

ΚΑΡΣΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΤΗ ΘΑΛΑΣΣΙΑ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΡΗΤΗΣ: Η ΛΙΜΝΟΔΟΛΙΝΗ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΚΑΙ ΤΟ ΣΠΗΛΑΙΟΒΑΡΑΘΡΟ ΤΟΥ ΑΓΙΟΥ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥΣ

Από τον

Γ.Κ. ΑΝΑΣΤΑΣΑΚΗ και Μ. Δ. ΔΕΡΜΙΤΖΑΚΗ

Σύνοψη: Στην παράκτια περιοχή Αγίου Νικολάου Κρήτης, οι μεγαλύτεροι σε μέγεθος και πλέον γνωστοί σχηματισμοί είναι η εγκατακρημνισιγενής δολίνη του Αγίου Νικολάου και το σπηλαιοβάραθρο του Αγίου Χαραλάμπους. Περιβαλλοντικές εποχιακές μετρήσεις στην ευρύτερη θαλάσσια περιοχή του Αγίου Νικολάου, έδειξαν την καθοριστική σημασία που έχει στη θαλάσσια ρύπανση της περιοχής η λειτουργία και επικοινωνία των καρστικών αυτών συστημάτων με τον παράκτιο χώρο.

Συγκεκριμένα, η λίμνη του Αγίου Νικολάου υποφέρει από πλήρη στρωμάτωση των υδάτων από το Μάιο-Ιούνιο έως τον Οκτώβριο-Νοέμβριο. Η επιφάνεια του Πυκνοκλινούς σταδιακά ανέρχεται μέχρι τα 6 μέτρα βάθους, ενώ η φυσικώς εκδηλούμενη ανοξική περίοδος της λίμνης εντείνεται, παρατείνεται και πολλαπλώς επιβαρύνεται από την άμεση εκφόρτιση του ρυπογόνου (και από αστικά λύματα) υδροφόρου ορίζοντα της πόλης μέσα στη λίμνη. Τα ιζήματα του βαθύτερου σημείου της λίμνης είναι διαρκώς ανοξικά και η περιεκτικότητά σε οργανικό υλικό ξεπερνά το 6,5 %. Τέσσερα χιλιόμετρα νότια της λίμνης βρίσκεται το σπηλαιοβάραθρο του Αγίου Χαραλάμπους που χρησιμοποιείται ευρέως στο παρελθόν και μερικώς χρησιμοποιείται ακόμη, ως τόπος απορρίψεως των βοθρολυμάτων της περιοχής. Η θαλάσσια περιοχή γύρω από το σπηλαιοβάραθρο, σε απόσταση μισού χιλιόμετρου, παρουσιάζει μεγαλύτερες συγκεντρώσεις σε θρεπτικά άλατα από ότι η περιοχή εκβολής του υποθαλάσσιου αγωγού του βιολογικού καθαρισμού των λυμάτων της πόλεως του Αγ. Νικολάου.

Abstract: In the coastal area of Aghios Nikolaos, Crete, the most spectacular karstic features are the collapsed doline lake of Aghios Nikolaos, and the cave pot hole of Aghios Charalambos. Seasonal oceanographic data in the broader Aghios Nikolaos area, revealed the decisive effect of the area's coastal karstic systems. The water of the Aghios Nikolaos lake is seasonally (from May-June until October-November) stratified. The seawater pycnocline gradually moves upwards to reach the shallowest level of 6 meters, while the naturally caused anoxic period of the lake is further prolonged, intensified and further deteriorated due to the discharge of the town - sewage polluted - aquifer. The sediments of the deepest basinal area of the lake are continuously anoxic and the measured organic matter values exceed 6,5%. Four kilometres south of the lake, the cave pot hole of Aghios Charalambos which has been extensively used in the past, and is occasionally used today, as the town sewage disposal site, is encountered. The marine area at a radius of half a kilometre around this coastal cave displays significantly enhanced seawater nutrient levels -even higher than the presently measured nutrient levels around the submarine disposal pipe of the biologically treated town- sewage waters.

