

ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑΣ

**ΒΑΒΛΙΑΚΗΣ Ε., ΑΛΜΠΑΝΑΚΗΣ Κ.,
ΑΝΤΩΝΟΠΟΥΛΟΥ Ε., ΓΕΡΑΜΙΑΝ Α.***

* Τομέας Γεωλογίας και Φυσικής Γεωγραφίας, Τμήμα Γεωλογίας
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 540 06 Θεσσαλονίκη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η καρστική λίμνη Βεγορίτιδα, έχει ως χαρακτηριστικό την αυξομείωση της στάθμης της. Στην εργασία αυτή γίνονται συγκρίσεις μεταξύ της στάθμης της λίμνης και των παραγόντων που καθορίζουν το ισοζύγιο του νερού (ύψος βροχής, εξάτμιση, χρήση νερού από τον άνθρωπο) και διαπιστώθηκε ότι:

Οι διακυμάνσεις της στάθμης της λίμνης πριν από το 1955 πορακολουθούν κατά κανόνα τις αντίστοιχες διακυμάνσεις του ετήσιου ύψους βροχής με εξαίρεση την περίοδο 1928-1930 που μπορεί να αποδοθεί στη λειτουργία πιθανόν περισσότερων καταβοθρών.

Μετά το 1955 (υδροδότηση της τεχνητής λίμνης του Αγρα από τη Βεγορίτιδα) έχουμε συνεχή πτώση της στάθμης. Ακόμα και με τις ευνοϊκότερες φυσικές συνθήκες (μεγάλο ετήσιο ύψος βροχής, μικρό ύψος εξάτμισης) το μεγαλύτερο υψόμετρο της στάθμης της λίμνης μετά το 1955 παραμένει μικρότερο από το χαμηλότερο υψόμετρο της στάθμης πριν το 1955.

Η συνεχής πτώση της στάθμης της λίμνης μετά το 1955 πρέπει να αποδοθεί στην άντληση νερού από τη λίμνη τόσο για τις ανάγκες της ΔΕΗ, όσο και για την άρδευση των παραλιμναίων καλλιεργειών, των οποίων η έκταση στο ΒΑ τμήμα της λίμνης αυξάνει με σημαντική ταχύτητα (ετήσιο πλάτος της νέας ξηράς κατά την περίοδο 1955-1980: 27 m ετησίως).

Η πτώση της στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδας που αντιστοιχεί με πτώση του βασικού επιπέδου διάβρωσης της λεκάνης απορροής της, προκάλεσε επιτάχυνση της εξέλξης των φυσικογεωγραφικών παραμέτρων, που οδήγησε αφ' ενός μεν στην ταχύτερη επέκταση των δελταϊκών σχηματισμών στο βόρειο και νότιο τμήμα της λίμνης, αφ' ετέρου δε στην αποκάλυψη υπό μορφή νησίδων τμημάτων του πυθμένα, γεγονός που καθ' όλες τις υπάρχουσες γνωστές πληροφορίες δεν έχει ξανασυμβεί.

SUMMARY

The carstic Lake Vegoritis in the N.W. Macedonia, Greece, is characterized by long-term water-level fluctuations. Data of the last 70 years have been processed, concerning parameters effecting the water-volume budget of the lake.

The time period up to 1956 was characterised by natural fluctuations of the mean annual water-level depended on the mean annual waterfall, evaporation and periodic activation of sinkholes.

The last 35 years (1957-1992) are characterised by an intensive drop of the mean annual water-level. This event coincides with the beginning of the use of lake-water in hydroelectric power stations. The rapid drop of water-level revealed significant areas of the lake bottom, where land cultivation (and intensive irrigation) has started.

Statistical analysis showed that, from 1957 to 1989, 90% responsible of the water-level drop is the use of the water in the power stations.

The continuation of the water-level drop after 1989, where pumping to the power stations has stopped, can be attributed to the change of the physico-geographical equilibrium of the area. Drop of the lake water-level, corresponds with the drop of local base-level producing more erosion on the drainage basins and more deposition on the lake deltas. This event produces more fertile land for cultivation and the cultivation uses more water, pumped from the lake reserves. Thus the rapid drop of the lake water-level is due to the use of the water in power stations. Therefore, a complex physico-geographic mechanism of continuous degradation of the lake was triggered. It can be expected that the lake will evolve to a periodic polje.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην προσπάθειά του ο άνθρωπος να καλύψει ανάγκες ύδρευσης, άρδευσης και ενέργειας από αρχαιοτάτους χρόνους μέχρι και σήμερα εκμεταλλεύεται επιφανειακά και υπόγεια υδάτινα αποθέματα της Γης.

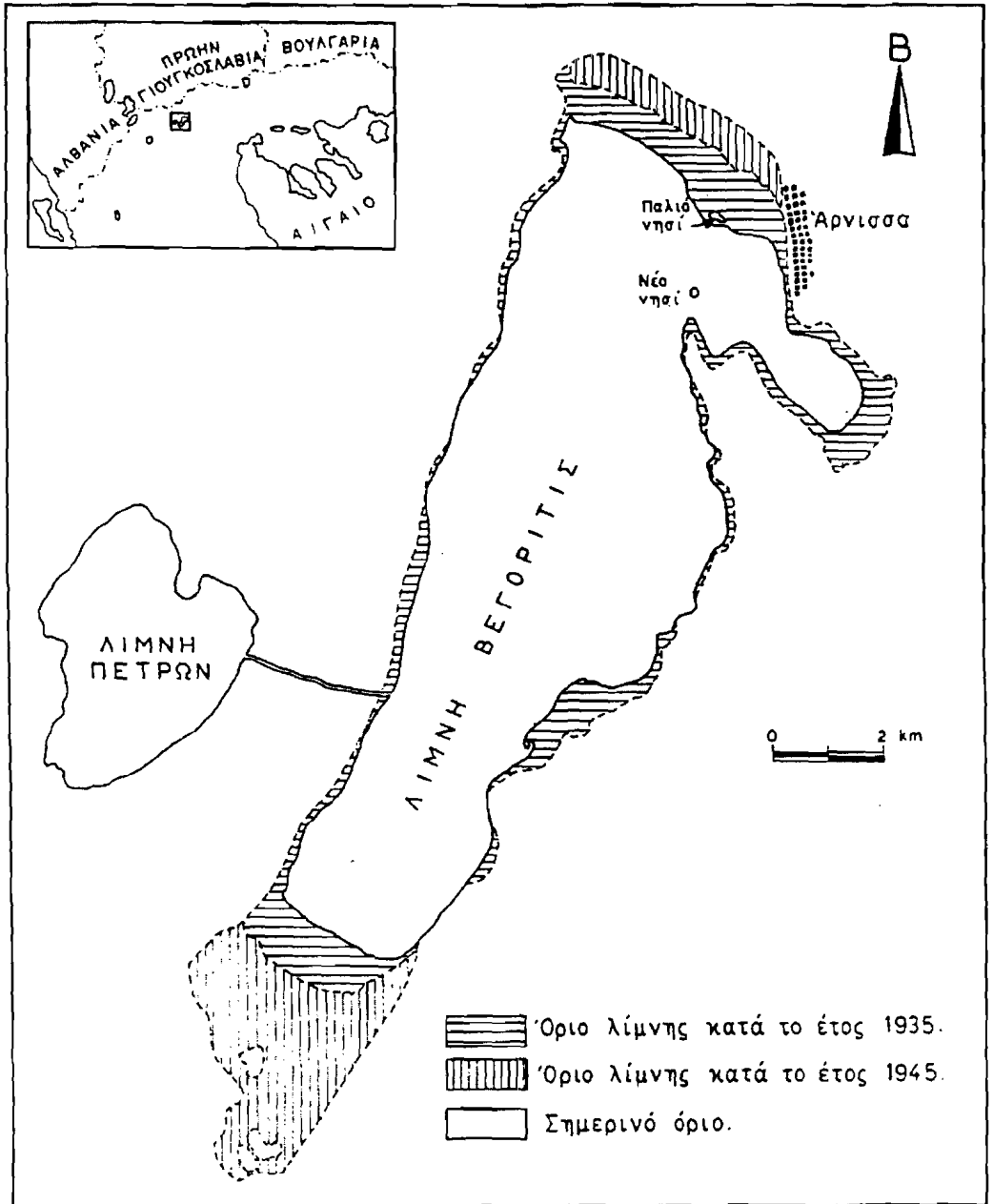
Τα τελευταία 70 χρόνια εκδηλώθηκε μια έντονη τάση εκμετάλλευσης των φυσικών λιμνών της Ελλάδας για την κάλυψη μέρους των παραπάνω αναγκών στην προσπάθεια της χώρας να ξεπεράσει την φάση υπανάπτυξης.

