγιστο πάχος της ακολουθίας αυτής φθάνει τα 15m. Η ταχύτητα αυτή είναι κατά 3,5-4 φορές μικρότερη από τον ρυθμό ιζηματογένεσης που υπολογίστηκε με τη μέθοδο του ισοτόπου ^{210}Pb για το κατώτερο τμήμα του πυρήνα (30-70cm, 4mm/yr = 4m/kyr). Η διαφορά αυτή είναι δικαιολογημένη γιατί το μέγιστο πάχος της ανώτερης ακολουθίας παρατηρήθηκε στις τομογραφίες Boomer από το κεντρικό τμήμα της λίμνης, ενώ η θέση της πυρηνοληψίας ευρίσκεται στο νότιο τμήμα της λίμνης, το οποίο δέχεται την απόθεση των φερτών υλικών του ρέματος Σουλού και η ιζηματογένεση είναι ταχύτερη.

Με βάση τα παραπάνω η λίμνη Βεγορίτις αποτελεί πιθανότατα την πρώτη περίπτωση στην Ελλάδα, στην οποία παρατηρείται η επίδραση της μεταβολής των κλιματικών αλλαγών του Αν. Πλειστοκαίνου - Ολοκαίνου σε λιμναίο περιβάλλον. Σημαντικό ρόλο στην σημερινή κατάσταση της λίμνης διαδραμάτισαν οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις, ιδιαίτερα η διαφυγή νερού δια μέσου της σήραγγας της Αρνισσας, η οποία επέδρασε άμεσα στον ρυθμό ιζηματογένεσης της λίμνης, όπως προκύπτει από την κατακόρυφη κατανομή του ισοτόπου ^{210}Pb στον πυρήνα που συλλέχθηκε. Τέλος το βόρειο τμήμα της λίμνης και της λεκάνης και ιδιαίτερα οι τεκτονικές δομές που ελέγχουν την εξέλιξη της, δηλαδή η ρηξιγενής ζώνη Βεγορίτιδας και το ρήγμα Αγίου Παντελεήμονα παραμένουν ενεργές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- APPLEBY, P.G. & F. OLDFIELD, 1978. The calculation of lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported lead-210 to the sediment. *Catena*, 5:1-8.
- BRUNN J.H., 1956. Etude géologique du pinde septentrional et de la Macedoine occidentale. *Ann. Geol. Pays Hellen.*, 7:1-358.
- DENTON, G.H. & J.T. HUGHES 1981. *The Last Great Ice Sheets*. New York: John Wiley and Sons.
- IOAKIM C. (1981): Etude palynologique des formations ligniteuses du Pliocene superieur de la region Anargyri - Amynteon (Grece). *APLF Conference*: 11 Geneve.
- KOUKOUZAS C.N., 1997. Geological map of Greece, scale 1:50,000, Ptolemais sheet. Inst. Geol. Min. Explor., Greece.
- KOUFOS G.D. 1982. Hipparion crassum Gervais, 1859 from the lignites of Ptolemais (Macedonia, Greece). *Proc. Kon. Nederlandse AK.*, B 85/2:229-239.

- MESSERLI, B. 1967. Die Eiszeitliche und die gegenwartige Vergletscherung im Mittelmeerraum. *Geographica Helvetica* 22:105-228
- MOUNTRAKIS D. 1984. Structural evolution of the Pelagonian zone in North-western Macedonia, Greece. The Geological Evolution of the Eastern Mediterranean. *Geol. Soc. Sp. Publ.*, 17:581-590
- PAVLIDES S.B. & D. MOUNDRAKIS 1987. Extensional tectonics of northwestern Macedonia, Greece, since the late Miocene. *J. Str. Geol.*, 9/4:385-392
- PRENTICE I.C., J. GUIOT & S.P. HARRISON 1992. Mediterranean vegetation, lake levels and paleoclimate at the Last Glacial Maximum. *Nature* 360:658-660.
- SANCHEZ-CABESA, J.A., MASQUE, P. AND ANI-RAGOLTA, I., 1998. 210Pb and 210Po analysis in sediments and soils by microwave acid digestion. *Journal of Radioactivity and Nuclear Chemistry*, 227(1-2): 19-22.
- SMITH, G., R. NANCE & A. GENES 1994. A re-evaluation of the extent of Pleistocene glaciation in the Mount Olympus region, Greece. *Bull. Geol. Soc. Greece* 30/1:293-305.
- STAMOS A. 1996. Lake Vegoritis: Basic hydrogeologic – hydrologic characteristics of the lake and the adjacent area. Inst. Geol. Min. Res. Kozani/Greece, 18p. (in Greek - unpublished report)
- VAN DE VEERD A. 1979. Easly Ruscinian rodents and lagomorphs (Mammalia) from the lignites near Ptolemais (Macedonia, Greece). *Proc. K. ned. Akad. Wet.*, B82:127-170.
- VELITZELOS E. & I. PETRESCU 1981. Rare plant fossils from the Neogene ligniferous basin of Vegora. *Ann. Geol. Pays Hell.*, 30:767-777
- WOODWARD, J.C., J. LEWIN & M.G. MACKLIN 1995. Glaciation, river behaviour and Palaeolithic settlement in upland northwest Greece. In J. Lewin, M.G. Macklin & J.C. Woodward (eds), *Mediterranean Quaternary River Environments*: 115-129. Rotterdam: Balkema.