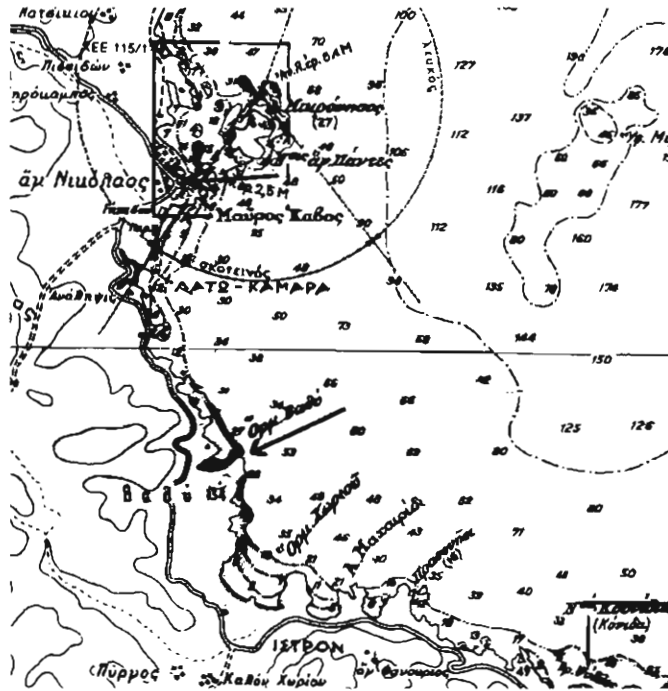
* **Karstic Phaenomena and Environmental Conditions in the Coastal Area of Aghios Nikolaos, Crete : The Collapsed Doline of Aghios Nikolaos Lake and the Cave Pot Hole of Aghios Charalambos.**

** **G. C. Anastasakis & M.D. Dermitzakis, Univ. Of Athens, Dept. Of Hist. Geology-Palaontology.**

Εισαγωγή

Η Κρήτη παρουσιάζει σημαντικό αριθμό χαρακτηριστικών καρστικών σχηματισμών, τόσο επιφανειακών όσο και υπογείων. Το γεγονός αυτό είναι το αποτέλεσμα της μεγάλης επιφανειακής εξαπλώσεως των ασβεστολιθών, του έντονου τεκτονισμού της νήσου και των γνωστών εντόνων παλαιοκλιματικών μεταβολών που έλαβαν χώρα κατά τον Ανωτ. Καινοζωικό. Στις καρστικές μορφές εντάσσονται τόσο η λιμνοδολίνη του Αγίου Νικολάου, στην ομώνυμη πραετούσα του Νομού Λασιθίου (Ανατολική Κρήτη) όσο και το σπηλαιοβάραθρο του Αγίου Χαραλάμπους που βρίσκεται περίπου 4 χλμ. νότια της πόλεως του Αγίου Νικολάου. (Σχ. 1).

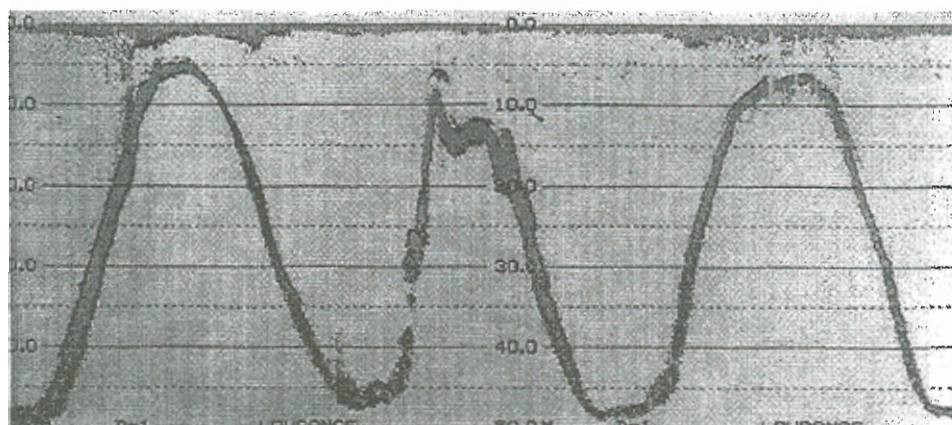
Η γεωλογία της λίμνης του Αγίου Νικολάου έχει περιγραφεί λεπτομερώς από τους Δερμιτζάκης & Μαρσιολάκο (1974) και παρουσιάζει σαφή χαρακτηριστικά δολίνης εγκατακρημνισιογενούς τύπου. Ως γνωστόν, οι δολίνες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: στις εγκατακρημνισιογενείς που προέρχονται από κατάρρευση της οροφής σπηλαίου και τις χροανοειδείς που δημιουργούνται από την επιφανειακή χημική αποσάθρωση των ευδιαλύτων (κυρίως ασβεστολιθικών και βεαποριτικών) πετρωμάτων. Καρστικές μορφές (Πόλγες, Λιμνοδολίνες, Δολίνες) έχουν περιγραφεί και από άλλες περιοχές της Κρήτης (Ψαριανός, 1958, Δερμιτζάκης & Συμεωνίδης, 1973α) καθώς και από άλλες περιοχές της Ελλάδος (π.χ. Παπαπέτρου-Ζαμάνη, 1969, Δερμιτζάκης & Συμεωνίδης, 1973β).