Η μη ορθολογική όμως εκμετάλλευση των φυσικών λιμνών και κυρίως των καρστικών, πολύ γρήγορα οδήγησε στην υποβάθμισή τους με οδυνηρές περιβαλλοντικές και οικονομικές συνέπειες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η καρστική λίμνη της Βεγορίτιδας η οποία εξετάζεται στην παρούσα εργασία.

2. ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ - ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λίμνη Βεγορίτιδα καταλαμβάνει ένα τεκτονικό βύθισμα στο βόρειο όριο της Κεντρικής και Δυτικής Μακεδονίας (χαρτ. 1). Η έκτασή της καθορίζεται από τις γεωγρ. συντεταγμένες των σημείων:

$$\begin{array}{ll}
 21^{\circ} 47' 13'' & B = 21^{\circ} 51' 21'' \\
 A = 40^{\circ} 48' 19'' & 40^{\circ} 45' 23'' \\
 \\ \\
 \Gamma = 21^{\circ} 43' 26'' & \Delta = 21^{\circ} 45' 13'' \\
 40^{\circ} 41' 30'' & 40^{\circ} 40' 42''
 \end{array}$$



ΣΧ. 1. Η θέση της περιοχής έρευνας και τα όρια της λίμνης σε διάφορες περιόδους.

Το υψόμετρο της ελεύθερης στάθμης, σύμφωνα με τα τελευταία στοιχεία της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων του Νομού Πέλλας, ήταν το Μάρτιο του 1992 514,38 m.

Το σχήμα της λίμνης, εκτός από το σχηματιζόμενο κολλίσκο στο ΒΑ τμήμα της, είναι ορθογωνικό με τη μεγάλη πλευρά ΒΑ-ΝΔ διεύθυνσης. Οι διαστάσεις των πλευρών είναι: 15 και 4 km.

Τα ιστορικά στοιχεία που αναφέρονται μέχρι τα 1896 σχετικά με την έκταση και κατ' επέκταση με το βάθος της λίμνης είναι αντιφατικά. Σύμφωνα με τον Σιούτη (1989) ο Μερκατόριος το 1585 σημειώνει τη λίμνη σε χάρτη ενώ ο Τόζερ το 1801 ισχυρίζεται την απουσία της λίμνης. Ο Martinleake το 1806 χαρακτηρίζει την λίμνη σαν μια λωρίδα νερού. Αντίθετα ο αυστριακός Vap Hock 1856 αναφέρει ότι η κορυφή του τζαμιού, που βρίσκονται στα νησάκι της Αρνισσας και που σήμερα είναι ενωμένο με τη στεριά, ήταν στην επιφάνεια του νερού.

Την αυξομείωση της έκτασης της λίμνης Βεγορίτιδας επιβεβαιώνουν και αρχαιολογικά ευρήματα της περιοχής. Συγκεκριμένα η ανακάλυψη της αρχαίας πόλης της Λευαίας κάτω από λιμναία ιζήματα αποδεικνύει ότι μετά την ίδρυση της παραπάνω πόλης έλαβε χώρα σημαντική άνοδος της στάθμης της λίμνης. Οι περιοδικές αυξομειώσεις της στάθμης και έκτασης της λίμνης είναι σύνηθες φαινόμενο δεδομένου ότι αυτές παρακολουθούν κατά κανόνα τις αντίστοιχες περιοδικές μεταβολές των βροχοπτώσεων.

Εντονότερες όμως είναι οι αντίστοιχες αυξομειώσεις στις καρστικές λίμνες δεδομένου ότι το βάθος και την έκταση των λιμνών αυτών, εκτός από τους κλιματικούς παράγοντες, επηρεάζει και η περιοδική λειτουργία ή αδρανοποίηση των καταβοθρών στον πυθμένα ή στις όχθες τους.

Αν τώρα στους παραπάνω παράγοντες προστεθεί και η δυναμική άμεση ή έμμεση επίδραση του ανθρώπου κατά τα τελευταία 50 έως 70 χρόνια μπορεί εύκολα να διαπιστώσει κανείς ότι ο προσδιορισμός της εξελεκτικής πορείας της καρστικής λίμνης της Βεγορίτιδας είναι ένα πολυσύνθετο πρόβλημα.

3. ΥΔΡΟΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΕΥΡΥΤΕΡΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΤΗΣ ΒΕΓΟΡΙΤΙΔΑΣ

Τα νερά της Βεγορίτιδας προέρχονται από την επιφανειακή ή υπόγεια απαστράγιση των υδάτων της λεκάνης απορροής της. Δέχεται τα νερά των λεκανών Πταλεμαΐδας και Αμυνταίου. Σύμφωνα με τους Παράκωνσταντινίου et al. (1989) ο κύριος καρστικός υδροφορέας της δυτικής και βορειοδυτικής πλευράς του Βερμίου επικοινωνεί με τη λίμνη.

Εντάς της λεκάνης απορροής της Βεγορίτιδας έχουν κατασκευασθεί δύο φράγματα (Σουλού και Περδίκια), τα οποία συγκρατούν μέρος του νερού που κανονικά θα έφτανε στη λίμνη, για τις ανάγκες των ατμοηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ. Στη λίμνη καταλήγουν και νερά της λίμνης Πετρών, με την οποία συνδέεται με τεχνικό κανάλι και της λίμνης Χαμαδεΐτιδας. Ακόμα στα ανατολικό τμήμα της λίμνης αποστραγγίζα-

νται τμήματα των περιοχών Αρνίσσας και Βόρρα.

