

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ

ΣΕΒΤΣΕΝΚΟ ΙΝΕΣΣΑ

ΕΥΝΗ ΧΡΥΣΗ

**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ν. ΜΟΥΔΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΑΛΙΕΙΑΣ &
ΥΔΑΤΟΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

ΣΕΒΤΣΕΝΚΟ ΙΝΕΣΣΑ

ΕΥΝΗ ΧΡΥΣΗ

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ ΣΤΗ ΛΙΜΝΗ ΠΑΜΒΩΤΙΔΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΝΕΑ ΜΟΥΔΑΝΙΑ (2009)

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ	2
1.1.1 Δομή και οργάνωση	2
1.1.2. Οικολογία κυαναβακτηρίων	2
1.1.3 Συστηματική κυανοβακτηρίων	3
1.1.4. Τοξικά κυανοβακτήρια	3
1. 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	4
1.2.2 Λίμνη Παμβώτιδα	4
1.2.3 Προηγούμενες μελέτες στο φυτοπλαγκτό της λίμνης.....	5
1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	6
2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ, ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ, ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ	6
2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	6
2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ.....	7
2.4 ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ.....	7
2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ.....	8
2.6 ΚΑΘΑΡΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ	8
2.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ	8
3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	9
3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΙΔΩΝ.....	9
3.1.1 Ταξινομικοί προσδιορισμοί	9
3.2. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	12
3.3. ΑΦΘΟΝΙΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	14
3.3.1 Chroococcales	14
3.3.2. Oscillatoriales	17
3.3.3. Nostocales	19
3.4. ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	22

3.4.1 Συνολική Βιομάζα.....	22
3.4.2 Chroococcales	25
3.4.3 Nostocales	27
3.5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	30
3.5.1 Καθαρός ρυθμός αύξησης.....	30
4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	34
4.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΙΔΩΝ.....	34
4.1.1 Ταξινομικοί προσδιορισμοί	34
4.1.2. Χρονικές μεταβολές της σύνθεσης των ειδών	36
4.1.3. Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια	36
4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ	38
4.2.1 Αφθονία κυανοβακτηρίων	39
4.2.2 Βιομάζα κυανοβακτηρίων.....	41
4.2.3 Καθαρός ρυθμός αύξησης.....	42
5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	44
6. SUMMARY	45
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	46
7.1. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	46
7.2. Ελληνική βιβλιογραφία.....	52

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε στο Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσσαλονίκης-παράρτημα Ν. Μουδανιών, Τμήμα Τεχνολογίας Αλιείας & Υδατοκαλλιεργειών κατά το ακαδημαϊκό έτος 2008-2009.

Για την πραγμάτωση της παρούσας εργασίας θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε ολόψυχα την επιβλέπουσά μας, Καθηγήτρια Ελισάβετ Βαρδάκα, που δέχτηκε να αναλάβει την πτυχιακή μας εργασία και με προθυμία και μεράκι μας καθοδήγησε καθ' όλη τη διάρκεια της, προσφέροντας ως βοήθεια την πολύχρονη εμπειρία της και γνώση. Χάρη στην προθυμία, την μεθοδικότητα και την υπομονή της κάναμε τα πρώτα μας βήματα στην ολοκλήρωση αυτής της επιστημονικής εργασίας που μας ενέπνευσε την αγάπη για τον θαυμαστό κόσμο του φυτοπλαγκτού.

Από τη θέση αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά όλους όσους μας βοήθησαν, μας συμπαράστηκαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, ώστε να φέρουμε σε πέρας την εργασία αυτή. Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλουμε στον Καθηγητή Αθανάσιο Καμαριανό για την κατανόηση του, την στήριξη και ειλικρινή παρότρυνση του καθώς και για τις πολύτιμες συμβουλές και εύστοχες παρατηρήσεις του.

Ευχαριστούμε τον φίλο μας Σότο που μας «στέγαζε» τις κρύες, βροχερές, ανοιξιάτικες αλλά και θερμές μέρες στα Ν.Μουδανιά, τη μεγάλη ηθική συμπαράσταση στα δύσκολα και στα εύκολα λύνοντας τα όλα με την ατάκα του (όχι τώρα.....τώρα!). Για σένα φίλε Νώντα δεν υπάρχουν λόγια, ήσουν πάντα αυτός που έλεγε 'keep walking',μας στήριξες , μας συμπαράστηκες και μέσα σ' όλα αυτά μας έμαθες και όλα τα συνθήματα του Άρη με αποτέλεσμα? Να γίνουμε Αρειανές! Καθώς επίσης την κ. Καίτη, τον κ. Έυδη και την Ελίνα για την ζεστασιά, την αγάπη και τις πολύτιμες συμβουλές τους. Τον πρόθυμο Χρήστο για τα γρήγορα και σωστά αποτελέσματα στο κομπιουτεράκι καθώς και την φίλη Μαρία για τις εύστοχες υποδείξεις της στην αγγλική γλώσσα. Την Αξάνα (Μικρή Ταϊλανδέζα) για την αμείωτη, 'non-stop' ενέργειά της. Ευχαριστούμε επίσης για τη συντροφιά και τη ζεστασιά τους τον Χίπη, την Γκούλι και τη γλυκιά Σερενάτα.