Σχ. 1. Γενικός βαθμιατικός χάρτης της περιοχής Αγίου Νικολάου. Τα βέλη 1 και 2 δείχνουν τη θέση της λίμνης Αγίου Νικολάου και το σπηλαιοβάραθρο Αγίου Χαραλάμπους.

Τόσο η λιμνοδολίνη του Αγίου Νικολάου όσο και το σπηλαιοβάραθρο του Αγίου Χαραλάμπους περιβάλλονται από ασβεστολιθούς της σειράς της Τριπόλεως και κροκαλολατυποπαγή του Μειοκαινού. Οι Δερμιτζάκης & Μαρσιολάκος (1974) τοποθετούν την εγκατακρημνιση της οροφής του σπηλαίου της λίμνης του Αγίου Νικολάου κατά το Ανωτ. Τεταρτογενές.

Η λειτουργία και σημασία των παρακτίων καρστικών σχηματισμών στην κυκλοφορία και εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα στον παράκτιο και υποθαλάσσιο χώρο έχει περιγραφεί από παλιά σε πολλές περιοχές της Ελλάδος (Τρικκαλίνος, 1949) και τέτοια συστήματα έχουν χαρτογραφηθεί και περιγραφεί με σύγχρονες τεχνικές (Lafontaine, in this volume). Μέχρι σήμερα όμως δεν υπάρχουν



Σχ. 3. Βαθυμετρικά προφίλ στη λιμνοδολίνη Αγίου Νικολάου που δείχνουν ότι το σημερινό μέγιστο βάθος της λίμνης δεν ξεπερνά τα 48μ.

Αναφορικά με την κατανομή θρεπτικών αλάτων, οι μετρηθείσες τιμές στην περιοχή της λίμνης είναι γενικά αυξημένες. Μεγάλη επιφανειακή τιμή νιτρικών και νιτρωδών μετρήθηκε τον Ιούνιο του 1993 (16-66mgat/lit και 0,33mgat/lit) στο επιφανειακό στρώμα της λίμνης. Στην περίπτωση των αμμωνιακών αλάτων, οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις αμμωνίας μετρήθηκαν στα βαθύτερα νερά της λίμνης και ιδιαίτερα τον Αύγουστο. Συγκεκριμένα, οι συγκεντρώσεις αμμωνίας κάτω από το βάθος των 5 μέτρων παρουσίασαν μία κάθετη άνοδο που ξεπέρασε τα 20mgat/lit στο βάθος των 20 μέτρων.

Οι συγκεντρώσεις του διαλυμένου οξυγόνου στη στήλη νερού της λιμνοδολίνης Αγίου Νικολάου παρουσιάζουν το χειμώνα και την άνοιξη κανονικές τιμές που κυμαίνονται από 8,5ml/l στην επιφάνεια και φτάνουν τα 4,5ml/l σε βάθος 40 μέτρων. Κατά το τέλος της άνοιξης - αρχές θέρους (αρχές Ιουνίου) παρουσιάζεται μια βαθμιαία ελάττωση του διαλελυμένου οξυγόνου από την επιφάνεια (7,6ml/l) προς το βυθό της λίμνης. Στα 5 μέτρα οι τιμές κυμαίνονται σε 5ml/l, στα 10μ. σε 2,7ml/l, στα 15μ. σε 2,1ml/l, στα 20 μέτρα είναι μικρότερες των 1,3ml/l, ενώ κάτω από τα 35 μέτρα 0,5ml/l. Κατά τη διάρκεια του θέρους και μέχρι τον Οκτώβριο, οι τιμές του διαλελυμένου οξυγόνου στα 5 μέτρα κατέρχονται στα 2,5ml/l ενώ λίγα μέτρα βαθύτερα οι τιμές του διαλελυμένου οξυγόνου παρουσιάζουν ραγδαία ταπείνωση κάτω από 0,5ml/l για να φθάσουν στα βαθύτερα από 35 μέτρα ύδατα σε τιμές κάτω του 0,2ml/l.