Η λίμνη Βεγορίτιδα δεν έχει φυσική επιφανειακή απορροή. Μέρος των υδάτων που εισρέουν σ' αυτή αποστραγγίζονται υπόγεια με τη βοήθεια καταβοθρών προς άγνωστη όμως μέχρι σήμερα κατεύθυνση.

Τα τελευταία όμως 40 χρόνια ένα μεγάλο μέρος των υδάτων της λίμνης μεταφέρεται για την κάλυψη μέρους των αναγκών του υδροηλεκτρικού σταθμού του Αγρα ή αντλείται για τις ανάγκες των ατμοηλεκτρικών σταθμών της ΔΕΗ Αμυνταίου και Πτολεμαΐδας.

4. ΓΕΩΛΟΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Η λίμνη και η λεκάνη απορροής της από γεωλογική άποψη ανήκουν στην Πελαγονική Ζώνη. Σύμφωνα με το Μουντράκη (1985) η διαδοχή της Ζώνης αυτής είναι η εξής: Το κρυσταλλασχιστώδες υπόβαθρο παλαιοζωϊκής και προ παλαιοζωϊκής ηλικίας, οι γνευσιωμένοι γρανίτες του Α. Λιθανθρακοφόρου, οι περμοτριάδικές μετακλαστικές ακολουθίες, τα τριαδικοϊαυρασιακά πετρώματα και τα επικλισιγενή ανωκρητιδικά ιζήματα.

Τις τελευταίες φάσεις της αλπικής ορογένεσης ακολούθησε περίοδος έντονων μετακινήσεων και σχηματισμού τεκτονικών λεκανών, μέσα στις οποίες αποτέθηκαν κλαστικά ιζήματα κατά το Νεογενές και Τεταρτογενές.

Σύμφωνα με τον Παυλίδη (1985) οι νεογενείς και τεταρτογενείς σχηματισμοί των λεκανών της ευρύτερης περιοχής είναι οι εξής: i) οι κατώτεροι σχηματισμοί των βασικών κροκαλοπαγών, ii) ο σχηματισμός της Βεγόρας ηλικίας Α. Μειοκαίνου - Κ. Πλειοκαίνου, που αποτελείται από αμμώδεις μάργες, άμμους και λιγνίτες, iii) ο σχηματισμός της Πτολεμαΐδας, πλειοκαίνικης ηλικίας που αποτελείται από αργιλλικά στρώματα, μάργες, άμμους και τυπικά λιγνιτικά στρώματα, iv) ο σχηματισμός του Προαστίου, ηλικίας Κ. Πλειστοκαίνου (Α. Βιλλαφράγκιου), ο οποίος αποτελείται από κροκαλοπαγή, άμμους και κρακάλες χερσοποτάμιας προέλευσης, v) ο σχηματισμός Περδίκας που αποτελείται από χερσαίας προέλευσης κροκαλοπαγή (Μ-Α Πλειόκαινο) καθώς και νεώτερα πλευρικά ριπίδια και αλλουβιακές προσχώσεις.

Σύμφωνα με το Χωραφά (1957) η ανατολική και βορειοδυτική περιοχή της λίμνης περιβάλλεται από ασβεστολιθικά στρώματα του Κρητιδικού τα οποία έχουν ως υποκείμενα στρώματα αδιαπέρατους πυριγενείς σχηματισμούς του Ιουρασικού. Στη βορειότερη πλευρά του Βερμίου, οι κρητιδικοί ασβεστόλιθοι έχουν ως υποκείμενα ασβεστολιθικά στρώματα του Παλαιοζωϊκού.

Από τεκτονική άποψη η λίμνη Βεγορίτιδα ανήκει στην ευρύτερη λεκάνη Φλώρινας - Βεγορίτιδας - Πτολεμαΐδας. Η διεύθυνση ανάπτυξης αυτής της λεκάνης είναι σύμφωνη με αυτή του κύριου ορογραφικού άξονα των Ελληνίδων (ΒΒΔ-ΝΝΑ) και η προέλευσή της είναι τεκτονική (Παυλίδης 1985).

5. ΜΕΣΑ ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Προκειμένου να προσδιοριστεί η εξελεκτική πορεία της λίμνης εκτός των υπαι-

θρίων παρατηρήσεων χρησιμοποιήθηκαν και τα εξής μέσα έρευνας: Τοπογραφικοί χάρτες κλίμακας 1:50.000 και 1:100.000 έκδοσης 1930, 1955 και 1970. Αεροφωτογραφίες λήψης 1945 και 1980, και κλίμακας 1:40.000 περίπου. Πίνακες στάθμης της λίμνης, ύψους βροχής και εξάτμισης της ΔΕΗ. Εγινε επίσης στατιστική επεξεργασία των στοιχείων από τους πίνακες της ΔΕΗ για να βρεθεί η ευθεία ελαχίστων τετραγώνων της στάθμης της λίμνης με το χρόνο, χωριζόμενη σε δύο περιόδους πριν και μετά την ανθρωπογενή επέμβαση και έγινε συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας νερού που αντλήθηκε από τη λίμνη και της ελάττωσης του όγκου της. Για την εύρεση του όγκου της λίμνης που ελαττώθηκε χρησιμοποιήθηκαν η στάθμη και το αντίστοιχο εμβαδόν, κατά προσέγγιση, που είχε η λίμνη.

6. ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

Η διακύμανση της στάθμης της λίμνης Βεγορίτιδας καθορίζεται από την αντίστοιχη διακύμανση του ύψους των βροχοπτώσεων και του ύψους εξάτμισης, τη λειτουργία ή αδρανοποίηση καταβοθρών και την υδροληψία για την κάλυψη ενεργειακών αναγκών και άρδευσης.

Η συνεπίδραση όλων των παραπάνω παραγόντων προκάλεσε μια συνεχή πτώση της μέσης στάθμης της λίμνης κατά τα τελευταία 35 χρόνια περίπου.

Προκειμένου να διαπιστωθεί ποιός από τους παράγοντες είναι αποφασιστικής σημασίας για την παραπάνω πτώση της στάθμης εξετάστηκε η εξελεκτική πορεία της λίμνης σε δύο φάσεις. Η πρώτη φάση καλύπτει την περίοδο 1920-1956 κατά την οποία επιδρούν στη λίμνη σχεδόν αποκλειστικά μόνον οι φυσικοί παράγοντες. Η δεύτερη φάση καλύπτει την περίοδο 1957-1991 κατά την οποία συνεπιδρούν φυσικοί και ανθρωπογενείς παράγοντες.

6.1. Διακύμανση της στάθμης της λίμνης κατά την περίοδο 1920-1956

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 1 η μέση στάθμη της λίμνης για την περίοδο 1920-1956 δείχνει μια μικρή αλλά σαφή ανοδική τάση. Οι αποκλίσεις από τη γραμμή παλινδρόμησης μπορούν να αποδοθούν είτε στις ετήσιες διακυμάνσεις του ύψους βροχής είτε στην περιοδική λειτουργία ή αδρανοποίηση των καταβοθρών που αποστραγγίζουν υπόγεια μέρος της υδάτινης μάζας της λίμνης.