Τέλος ευχαριστούμε τους πιο ψυχικά κοντινούς μας ανθρώπους, τους γονείς μας και τα αδέρφια μας, για την ανιδιοτελή και ακούραστη ηθική και υλική συμπαράσταση, μα και για την υπομονή που έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια. Πάνω από όλα σας ευχαριστούμε που μας αγκαλιάζετε με την αγάπη σας και μας δίνετε δύναμη σε κάθε μας βήμα.

Υ.Σ

Ινέσσα : Ευχαριστώ τη φίλη και συνάδελφο μου Χρυσή.

Χρυσή : Ευχαριστώ τη φίλη και συνάδελφο μου Ινέσσα.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΑ

1.1.1 Δομή και οργάνωση

Τα κυανοβακτήρια είναι μια πολυάριθμη ομάδα μονοκύτταρων ή πολυκύτταρων φωτοσυνθετικών προκαρυωτικών οργανισμών. Τα κυανοβακτήρια σχηματίζουν νηματοειδής (απλές ή διακλαδισμένες) δομές (Fogg et al. 1973), και παρουσιάζουν υψηλό επίπεδο κυτταρικής διαφοροποίησης. Ως προκαρυώτες δεν διαθέτουν μεμβρανικές δομές και οργανίδια, ούτε διακριτό πυρήνα, ωστόσο περιέχουν χλωροφύλλη α και διεξάγουν οξυγονική φωτοσύνθεση (Bartram et al. 1999, Mur et al. 1999). Ορισμένα κυανοβακτήρια έχουν την ικανότητα να δεσμεύουν ατμοσφαιρικό άζωτο (VanBaalén 1987). Άλλα είδη πέραν των βλαστητικών κυττάρων σχηματίζουν ετεροκύττα και έμμονα κύτταρα τα οποία είναι λειτουργικώς διαφοροποιημένα (Fay 1983). Σύμφωνα με το Διεθνή Κώδικα Βοτανικής Ονοματολογίας (ICBN), η κλάση των Κυανοφυκών περιλαμβάνει 150 γένη και 2000 είδη (Mur et al. 1999).

1.1.2. Οικολογία κυανοβακτηρίων

Τα κυανοβακτήρια ήταν ανάμεσα στους πρωτοπόρους οργανισμούς της γης (Bartram et al. 1999), έχουν ευρεία προσαρμογή που θεωρείται αποτέλεσμα της εξέλιξής τους (Fay 1983). Λόγω της φωτοσυνθετικής τους ικανότητας, αυτοί οι μικροοργανισμοί, ήταν πιθανόν οι πρώτοι πρωτογενείς παραγωγοί της οργανικής ύλης και οι πρώτοι οργανισμοί που απελευθέρωσαν στοιχειακό οξυγόνο στην πρωτόγονη ατμόσφαιρα, με αποτέλεσμα τη μετάβαση σε έναν αερόβιο τρόπο ζωής (Bartram et al. 1999).

Απαντώνται συνήθως σε υδάτινα οικοσυστήματα (λίμνες, λιμνοθάλασσες, θάλασσες), (πλαγκτικός ή βενθικός τρόπος ζωής), και επίσης, πολλά είδη απαντώνται σε χερσαία οικοσυστήματα (Mur et al. 1999). Έχουν ικανότητα να εποικίζουν άγονα υποστρώματα (Fay 1983), υψηλής αλατότητας περιβάλλοντα (Mur et al. 1999), περιβάλλοντα με υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες (Fay 1983), περιβάλλοντα με όξινα και βασικό pH (Papageorgiou 1996, Mur et al. 1999). Τα κυανοβακτήρια συμβιώνουν με μύκητες, ασπόνδυλα (σπόγγους) και φυτά (λειχήνες, βρυόφυτα, αγγειόσπερμα) (Fay 1983).

Η μαζική συσσώρευση πλαγκτικών κυανοβακτηρίων στο επιφανειακό στρώμα του νερού κατά τη διάρκεια της περιόδου που αυτά σχηματίζουν σημαντικούς πληθυσμούς αναφέρεται στον όρο **άνθιση του νερού** (water bloom) ή **κυανοβακτηριακός ανθός** (Reynold and Walsby 1975). Κατά τη διάρκεια της άνθισης του νερού συχνά παρατηρείται μια επιφανειακή κυανοπράσινη κρούστα. Σε ένα κυανοβακτηριακό ανθό μπορεί να συμμετέχουν πολλά είδη κυανοβακτηρίων, συχνά όμως επικρατεί ένα. Τα είδη που συνήθως επικρατούν είναι τοξικά, δηλαδή έχουν την ικανότητα να παράγουν τοξίνες (Carmichael 1992).