Οι αναλύσεις οργανικού άνθρακα που έγιναν σε τρία δείγματα (πιν. 1) που συνελέγησαν από τον πυθμένα της λίμνης έδωσαν ιδιαίτερα υψηλές συγκεντρώσεις στα βαθύτερα σημεία της λίμνης. Όπως δείχνουν και οι συγκεντρώσεις σε θείο που κυμαίνονται γύρω στο 3%, πρόκειται για τελείως αναγωγικό περιβάλλον ιζηματογένεσης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.

Αριθμός Δείγματος	Βάθος	Οργανικός C (%)	H (%)	N(%)	S(%)
L ₁	48μ.	6,7	1,3	0,6	3,3
L ₂	47,6μ.	6,3	1,2	0,6	3,4
L ₃	39,2μ.	1,6	1,17	0,3	2,7

Οι μετρήσεις των φυσικών παραμέτρων που έγιναν στο σταθμό που βρίσκεται πλησιέστερα στο σπλαιοβάραθρο του Αγίου Χαραλάμους (σταθμός 20, βάθος ύδατος 42 μέτρα) έδειξαν σημαντική εποχιακή διαφοροποίηση. Έτσι, ακόμα και τη θερινή-φθινοπωρινή περίοδο, οι μέσες αλατότητες-θερμοκρασίες της συνολικής στήλης των υδάτων κυμαίνονται:

τον Ιούνιο: 19,12°C - 38,61S‰, τον Αύγουστο: 24,50°C - 39,03S‰, τον Οκτώβριο: 22,83°C - 39,17S‰. Το στρώμα νερού στον πυθμένα παρουσιάζει ελαττωμένες αλατότητες όλες τις εποχές. Οι συγκεντρώσεις των θρεπτικών αλάτων στο σταθμό αυτό είναι γενικά αυξημένες όλες τις εποχές. Ιδιαίτερα μεγάλες τιμές νιτρικών και αμμωνίας μετρήθηκαν τον Ιούνιο του 1993 (βλ. πίνακα 2.). Οι συγκεντρώσεις του διαλελυμένου οξυγόνου στη στήλη νερού του σταθμού 20, παρουσιάζουν κανονικές τιμές όλες τις εποχές και κυμαίνονται από 9,0ml/l στην επιφάνεια και φτάνουν τα 6,0ml/l σε βάθος 40 μέτρων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΘΡΕΠΤΙΚΩΝ (ΙΟΥΝΙΟΣ 1993)

Σταθμός AG-20	Βάθος στήλης νερού (μ.)	Νιτρώδη	Νιτρικά	Αμμωνία	Πυριτικά	Φωσφορικά
βάθος ύδατος: 42μ	0	0,01	18,35	1,22	0,80	0,09
	10	<0,01	6,19	1,13	0,15	0,03
	20	<0,01	5,12	1,16	0,13	0,07
	30	<0,01	5,33	1,82	0,12	0,05
	40	0,01	12,58	1,39	0,12	0,08

Οι αναλύσεις οργανικού άνθρακα που έγιναν σε δείγμα ιζημάτων βυθού στο σταθμό AG-20 (πίν. 3.) έδωσαν φυσιολογικές συγκεντρώσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.

Αριθμός Δείγματος	Βάθος	Οργανικός C %	H %	N %	S %
AG-20	42 μ.	0,68	0,63	0,0	0,89

Συζήτηση

Η μελέτη της κατανομής των θρεπτικών αλάτων της στήλης των υδάτων στη θαλάσσια περιοχή του Αγίου Νικολάου, καθώς και της κατανομής του οργανικού άνθρακα στα επιφανειακά ιζήματα βυθού της περιοχής, ανέδειξε δύο περιοχές όπου οι περιβαλλοντικές συνθήκες αποτελούν το φυσικό επακόλουθο της ιδιαίτερης γεωλογικής δομής της περιοχής. Η κατανομή των θρεπτικών αλάτων στην ευρύτερη περιοχή Αγίου Νικολάου, δείχνει ότι τα επίπεδα των θρεπτικών είναι μικρότερα από επιβαρημένες περιοχές σε θρεπτικά ουσιατικά όπως ο Κόλπος της Ελευσίνας, ο Σαρωνικός, η περιοχή της Χαλκίδας, ο Πατραϊκός, ο Αμβρακικός (Ignatiades, 1981., Samanidou *et al.*, 1987., Scoulos *et al.*, 1985., Friligos, 1985., Friligos & Sasmanidjis, 1977).