Η ετήσια διακύμανση των βροχοπτώσεων, η οποία επίσης απεικονίζεται στο διάγραμμα 1, δεν καλύπτει ολόκληρη την περίοδο 1920-1956 αλλά μόνο τα 14 πρώτα έτη (1920-1934).

Από αυτά τα ελλειπή στοιχεία διαπιστώνεται μια μερική σύμπτωση των διακυμάνσεων της στάθμης της λίμνης και των βροχοπτώσεων.

Η ανθρωπογενής άμεση ή έμμεση επίδραση για την περίοδο αυτή είναι ανύπαρκτη γιατί δεν υπήρχαν λάγοι άντλησης νερού από τη λίμνη για ενεργειακούς λόγους ή ανάγκες άρδευσης, δεδομένου ότι την εποχή εκείνη η λίμνη κατελάμβανε μεγαλύτερη

έκταση ως εκ τούτου οι παραλίμνιες καλλιεργούμενες εκτάσεις ήταν πολύ περιορισμένες. Ακόμα και ανάγκες ύδρευσης πόλεων ή χωριών, αν υπήρχαν, η τεχνολογική (και οικονομική) αδυναμία άντλησης και μεταφοράς νερού σε μεγάλες αποστάσεις δεν επέτρεψε στον άνθρωπο να διαταράξει την υπάρχουσα φυσική ισορροπία.

6.2. Διοκύμανση της στάθμης της λίμνης κατά την περίοδο 1957-1991

Την περίοδο αυτή κατασκευάζεται η τεχνητή λίμνη του Αγρα όπου καταλήγουν τα νερά του Εδεσσαίου ποταμού και με υπόγεια σύραγγα ένα μέρος των νερών της Βεγορίτιδας προκειμένου να καλυφθούν ενεργειακές ανάγκες της χώρας. Συνεπώς από το 1958 συνεπιδρά και ο άνθρωπος μαζί με τους φυσικούς παράγοντες στη διακύμανση της στάθμης της λίμνης.

Όπως προκύπτει από το διάγραμμα 1, Πιν. 1 η διακύμανση του ετήσιου ύψους βροχής είναι σχεδόν ίδια για την περίοδο 1920-1934 και 1957-1991.

Στο διάγραμμα 2, Πιν. 2 απεικονίζεται η μεταβολή της εξατμίσσης για την περίοδο 1957-1989. Παρά τις μεγάλες ετήσιες διακυμάνσεις δεν προκύπτει η ύπαρξη συστηματικής μεταβολής. Μπορεί να χωριστεί σε δύο περιόδους 1957-1975 και 1975-1992 όπου το 1975 εμφανίζεται το ελάχιστο. Γενικά μπορεί να διατυπωθεί η παρατήρηση ότι η συνολική ποσότητα που εξατμίστηκε την περίοδο 1957-1975 είναι λίγο περισσότερη από την περίοδο 1975-1989.

Από το διάγραμμα 1 προκύπτει ότι κατά την περίοδο 1957-1991 η μέση στάθμη της λίμνης παρουσιάζει μια έντονη πτωτική τάση. Χαρακτηριστικό της περιόδου αυτής είναι ότι το μεγαλύτερο υψόμετρο της στάθμης της λίμνης είναι μικρότερο από το χαμηλότερο αντίστοιχο υψόμετρο της περιόδου 1920-1956.

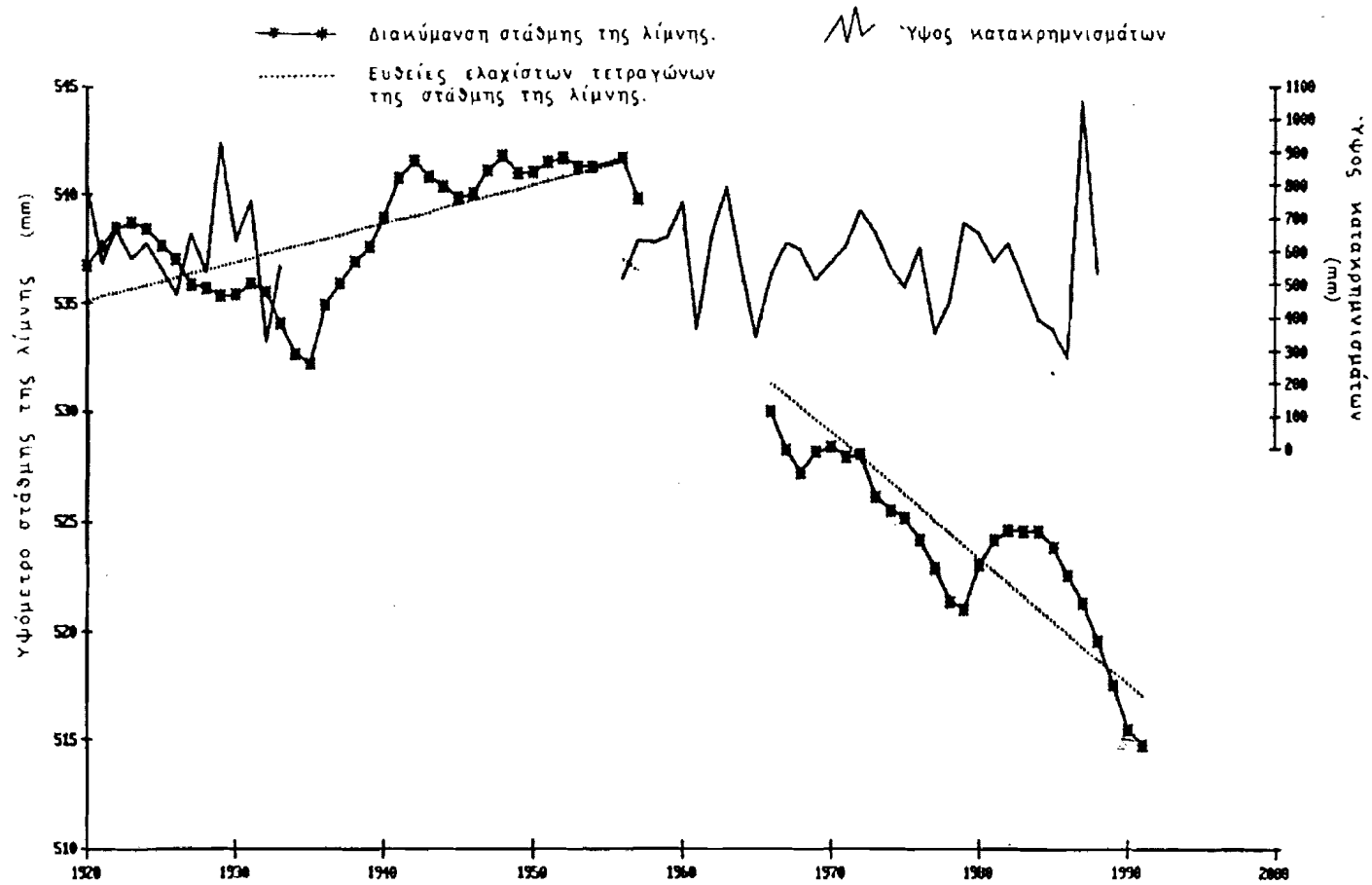
Είναι επίσης αξιοσημείωτο ότι η διακύμανση της στάθμης γύρω από τη γραμμή ελαχίστων τετραγώνων για την περίοδο αυτή είναι ίδιας τάξης μεγέθους με την αντίστοιχη διακύμανση της προηγούμενης περιόδου παρά του ότι οι δύο γραμμές ελαχίστων τετραγώνων έχουν αντίθετες κλίσεις.