1.1.3 Συστηματική κυανοβακτηρίων

Τα κυανοβακτήρια συμπεριλαμβάνονται στον Διεθνή Κώδικα Βοτανικής Ονοματολογίας (ICBN) (Greuter et al. 1994 από Mur et al. 1999), ως κλάση Cyanophyceae και στον Διεθνή Κώδικα Ονοματολογίας των Βακτηρίων (ICNB) (Sneath 1992 από Mur et al. 1999), ως κλάση Oxyphotobacteria.

Για τη συστηματική των κυανοβακτηρίων έχουν αναπτυχθεί έως τώρα διάφορα ταξινομικά συστήματα. Το πιο πρόσφατο σύστημα ταξινόμησης είναι των Anagnostidis και Komarek (Anagnostidis and Komarek [1985], Komarek and Anagnostidis [1986], Anagnostidis and Komarek [1988], Komarek and Anagnostidis [1989], Komarek and Anagnostidis [1999] και Komarek [2003]), το οποίο βασίζεται μεταξύ άλλων σε μορφολογικά, φυσιολογικά, γενετικά και οικολογικά γνωρίσματα των κυανοβακτηρίων που προέρχονται τόσο από φυσικούς πληθυσμούς όσο και από καλλιέργειες (Anagnostidis and Komarek 1985). Σύμφωνα με αυτό το ταξινομικό σύστημα, τα κυανοβακτήρια διαιρούνται στις εξής πέντε κλάσεις: Chroococcales, Pleurocapsales, Oscillatoriales, Nostocales και Stigonematales.

1.1.4. Τοξικά κυανοβακτήρια

Ένας μεγάλος αριθμός ειδών κυανοβακτηρίων που συμμετέχουν στην άνθιση του νερού έχει την ικανότητα να παράγει τοξίνες ως προϊόντα του μεταβολισμού του (Sivonen and Jones 1999). Έκθεση θηλαστικών, ψαριών, πτηνών σε αυτές τις τοξίνες έχει συσχετιστεί με επεισόδια τοξίνωσης και θανάτου, ενώ επίσης έχουν αναφερθεί συμβάντα τοξίνωσης και θανάτου ανθρώπων είτε λόγω πόσης νερού είτε λόγω χρήσης νερού για αναψυχή (Kuiper-Goodman et al. 1999, Sivonen and Jones 1999).

Ειδικότερα στον Ελλαδικό χώρο, τα τελευταία χρόνια, λίμνες που γειτνιάζουν με πόλεις ή οικισμούς και στις οποίες παρατηρούνται έντονες ανθρώπινες

δραστηριότητες (π.χ. άρδευση, θέσεις τροφής ή πόσης κτηνοτροφικών ζώων, ψάρεμα, κολύμβηση, ύδρευση) αποτέλεσαν αντικείμενο ερευνητικού ενδιαφέροντος που αποσκοπούσε στην εκτίμηση της έκτασης και της σοβαρότητας των προβλημάτων ποιότητας του νερού που προκαλούνται από την παρουσία τοξικών κυανοβακτηρίων και των τοξινών τους (Lanaras et al. 1989, Cook et al. 2004, Gkelis et al. 2005, Vardaka et al. 2005).

1. 2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

1.2.2 Λίμνη Παμβώτιδα

Η λίμνη Παμβώτιδα (Παμβώτις), (39°39'30"N 20°51'E), αρχαίο όνομα της γνωστής σήμερα και ως λίμνη των Ιωαννίνων, βρίσκεται σε ύψος 470 m από την επιφάνεια της θάλασσας. Έχει μήκος περίπου 8 km, πλάτος 5 km, μέσο βάθος 4 - 5 m, μέγιστο βάθος 10 m και επιφάνεια 22,8 km² (Anagnostidis and Economou-Amilli 1980).

Το λεκανοπέδιο Ιωαννίνων αποτελεί μια ευρεία καρστική λεκάνη που δημιουργήθηκε από τη διάβρωση των ασβεστόλιθων σε συνδυασμό με την ιδιαίτερη τεκτονική της περιοχής. Τροφοδοτείται υπόγεια με νερό από το καρστικό σύστημα του όρους Μιτσικέλι μέσω των πηγών που εκτονώνονται στις υπόγειες του (Karakitsios 2005). Το κλίμα χαρακτηρίζεται από κρύους, υγρούς χειμώνες με ημερήσιο μέσο όρο θερμοκρασίας <0°C και ζεστά, ξηρά καλοκαίρια με θερμοκρασία που ξεπερνά τους >30°C. Η ετήσια βροχόπτωση (1.1-1.2 m) με δυσκολία ανταποκρίνεται στην λιμναία επιφανειακή εξάτμιση. Κατά τη διάρκεια του έτους οι τιμές της βροχόπτωσης είναι υψηλές με ένα εύρος από 0.7-1.5 m. Περίοδοι με μείωση βροχοπτώσεων προκαλούνται από αλλαγές στην ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από την Μεσόγειο (Bartzokas and Metaxas 1995).