Η περιβαλλοντική αυτή κατάσταση ανατρέπεται τελείως στις θαλάσσιες περιοχές της εγκατακρημνισιγενούς δολίνης-λίμνης Αγίου Νικολάου και του σπηλαιοβαράθρου Αγίου Χαραλάμπους. Στην περιοχή της λιμνοδολίνης παρατηρείται δυναμική εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα κυρίως κατά μήκος της ΒΔ πλευράς της λίμνης. Πολύ μικρότερη σε έκταση, αλλά πλούσια σε θρεπτικά άλατα προερχόμενα από τα βοθρολύματα της γύρω αστικής περιοχής, εκφόρτιση του υδροφόρου - καρστικού ορίζοντα παρατηρείται στην υπόλοιπη περιφέρεια της λίμνης. Η κατάσταση περιοδικά επιβαρύνεται από την ασοχία του αντλιοστασίου διοχετεύσεως λυμάτων στο βιολογικό καθαρισμό. Τα νερά της λιμνοδολίνης αρχίζουν να στραματώνονται από το Μάιο και σύντομα επικρατούν ανοξικές συνθήκες που διατηρούνται, ανάλογα με τον καιρό, μέχρι τα τέλη Οκτωβρίου. Το πυκνοκλινές καθίσταται ιδιαίτερα έντονο τον Αύγουστο-Σεπτέμβριο. Το περιβάλλον ιζηματογενέσεως στα βαθύτερα σημεία του πυθμένα της λίμνης είναι πάντοτε αναγωγικό λόγω της αυξημένης παραγωγικότητας (λόγω θρεπτικών αλάτων) των νερών της λιμνοδολίνης και της

επικρατήσεως ανοξικών συνθηκών στη στήλη των υδάτων τουλάχιστον 5 μήνες ετησίως. Ιδιαίτερη σημασία είναι το γεγονός ότι ένα μεγάλο μέρος της λεκάνης απορροής της πόλεως του Αγίου Νικολάου καταλήγει στη λίμνη. Άμεση συνέπεια της καταστάσεως αυτής είναι ότι ο ρυθμός ιζηματογένεσεως είναι ιδιαίτερα μεγάλος, π.χ. μεγαλύτερος από 1,5 μέτρα τα 10 χρόνια. Αν η κατάσταση αυτή συνεχιστεί, η λίμνη θα γεμίσει με ιζήματα τα προσεχή 100 χρόνια. Στη θαλάσσια περιοχή του σπηλαιοβαράθρου Αγίου Χαραλάμπους διεπιστώθησαν ιδιαίτερα αυξημένα ποσοστά θρεπτικών, τα οποία υπερβαίνουν τα αντίστοιχα ποσοστά από το σημείο εκβολής του υποθαλάσσιου αγωγού διαθέσεως των λυμάτων του βιολογικού καθαρισμού της πόλεως Αγίου Νικολάου. Η χρήση του σπηλαιοβαράθρου ως τόπου απορρίψεως από βυτιοφόρα των ακατεργάστων βοθρολυμάτων της ευρύτερης περιοχής Ελούντας-Αγίου Νικολάου- Καλού Χωριού, την τελευταία 20ετία έχει δημιουργήσει ένα απόθεμα λυμάτων που σιγά-σιγά εκφορτίζονται στον παράκτιο χώρο της περιοχής.