7. ΑΙΤΙΑ ΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

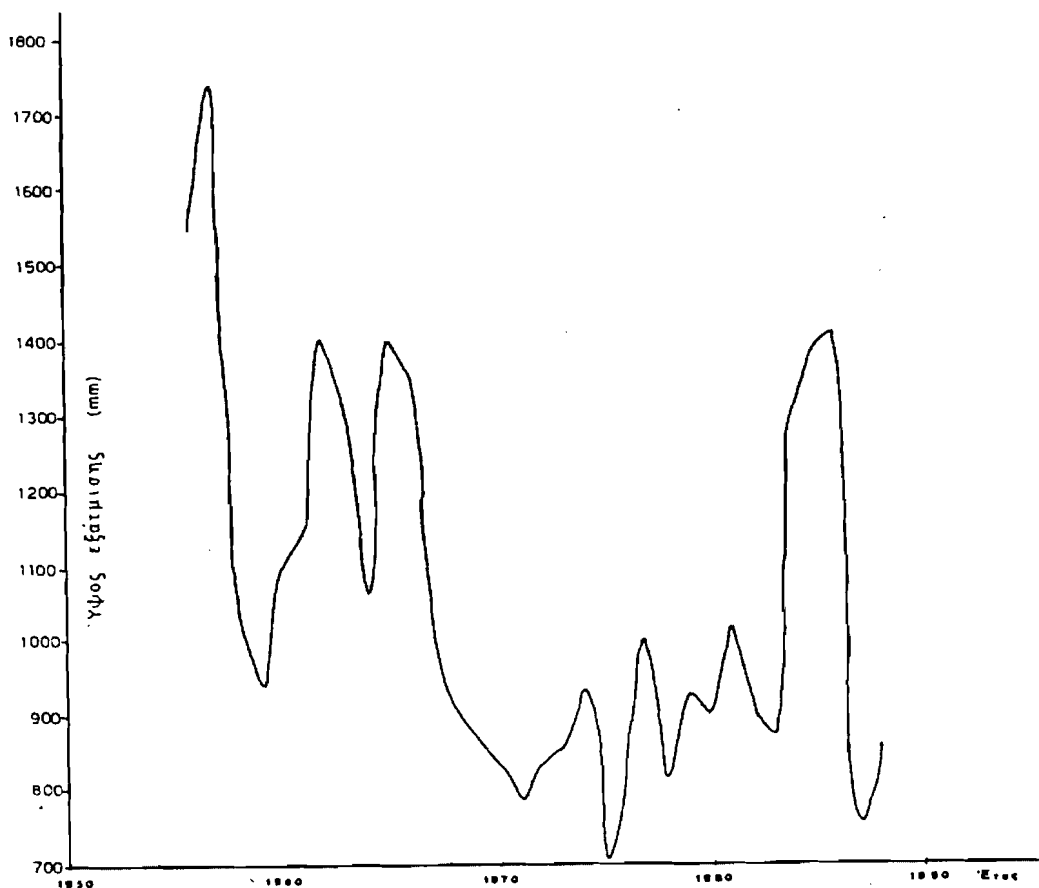
Στην προσπάθεια για ερμηνεία της διαρκούς πτωτικής πορείας της στάθμης της λίμνης από το 1957 ως σήμερα, η οποία συμπίπτει με την έναρξη της άντλησης νερού από τη λίμνη, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία της ΔΕΗ που αφορούν την ποσότητα νερού που αντλήθηκε και την στάθμη της λίμνης (Πιν. 1).

Από τα στοιχεία αυτά κατασκευάστηκε το διάγραμμα 3 που απεικονίζει την αθροιστική ποσότητα νερού που αντλήθηκε από τη ΔΕΗ και την αθροιστική απώλεια όγκου της λίμνης για την περίοδο καθώς και οι ευθείες ελαχίστων τετραγώνων για τις δύο καμπύλες.

Η μεγάλη ομοιότητα στις κλίσεις των ευθειών ελαχίστων τετραγώνων δηλ. του αθροιστικού όγκου που αντλήθηκε και του αθροιστικού όγκου που απωλέστηκε από τη λίμνη μας οδήγησε στην κατασκευή του διαγράμματος 4 που συσχετίζει μεταξύ



Διάγραμμα 1. Μεταβολή της στάθμης της λίμνης κατά την περίοδο 1920 - 1991 και διακύμανση του ύψους των κατακρημιτισμάτων. Στατιστική επεξεργασία έγινε για δύο περιόδους, 1920 - 1956 και 1956 - 1991.



Διάγραμμα 2. Μέσο ετήσιο ύψος εξαίεσης κατά την περίοδο 1956 - 1988.

τους τους δύο αθροιστικούς όγκους. Τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν αφορούν την περίοδο 1966-1988. Από το 1957 ως το 1966 δεν υπάρχουν στοιχεία της μεταβολής της στάθμης της λίμνης κατ' έτος, έτσι το χρονικό αυτό διάστημα αντιμετωπίστηκε ενιαία συμβάλλοντας με τις ακραίες του τιμές στο συνολικό αθροιστικό αποτέλεσμα του 1967. Επίσης δεν χρησιμοποιήθηκαν τα έτη μετά το 1988 γιατί είχαν σταματήσει οι αντλήσεις της ΔΕΗ.

Το διάγραμμα 4 δείχνει ότι η συσχέτιση μεταξύ των δύο όγκων δηλ. αυτού που αντλήθηκε και αυτού που απωλέστηκε είναι $r=0,8994$. Αυτό σημαίνει ότι το 90% της απώλειας όγκου της λίμνης μπορεί να αποδοθεί στην άντληση νερού.