Η Παμβώτιδα είναι μια φυσική ρηχή λίμνη, η οποία έχει χαρακτηριστεί ως ευτροφική, (Anagnostidis and Economou-Amilli 1980) ενώ θεωρείται αστική ως αποτέλεσμα της γειννίασης της με την πόλη των Ιωαννίνων όπου εκτείνεται κατά μήκος της δυτικής ακτογραμμής (Vardaka et al. 2005). Η λίμνη αποτελεί θέση αναπαραγωγής, τροφής ή πόσης της άγριας πανίδας (Dafis et al. 1996). Σύμφωνα με την οδηγία 92/43/ΕΟΚ 1992, η λίμνη Παμβώτιδα έχει προταθεί ως σημαντική περιοχή Κοινοτικού ενδιαφέροντος του Πανευρωπαϊκού Οικολογικού Δικτύου Φύση 2000 (Dafis et al. 1996). Ωστόσο, ανθρωπογενείς παρεμβάσεις που έγιναν στη λίμνη

(π.χ. παραλιακοί δρόμοι, τοιχία, μπαζώματα, οικοπεδοποίηση του πεδίου πλημμύρας της λίμνης) είχαν αρνητικές επιπτώσεις στο οικοσύστημά της και συνέβαλαν βαθμιαία στην αλλαγή της φυσικής παραλίας, στη μείωση της έκτασης της λίμνης, του συνολικού όγκου νερού της και τη δυνατότητα αυτοκαθαρισμού της. Επιπρόσθετα, οι πολλές ανθρωπογενείς δραστηριότητες που παρατηρούνται στη λίμνη, όπως για παράδειγμα άρδευση, αλιεία, γεωργία, ναυταθλητισμός, αναψυχή (Βαρδάκα 2001), συμβάλλουν στην περαιτέρω υποβάθμιση της. Πιο επιβαρυντική είναι η άρδευση γιατί προκαλεί μείωση της στάθμης της (Karakitsios 2005).

1.2.3 Προηγούμενες μελέτες στο φυτοπλαγκτό της λίμνης

Ο πρώτος που ασχολήθηκε με το φυτοπλαγκτό της λίμνης Παμβώτιδας, είναι ο Foufas το 1958, ο οποίος μελέτησε τα διάτομα στην παραλιακή ζώνη της λίμνης (από Anagnostidis and Economou-Amilli 1980). Το 1980, οι Anagnostidis and Economou-Amilli μελέτησαν το φυτοπλαγκτό και το περίφυτο της λίμνης Παμβώτιδας από συστηματικής απόψεως. Από το 2001 έχει αναφερθεί η παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων στη λίμνη (Βαρδάκα 2001, Cook et al. 2004, Vardaka et al. 2005). Οι Gkelis et al. (2005) αναφέρουν την παρουσία κυανοτοξινών σε δείγματα φυτοπλαγκτού, ενώ οι Gkelis et al. (2006) αναφέρουν την παρουσία κυανοτοξινών σε δείγματα από ιστούς ζώων (π.χ. ιχθύς, αμφίβια).

1.3 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

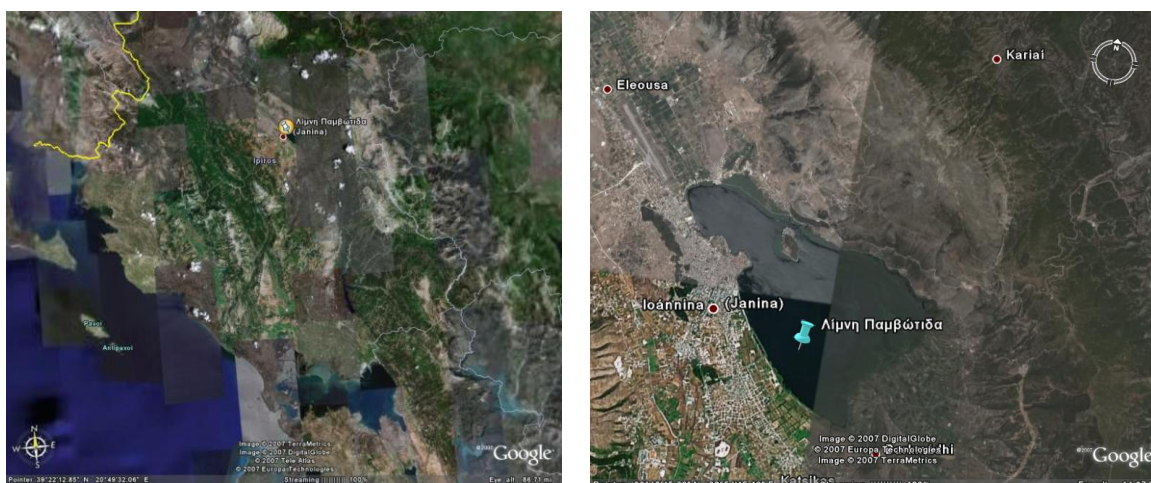
Στόχος της παρούσας εργασίας ήταν να μελετηθούν οι μεταβολές της σύνθεσης και της δυναμικής των κυανοβακτηρίων σε ένα παράκτιο σύστημα της λίμνης Παμβώτιδας κατά τη φθινοπωρινή περίοδο. Οι μεταβολές μελετήθηκαν σε μικρή χρονική κλίμακα (30 ημέρες) και με υψηλή ανάλυση δειγματοληψιών (ανά 3 ή 4 ημέρες). Η υψηλή ανάλυση επιλέχθηκε διότι πολλές κρίσιμες διεργασίες μπορούν να συμβούν μέσα στη φυτοπλαγκτική κοινωνία σε περιόδους μικρότερες της μιας εβδομάδας, λόγω του μικρού μεγέθους των φυτοπλαγκτικών οργανισμών (10^{-6} έως 10^{-3} m) και του μικρού χρόνου γενεάς τους (0,5 έως 50 ημέρες), (Sommer et al. 1993, Reynolds 2006).