Συμπεράσματα

1. Το βάθος της λιμνοδολίνης του Αγίου Νικολάου ελαττώνεται σημαντικά λόγω του ιδιαίτερα υψηλού ρυθμού ιζηματογένεσεως εξαιτίας του γεγονότος ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της λεκάνης απορροής της πόλεως του Αγίου Νικολάου καταλήγει στη λίμνη.
2. Τα νερά της λιμνοδολίνης καθίστανται εποχιακά τελείως ανοξικά. Η στραματοποίηση του νερού αρχίζει κατά τους τελευταίους μήνες της άνοιξης και το πυκνοκλινές γίνεται ιδιαίτερα έντονο κατά τη διάρκεια του θέρους-αρχές φθινοπώρου. Το πυκνοκλινές ανέρχεται μέχρι βάθος 5 μέτρων και οι συγκεντρώσεις, ιδιαίτερα των αμμωνιακών αλάτων φθάνουν σε υψηλά επίπεδα.
3. Λόγω της εκφορτίσεως του υδροφόρου ορίζοντα υποθαλάσσια της λιμνοδολίνης, υπάρχει συνεχής εκφόρτιση των βοθρολυμάτων της γύρω περιοχής στη λιμνοδολίνη που περιστασιακά επιβαρύνεται δραματικά από την κακή λειτουργία του σταθμού (αντλιοστασίου) διοχετεύσεως λυμάτων στο βιολογικό καθαρισμό.
4. Κοντά στη θαλάσσια περιοχή του σπηλαιοβαράθρου του Αγίου Χαραλάμπους υπάρχει εκφόρτιση του υδροφόρου ορίζοντα που διοχετεύει στο θαλάσσιο περιβάλλον μεγάλες ποσότητες θρεπτικών αλάτων. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι την τελευταία 20ετία το σπηλαιοβαράθρο χρησιμοποιείται ως τόπος απορρίψεως βοθρολυμάτων της ευρύτερης περιοχής.
5. Τα παραπάνω συμπεράσματα αναδεικνύουν τη βαρύτητα της σωστής περιβαλλοντικής διαχειρίσεως των καρστικών σχηματισμών ιδιαίτερα στις αστικές παράκτιες περιοχές.

Βιβλιογραφία

- Δερμιτζάκης, Μ.Δ. & Η.Δ. Μαριολάκος, 1973. Η λίμνη του Αγίου Νικολάου, Ανατ. Κρήτης (Φυσική Γεωγραφία - Τεκτονική Ανάλυση). *Ann. Geol. Pays Hell.*, **25**, σ. 373-396, Αθήνες.
- Dermitzakis, M.D. & N. Symeonidis, 1973a. Geological Researches in the district Armeni-Chandra (East Crete). *Ann. Geol. Pays Hell.*, **25**, p.225-249, Αθήνες
- Dermitzakis, M.D. & N. Symeonidis, 1973b. Beitrag zur Kenntniss der Geologie der Inseln Angistri und Metopi (SW. von Aegina). *Ann. Geol. Pays Hell.*, **25**, p.250-280, Αθήνες.
- Θεοδωροπούλου, Δ. & Α. Παπαπέτρου-Ζαμάνη, 1973. Καρστικά φαινόμενα της Κρήτης. Αι πόλγαι της Νίδας και του Καθαρού. - *Δελτ. Ελλην. Γεωλ. Εταιρ.*, **IX**, (2), σ. 82-92, Αθήναι.
- Ignatiades, L., 1981. On the horizontal distribution of phytoplankton in relation to sewage derived nutrients. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, v. **27**, p.91-93, Monaco.
- Samanidou, V., Fytianos, K. & G. Vassilikiotis, 1987. Distribution of nutrients in the Thermaikos Gulf, Greece. *The Science of the Total Environment*, vol. **65**: p.181-189.
- Παπαπέτρου-Ζαμάνη, Α., 1969. Η λίμνη της Βουλιαγμένης (Αττική). *Ann. Geol. Pays Hell.*, **21**, σ. 210-216, Αθήνες.
- Scoullou, M., Maroulakou-Christodoulou & M. Dassenakis, 1985. Preliminary results on the nutrients distributions in the Patraikos Gulf and the Acheloos estuary, Greece. *Rapp. Comm. Int. Mer Medit.*, vol. **29**(7): p.51-52, Monaco.
- Trikkalinos, J. K., 1949. Bemertugen uber hydrogeologischen verhaltnisse den seen Hyliki und Paralimni (Griechenland - Provinz Yheben). *Ann. Geol. Pays Hell.*, **1** (2), σ. 128-154, Αθήνες.
- Friligos, N., 1985. Nutrient conditions in two Aegean Gulfs. *Mar. Pollut. Bull.*, vol. **16**(5): p.208-209.
- Friligos, N. & J. Sasmadjis, 1977. Nutrient distribution in the Gulf of Thermaikos (August 1975). *Thalassia Jugoslavica*, vol. **13**(1/2): p.31-44.
- Φαριανός, Π., 1958. Καρστικά φαινόμενα της Ελλάδος. Ι. Δολίνη Ηρακλείου Κρήτης. *Ann. Geol. Pays Hell.*, **9**, σ. 186-190, Αθήναι.