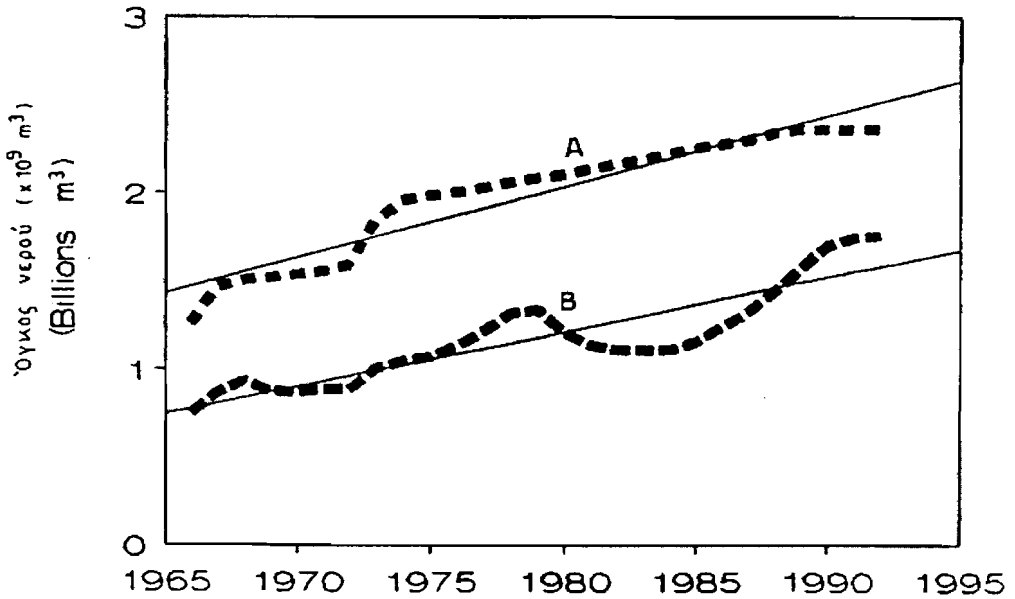
Από τα διαγράμματα 2 και 3 φαίνεται επίσης ότι η ποσότητα νερού που αντλήθηκε είναι κατά $0,72 \times 10^9 \text{ m}^3$ περισσότερη από την αντίστοιχη απώλεια όγκου της λίμνης. Η διαφορά αυτή οφείλεται σε διάφορους παράγοντες και δεν είναι εύκολο να εκτιμηθεί

Πίνακας 1: Χρησιμοποιηθέντα στοιχεία για τον προσδιορισμό ελάττωσης του όγκου της λίμνης εξαιτίας της ανθρωπογενούς επίδρασης κατά την περίοδο 1956 - 1992.

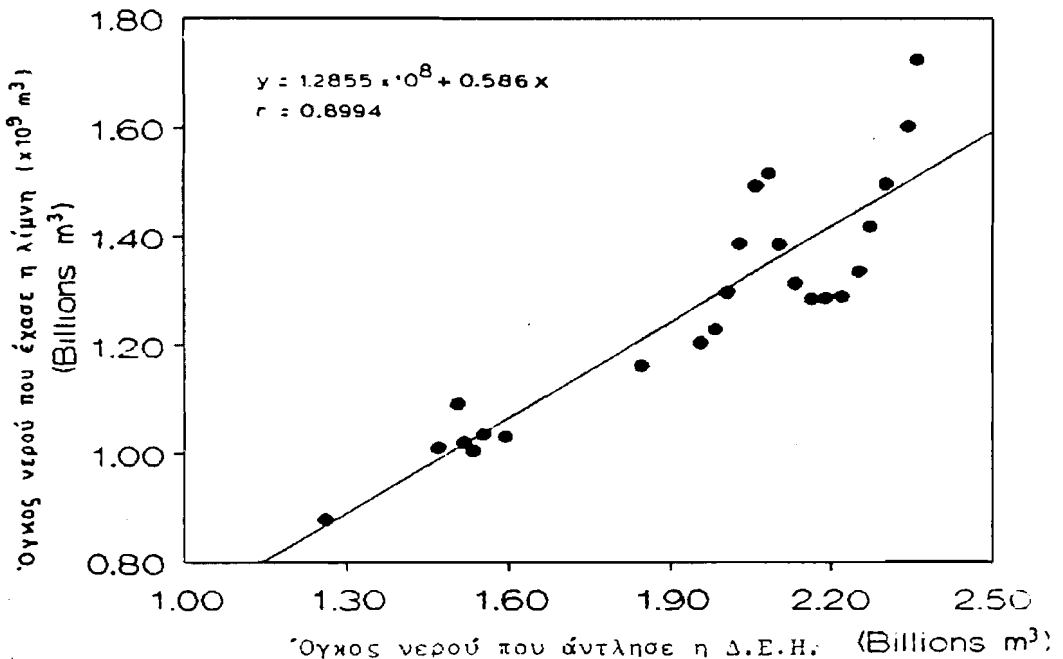
Ετος	Υψόμετρο λίμνης	V αντλ.	Πτώση στάθμης	Σ πτώσης στάθμης	ΣV αντλ. m ³	V λίμνης m ³
1956	541.63	0				
1957	539.79	177000000	-1.84	-1.84	177000000	-1.44E+08
1958		203000000			380000000	
1959		291000000			671000000	
1960		204000000			875000000	
1961		230000000			898000000	
1962		170000000			915000000	
1963		276000000			942600000	
1964		540000000			996600000	
1965		145000000			1.142E+09	
1966	529.99	120291800	-9.8	-11.64	1.262E+09	-7.35E+08
1967	528.23	208859000	-1.76	-13.4	1.471E+09	-1.32E+08
1968	527.15	35940100	-1.08	-14.48	1.507E+09	-81000000
1969	528.09	11609300	0.94	-13.54	1.518E+09	70500000
1970	528.3	16232400	0.21	-13.33	1.535E+09	15750000
1971	527.9	19041700	-0.4	-13.73	1.554E+09	-30000000
1972	527.96	40745300	0.06	-13.67	1.594E+09	4500000
1973	526.09	250183100	-1.87	-15.54	1.845E+09	-1.31E+08
1974	525.5	111679100	-0.59	-16.13	1.956E+09	-41300000
1975	525.14	27867400	-0.36	-16.49	1.984E+09	-25200000
1976	524.16	22968100	-0.98	-17.47	2.007E+09	-68600000
1977	522.88	23269400	-1.28	-18.75	2.03E+09	-89600000
1978	521.35	30058000	-1.53	-20.28	2.06E+09	-1.07E+08
1079	521.02	25196100	-0.33	-20.61	2.086E+09	-23100000
1980	523.03	19420700	2.01	-18.6	2.105E+09	130650000
1981	524.15	31021300	1.12	-17.48	2.136E+09	72800000
1982	524.59	30443200	0.44	-17.04	2.166E+09	28600000
1983	524.56	25008400	-0.03	-17.07	2.191E+09	-19500000
1984	524.51	29182800	-0.05	-17.12	2.221E+09	-32500000
1985	523.81	32848000	-0.7	-17.82	2.253E+09	-45500000
1986	522.52	20505400	-1.29	-19.11	2.274E+09	-83850000
1987	521.3	29352900	-1.22	-20.33	2.303E+09	-79300000
1988	519.55	41210300	-1.75	-22.08	2.345E+09	-1.05E+08
1989	517.52	16505300	-2.03	-24.11	2.361E+09	-1.22E+08
1990	515.47		-2.05	-26.16	2.361E+09	-1.23E+08
1991	514.74	39800	-0.73	-26.89	2.361E+09	-41610000
1992	514.47		-0.27	-27.16	2.361E+09	-15390000
Αντληθείσα ποσότητα (1957 - 1989)		Va = 2.361E+09				-1.91E+09
Ελάττωση όγκου λίμνης (1975 - 1989)		Vλ = -1.73E+09				
Διαφορά όγκων		Va - Vλ = 635908900				

η σημαντικότητα της συμμετοχής του καθενός.