2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.1 ΠΕΡΙΟΧΗ, ΧΡΟΝΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ, ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΣΤΑΘΜΟΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΩΝ

Η παρούσα μελέτη έλαβε χώρα στη λίμνη Παμβώτιδα (Εικόνα 1), κατά τους μήνες Οκτώβριο και Νοέμβριο του 2006. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν δέκα δειγματοληψίες: α) σε μικρή χρονική κλίμακα (31 ημέρες) την περίοδο από τις 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοέμβριου 2006, β) με υψηλή ανάλυση συχνότητας (ανά 3 ή 4 ημέρες) και γ) τις πρωινές ώρες (μεταξύ 8.30 – 10.00 π.μ.).

Ο σταθμός συλλογής δειγμάτων επιλέχθηκε στη παράκτια ζώνη της λίμνης. Το βάθος της στήλης του νερού στο σταθμό είναι μικρότερο από 1m. Ο δειγματοληπτικός σταθμός βρίσκεται σε οικιστική περιοχή όπου υπάρχει πρόσβαση στη λίμνη για ανθρώπους και ζώα (πόλη Ιωαννίνων - Ναυτικός Όμιλος).



Α **Β**
Εικόνα 1. Α) Χάρτης της ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής της λίμνης Παμβώτιδας. Με κίτρινο κύκλο σημειώνεται η θέση της λίμνης Παμβώτιδας. Β) Δορυφορική εικόνα της λίμνης Παμβώτιδας (Πηγή φωτογραφιών: www.google.earth.com).

2.2 ΣΥΛΛΟΓΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ

Η συλλογή δειγμάτων φυτοπλαγκτού, έγινε από το επιφανειακό στρώμα νερού της λίμνης, με πλαστικό δοχείο χωρητικότητας 1 L.

Τα δείγματα συλλέγονταν σε πλαστικά μπουκάλια όπου γινόταν *in situ* στερέωση των δειγμάτων με διάλυμα Lugol, (20 g KI, 10 g I₂, 180 mL απεσταγμένο νερό), (Rott 1981). Τα δείγματα τοποθετούνταν στο σκοτάδι και μεταφέρονταν στο εργαστήριο.

2.3 ΤΑΞΙΝΟΜΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η αναγνώριση των κυανοβακτηρίων έγινε σε ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON TE2000-U (Japan) από στερεωμένα με Lugol δείγματα. Η λήψη των φωτογραφιών έγινε με τη χρήση ψηφιακής φωτογραφικής βιντεοκάμερας τύπου NIKON, DS - 5M - L1 (Japan), η οποία ήταν συνδεδεμένη στο ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON, TE2000-U.

Για την ταυτοποίηση των κυανοβακτηρίων χρησιμοποιήθηκαν τα ταξινομικά συγγράμματα των Anagnostidis and Komarek (1985, 1988), Komarek and Anagnostidis (1999), Huber-Pestalozzi (1938) και Tikkanen (1986). Επίσης χρησιμοποιήθηκαν οι επιστημονικές εργασίες ταξινομικού χαρακτήρα των Komarek and Kovacik (1989), Hindak and Moustaka – Gouni (1988), Li et al. (2000a), Li et al. (2000b), Hindak (2000), Komarkova-Legnerova and Eloranda (1992), Komarek (1991, 2003) και Horecka and Komarek (1979).

2.4 ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η καταμέτρηση των τριχωμάτων και αποικιών των κυαναβακτηρίων έγινε σε θαλάμους καθίζησης 5, 10, 25 ml σύμφωνα με τη μέθοδο του Utermöhl (1958) και την τροποποίηση κατά Sandgren and Robinson (1984). Οι χρόνοι καθίζησης ήταν 2 h. Όταν ήταν απαραίτητο, γινόταν αραιώση των δειγμάτων με απεσταγμένο νερό, ανάλογα με την πυκνότητα του δείγματος προκειμένου να είναι δυνατή η καταμέτρηση των δειγμάτων.

Αρχικά, για κάθε δείγμα, πραγματοποιήθηκε έλεγχος του θαλάμου στο ανάστροφο μικροσκόπιο ως προς την κατανομή, αφθονία και μέγεθος των οργανισμών. Η επιφάνεια του θαλάμου η οποία χρησιμοποιήθηκε για την καταμέτρηση των κυαναβακτηρίων καθώς και η μεγέθυνση του φακού εξαρτώνταν από το μέγεθος των οργανισμών και τον αριθμό των παρόντων ατόμων (αποικίες, τριχώματα). Η θέση των οπτικών πεδίων καθορίστηκε σύμφωνα με τη σχέση του εμβαδού της επιφάνειας της κεντρικής περιοχής προς το εμβαδόν της περιφέρειας (Sandgren and Robinson

1984). Στις περιπτώσεις που η καταμέτρηση των ατόμων έγινε με σάρωση, η αφθονία των ατόμων εκφράστηκε ως αριθμός ατόμων ανά ml νερού (Βαρδάκα 2001).

2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΙΟΜΑΖΑΣ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η μετατροπή των τιμών αφθονίας σε τιμές βιομάζας έγινε με τον υπολογισμό των κυτταρικών όγκων (κυττάρων ή νημάτων). Η μέτρηση των διαστάσεων των κυττάρων των αποικιών και νημάτων (βλαστητικά κύτταρα, ετεροκύτια και ακινέτια) έγινε με τη χρήση ψηφιακής φωτογραφικής βιντεοκάμερας τύπου NIKON, DS-5M-L1 (Japan), η οποία ήταν συνδεδεμένη στο ανάστροφο μικροσκόπιο NIKON, TE2000-U.H.

Ο υπολογισμός των κυτταρικών όγκων έγινε μετά από μέτρηση των κυτταρικών διαστάσεων 50 τουλάχιστον ατόμων των πιο άφθονων ειδών και σύμφωνα με τους γεωμετρικούς τύπους που δίνονται από τους Willen (1976) και Rott (1981). Η μετατροπή των κυτταρικών όγκων σε βιομάζα έγινε με βάση την παραδοχή ότι η μέση ειδική πυκνότητα του κυττάρου είναι 1 g L^{-1} (Rott 1981). Οι τιμές της βιομάζας εκφράζονται ως $\text{mg κυανοβακτήρια L}^{-1}$ νερού (mg L^{-1}). Ως επικρατούντα χαρακτηρίζονται τα είδη που η βιομάζα τους αποτελεί $>10\%$ (v/v) της βιομάζας όλων των κυαναβακτηρίων (κυανοβακτηριακή βιομάζα) σε δεδομένη χρονική στιγμή (Βαρδάκα 2001).

2.6 ΚΑΘΑΡΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΑΥΞΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης (r) για τους πληθυσμούς των κυανοβακτηρίων υπολογίστηκε με βάση τις τιμές βιομάζας τους. Χρησιμοποιήθηκε η ακόλουθη εξίσωση σύμφωνα με τους Lampert and Sommer (1997):

$$r = (\ln N_{t+1} - \ln N_t) / (t_{+1} - t),$$

όπου N_{t+1} = η τιμή βιομάζας τη χρονική στιγμή t_{+1} και N_t = η τιμή βιομάζας τη χρονική στιγμή t .

2.7 ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε σε Η/Υ τύπου PC, με τη χρήση του προγράμματος SPSS 11.0.1. for Windows και περιελάμβανε έλεγχο με Ανάλυση Συσχέτισης (Correlation Analysis, Legendre & Legendre 1998).

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΙΔΩΝ

3.1.1 Ταξινομικοί προσδιορισμοί

Από την εξέταση των δειγμάτων νερού που συλλέχθηκαν από τη λίμνη Παμβώτιδα τη φθινοπωρινή περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006, αναγνωρίστηκαν συνολικά 11 είδη κυανοβακτηρίων (Πίνακας 1).

Πίνακας 1. Κατάλογος ειδών κυανοβακτηρίων που προσδιορίστηκαν στα δείγματα φυτοπλαγκτού που συλλέχθηκαν από το επιφανειακό στρώμα της Λίμνης Παμβώτιδας κατά τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006. Με (*) συμβολίζονται τα είδη των κυανοβακτηρίων τα οποία είναι γνωστά από τη βιβλιογραφία ως εν δυνάμει τοξικά (Sivonen and Jones 1999).