Ο πρώτος παράγοντας είναι ότι κάποια ποσότητα νερού που αντλήθηκε προέρχεται από τους υπόγειους παραλίμνιους υδροφόρους ορίζοντες. Ο δεύτερος παράγοντας είναι ότι κάποιο μέρος αυτής της ποσότητας αντιστοιχεί σε νερό της λίμνης Πετρών. Η τεχνική επικοινωνία της λίμνης Πετρών με τη λίμνη Βεγορίτιδα εδώ και πολλά χρόνια έχει διακοπεί εξαιτίας της πτώσης στάθμης της πρώτης λίμνης. Επίσης



Διάγραμμα 3. Α: Αθροιστική διακύμανση του όγκου νερού που αντλήθηκε από τη ΔΕΗ.
 Β: Αθροιστική διακύμανση της ελάτωσης του όγκου της λίμνης.



Διάγραμμα 4. Συσχέτιση μεταξύ της ποσότητας του νερού που αντλήθηκε από τη ΔΕΗ και της ελάτωσης του όγκου της λίμνης για το διάστημα 1966 - 1989.

σαν τρίτος παράγοντας πρέπει να θεωρηθεί η χρήση του νερού για άλλους σκοπούς (ορδεύσεις καλλιεργειών) όπως απολογείται αμέσως παρακάτω. Τέλος ο τέταρτος παράγοντας μπορεί να είναι τα ελαφρά θετικό ισοζύγιο του όγκου νερού της λίμνης Βεγορίτιδας που εμφανίστηκε στην προ της ανθρωπογενούς επέμβασης περίοδο, όπως ήδη αναφέρθηκε (διάγραμμα 1).

Αν η σημαντικότητα του πρώτου παράγοντα είναι μεγάλη, ακόμα και να σταματήσει η άντληση νερού από τη λίμνη μια πιθανή άνοδος της στάθμης της λίμνης θα παρουσιάζει υστέρηση εξαιτίας του ότι θα πρέπει να πληρωθούν οι παραλίμνιοι υδροφόροι ορίζοντες.

Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι ενώ η απόληψη νερού της λίμνης από τη ΔΕΗ σταμάτησε το 1989 ενταύταις συνεχίζεται η πτώση της στάθμης της. Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι και άλλοι ανθρωπογενείς παράγοντες επηρεάζουν τη διακύμανση της στάθμης της λίμνης, δεδαμένον ότι το ύψος βραχής δεν μεταβλήθηκε σημαντικά. Οι παράγοντες όμως αυτοί συνδέονται έμμεσα με τον αρχικό παράγοντα της ΔΕΗ. Συγκεκριμένα ως συνυπεύθυνος παράγοντας της πτώσης της στάθμης της λίμνης μετά το 1988 είναι η άντληση νερού της λίμνης για την κάλυψη αναγκών άρδευσης των παραλιμναίων εντάσεων είτε απ' ευθείας από τη λίμνη είτε με τη βοήθεια γεωτρήσεων. Αξιόλογες όμως καλλιεργαύμενες εκτάσεις όπως εξηγείται παρακάτω, δημιουργήθηκαν μετά το 1955 με μια καταπληκτική ταχύτητα εξαιτίας της συνεχούς πτώσης της στάθμης της λίμνης. Η αντλούμενη ποσότητα νερού για την κάλυψη αναγκών άρδευσης δεν μπορεί να υπολογιστεί εξαιτίας της έλλειψης στοιχείων. Όμως η έκταση των καλλιεργουμένων επιφανειών (15.000 στρέμματα) και το είδος των καλλιεργειών (καλαμπόκι, οπωροφόρα δένδρα) συνηγορούν με την άποψη ότι η ποσότητα αυτή δεν είναι ασήμαντη.

Με βάση τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι ο αρχικός παράγοντας πτώσης της στάθμης της λίμνης που είναι η άντληση νερού από τη ΔΕΗ, σε χρονικό διάστημα 40 περίπου ετών προκάλεσε έμμεσα έναν δεύτερο παράγοντα πτώσης της στάθμης, την άρδευση, επειδή ο πρώτος άμεσα ή έμμεσα αδήγησε στο σχηματισμό σημαντικών παραλιμναίων καλλιεργήσιμων εκτάσεων.

8. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΚΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΠΤΩΣΗΣ ΤΗΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ

Εξαιτίας της πτώσης της στάθμης της λίμνης είχαμε τις εξής μορφολογικές συνέπειες.

α. Τη χέρσωση λιμναίων μέχρι το 1955 εκτάσεων.

Η έκταση της χέρσωσης είναι ανάλογη με τη μορφολογία του πυθμένα της λίμνης. Έτσι στο ΒΑ της ΝΔ περιθώρια της λίμνης όπου τα βάθος της λίμνης ήταν μικρό

εξαιτίας της πρόσχωσης από χειμάρρους που αποστραγγίζουν και μη καρστικές περιοχές η έκταση της νέας χέρσου ήταν το 1982, 15.000 στρέμματα (χαρτ.1). Αντίθετα στο δυτικό και ανατολικό περιθώριο της λίμνης δεν αποκαλύφθηκε νέα χέρσος εξαιτίας του μεγάλου βάθους του πυθμένα. Το μεγάλος βάθος του πυθμένα οφείλεται στο γεγονός ότι στο ανατολικό και δυτικό περιθώριο καταλήγουν αφ' ενός μικρότερου μήκους ρέματα αφ' ετέρου τα ρέματα αυτά στερούνται σχεδόν επιφανειακής απορροής νερού επειδή αποστραγγίζουν σχεδόν αποκλειστικά καρστικές περιοχές.

β. Τη δημιουργία νέων θέσεων αλλουβιακών ριπιδίων.

Επειδή η λίμνη αποτελεί το τοπικό βασικό επίπεδο διάβρωσης κάθε διακύμανση της στάθμης της έχει επιπτώσεις στην ταχύτητα και στη θέση εξέλιξης των γεωμορφολογικών φαινομένων της περιοχής.

Η συνεχής πτώση της στάθμης της λίμνης μετά το 1955 είχε σαν αποτέλεσμα τη συνεχή μετατόπιση των θέσεων εκβολής των χειμάρρων στη λίμνη και συνεπώς των θέσεων σχηματισμού των αλλουβιακών ριπιδίων. Είναι αυτονόητο ότι και οι διαστάσεις των ριπιδίων είναι μικρές και η χαρτογράφησή τους σχετικά δύσκολη.

Σύγχρονο αλλουβιακό ριπίδιο χαρτογραφήθηκε από το ΙΓΜΕ το 1970-71 νότια από το χωριό Αρνισσα και σε απόσταση 1 km περίπου από την όχθη της λίμνης κατά την περίοδο του 1955. Το ριπίδιο αυτό είναι πολύ μικρότερων διαστάσεων από τα αντίστοιχα αλλουβιακά ριπίδια που σχηματίστηκαν από το ίδιο ρέμα στα πλειστοκαινικά όρια της λίμνης. Η διαφορά αυτή οφείλεται κατά την άποψή μας στο γεγονός ότι η ταχύτητα χέρσευσης της λίμνης μέχρι και το πρόσφατο παρελθόν ήταν ασύγκριτα μικρότερη απ' αυτή μετά το 1955 και συνεπώς τα προ του 1955 αλλουβιακά ριπίδια στο περιθώριο της λίμνης είχαν περισσότερο χρόνο ανάπτυξης συγκριτικά με τα μεταγενέστερα. Από συγκρίσεις αεροφωτογραφιών του 1945 και 1980 υπολογίστηκε ότι η ταχύτητα χέρσευσης της λίμνης στο ΒΑ περιθώριο είναι 27 m περίπου το χρόνο.

γ. Τη συνένωση νήσων με τη χέρσο και την εμφάνιση νέων.

Όπως φαίνεται και στο χάρτη το νησί που το 1955 απείχε 1 km από την τότε όχθη της λίμνης σήμερα έχει ενωθεί με τη χέρσο.

Στον ίδιο χάρτη, το 1980 εμφανίστηκε νησίδα σε μεγάλη σχετικά απόσταση από τη σημερινή όχθη της λίμνης που εκφράζει το αβαθέστερο τμήμα του πυθμένα της προ του 1955 λίμνης.

Τα αναφερθέντα μορφολογικά στοιχεία που προέκυψαν εξαιτίας της συνεχούς πτώσης της στάθμης σε χρονικό διάστημα μικρότερο των 40 ετών σηματοδοτούν τη μελλοντική εξέλιξη της λίμνης Βεγορίτιδας.

Εάν συνεχίσουν να δρουν άμεσα ή έμμεσα οι ανθρωπογενείς παράγοντες της πτώσης της στάθμης της λίμνης πολύ γρήγορα θα αποκαλυφθούν νέα τμήματα χέρσου αλλά ταυτόχρονα θα προσχώνονται τμήματα του πυθμένα της λίμνης που σήμερα λόγω του βάθους και της απόστασής τους από την όχθη δεν δέχονται υλικά πρόσχωσης. Αυτό σημαίνει ότι είναι δυνατόν σε κάποια φάση να στεγανοποιηθούν κύριες κα-

ταβάθρες της λίμνης και να προκληθεί για ένα χρονικό διάστημα απότομη αύξηση της στάθμης της λίμνης μέχρις ότου το νερό βρει νέους δρόμους υπόγειας διαφυγής. Μια τέτοια εξέλιξη θα είχε οδυνηρές οικονομικές συνέπειες για τον αγροτικό πληθυσμό της ευρύτερης περιοχής.

Μια τέτοια εξέλιξη είναι πολύ πιθανή γιατί σύμφωνα με τους Vaniakakis et al. 1988 εξαιτίας της εκβάθυνσης χειμάρρων στο χώρο της ημιπόλης Κ. Βροντού - Κ. Νευροκοπίου προκλήθηκε αύξηση της ποσότητας των υλικών διάβρωσης, που αποτίθονται στο χώρο των καταβοθρών, με αποτέλεσμα να αδρανοποιηθούν εν μέρει οι καταβόθρες και να αυξηθεί η έκταση και το βάθος της χειμερινής λίμνης που σχηματίζεται στο χώρο των καταβοθρών.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- α. Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της στάθμης της λίμνης για την περίοδο πριν από την ανθρωπογενή επίδραση δείχνει μια μικρή αλλά σαφή ανοδική τάση. Η διακύμανση της στάθμης γύρω από τη γραμμή παλλινδρόμησης μπορεί να αποδοθεί τόσο στη διακύμανση των κλιματικών παραγόντων όσο και στην περιοδική λειτουργία ή αδρανοποίηση καταβοθρών της λίμνης.
- β. Η στατιστική επεξεργασία των στοιχείων της στάθμης της λίμνης για την περίοδο της ανθρωπογενούς συνεπίδρασης δείχνει μια έντονη πτωτική τάση. Η συσχέτιση μεταξύ του συνολικού όγκου της υδάτινης μάζας και του αντίστοιχου όγκου ελάττωσης της λίμνης δείχνει ότι η άντληση νερού για τις ανάγκες της ΔΕΗ είναι κατά 90% υπεύθυνη για την πτώση της στάθμης της περιόδου 1957-1989.
- γ. Η συνεχιζόμενη και σήμερα πτωτική τάση της στάθμης της λίμνης, παρά το γεγονός ότι η απόληψη νερού της λίμνης από τη ΔΕΗ σταμάτησε το 1989, οφείλεται στην άρδευση παραλιμναίων καλλιεργησίμων εκτάσεων, που σχεδόν στο σύνολό τους είναι έμμεσο δημιούργημα της εξελικτικής πορείας της λίμνης της περιόδου 1957-1992.
- δ. Η ταχύτατη αποκάλυψη του πυθμένα της λίμνης αλλά και η έντονη πρόσχωση κατά θέσεις των παραλιμναίων περιοχών επιβεβαιώνουν την αρνητική εξελικτική πορεία της λίμνης, που σαν τελικό αποτέλεσμα θα έχει τη μετατροπή της σε μια ανθρωπογενή περιοδική πόλη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΜΟΥΝΤΡΑΚΗΣ Δ., 1985: Γεωλογία της Ελλάδας, Θεσσαλονίκη.

Ψηφιακή Βιβλιοθήκη Θεόφραστος - Τμήμα Γεωλογίας. Α.Π.Θ.

- PAPAKONSTANTINOU A., MELADIOTIS I., DEMIRIS C., 1989: Karsthydrologische Untersuchungen in den Sudostlichen Randbereich des Amyndeon-Braunkohlenbekens, Griechenland. Braunkohle 41 - Heft 3, 44-50.
- ΠΑΥΛΙΔΗΣ Σ., 1985: Νεοτεκτονική εξέλιξη της λεκάνης Φλώρινας - Βεγορίτιδας - Πτολεμαΐδας. Διδακτ. Διατριβή, Θεσσαλονίκη.
- ΣΙΟΥΤΗΣ Δ., 1989: Υδρολογία της λίμνης Βεγορίτιδας, Διπλωματική εργασία, Ξάνθη.
- ΧΩΡΑΦΑΣ Ν., 1957: Η λίμνη Βεγορίτις - Υδρολογική διερεύνησις και υδροδυναμική αξιοποίησης, Αθήνα.
- VAVLIAKIS E., LABRINOS N., LAGALIS TH., SYRIDIS G., 1988: The Polje of Kato-Vrontou - Kato Nevrokopi the Rila Rhodope Massif. Salzburger Geogr. Arbeiten, Bd 19, (in press).