Cyanophyceae

Chroococcales

Aphanothece clathrata W. et G.S. WEST

Chroococcus limneticus LEMMERMANN

**Microcystis aeruginosa* (KÜTZING) KÜTZING

Pannus microcystiformis HINDÁK

Snowella lacustris (CHODAT) KOMÁREK et HINDÁK

Oscillatoriales

Limnothrix redekei (VAN GOOR) MEFFERT

Lyngbya sp.

Oscillatoria tenuis AGARDH ex GOMONT

Nostocales

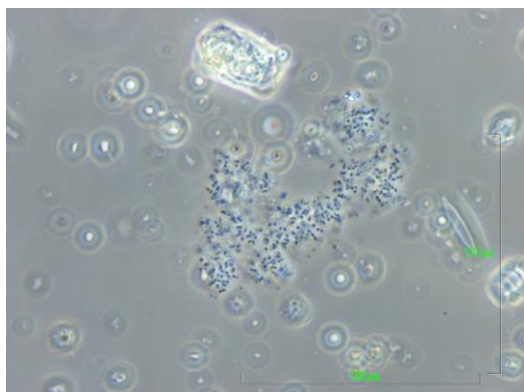
**Anabaena flos-aquae* BREBISSON ex BORNET et FLAHAULT

Anabaena scheremetievi ELENKIN

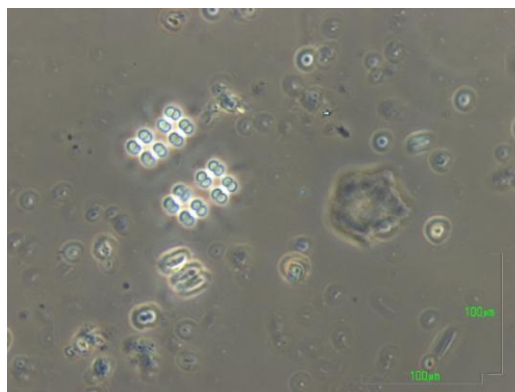
**Aphanizomenon flos-aquae* ELENKIN

Από το σύνολο των ειδών, στην τάξη Chroococcales ανήκουν 5 είδη (Εικόνα 2), στην τάξη Oscillatoriales 3 είδη (Εικόνα 3) και στην τάξη Nostocales 3 είδη (Εικόνα 4).

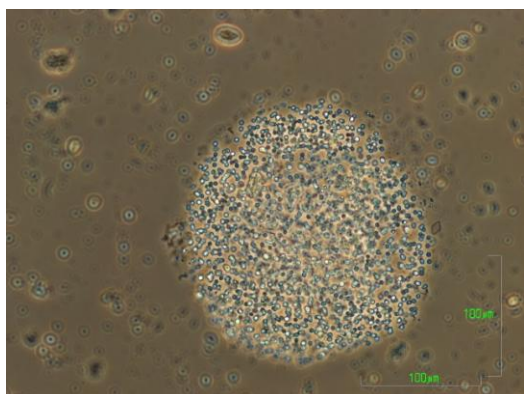
Από 11 είδη κυανοβακτηρίων που αναγνωρίστηκαν στη λίμνη Παμβώτιδα, τα *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* αναφέρονται στη βιβλιογραφία ως εν δυνάμει τοξικά (Sivonen and Jones 1999).



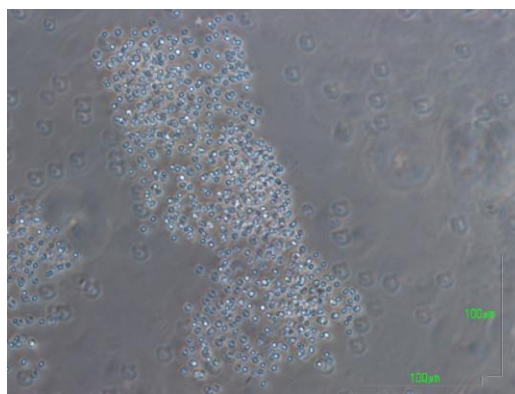
Aphanothece clathrata. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή



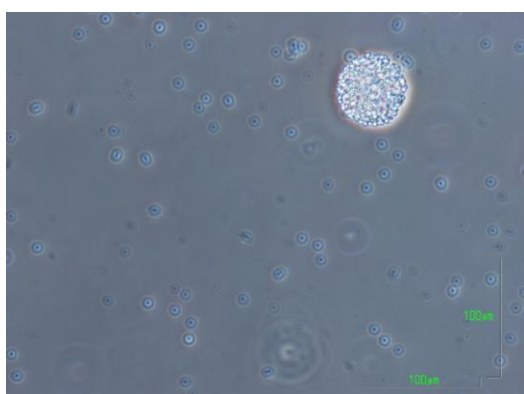
Chroococcus limneticus Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή



Microcystis aeruginosa Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή

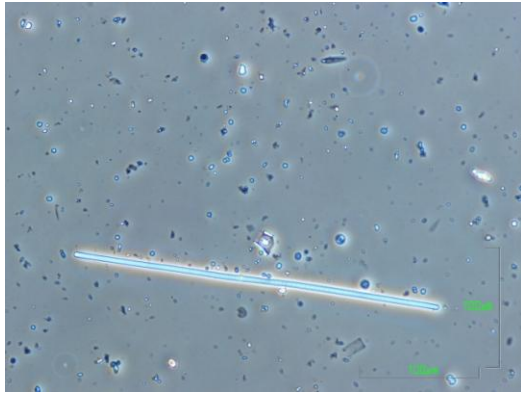


Pannus microcystiformis Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή

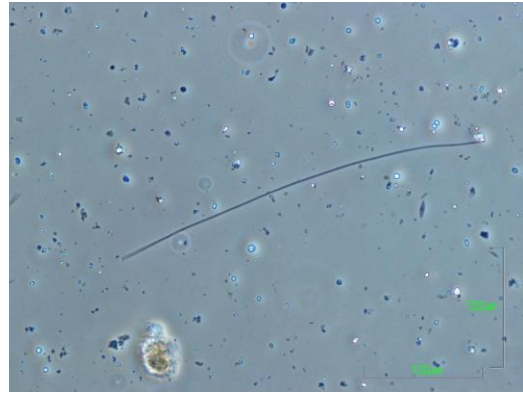


Snowella lacustris Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή

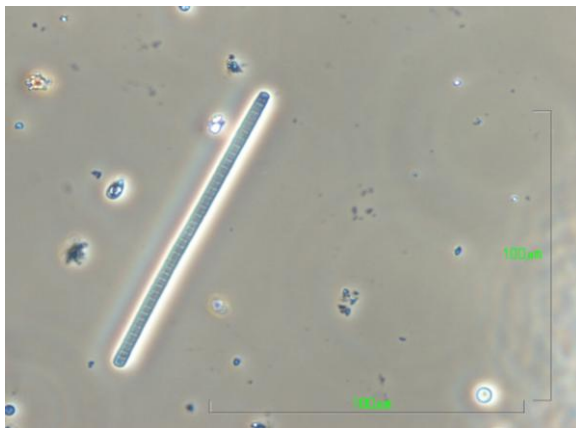
Εικόνα 2. Είδη κυανοβακτηρίων της τάξης των Chroococcales, που αναγνωρίστηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα κατά τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.



Limnothrix redekei. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή



Lyngbya sp. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή



Oscillatoria tenuis. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή

Εικόνα 3. Είδη κυανοβακτηρίων της τάξης των Oscillatoriales, που αναγνωρίστηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα κατά τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.



Anabaena flos-aquae. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή



Anabaena scheremetievi. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή



Aphanizomenon flos-aquae. Φώτο:
Σεβτσένκο Ινέσσα, Ξυνή Χρυσή

Εικόνα 4. Είδη κυανοβακτηρίων της τάξης των Nostocales, που αναγνωρίστηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα κατά τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

3.2. ΧΡΟΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΤΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Στον Πίνακα 2, δίνεται αναλυτικά η παρουσία – απουσία του κάθε είδους σε κάθε ημέρα δειγματοληψίας ξεχωριστά. Παρατηρούμε ότι η παρουσία - απουσία των ειδών εμφανίζει μεταβολές κατά τη χρονική περίοδο της παρούσας έρευνας.

Με βάση τη συχνότητα εμφάνισης των ειδών κατά τη διάρκεια της έρευνας διακρίθηκαν τρεις ομάδες κυανοβακτηρίων:

Η πρώτη ομάδα αποτελείται από τέσσερα (5) είδη, τα οποία ήταν παρόντα στα δείγματα σε ποσοστό $\geq 80\%$. Τα είδη ήταν τα εξής: *Pannus microcystiformis*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi*, *Aphanizomenon flos-aquae* και *Microcystis aeruginosa*. Σημειώνεται ότι τα 3 από τα παραπάνω είδη, το *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* και το *Microcystis aeruginosa*, είναι εν δυνάμει τοξικά.

Η δεύτερη ομάδα αποτελείται από τέσσερα (5) είδη, τα οποία ήταν παρόντα σε ποσοστό 50-60%. Τα είδη ήταν τα εξής: *Aphanothece clathrata*, *Chroococcus limneticus*, *Snowella lacustris*, *Oscillatoria tenuis* και *Lyngbya* sp. Κανένα από τα παραπάνω είδη δεν είναι εν δυνάμει τοξικό.

Τέλος η τρίτη ομάδα αποτελείται από ένα (1) είδος το *Limnothrix redekei* το οποίο ήταν παρόν σε ποσοστό 20%. Το είδος αυτό δεν έχει αναφερθεί ως εν δυνάμει τοξικό.

Πίνακας 2. Παρουσία - απουσία των ειδών των κυανοβακτηρίων στο επιφανειακό στρώμα της Λίμνης Παμβώτιδας κατά τη χρονική περίοδο από τις 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006. Με (+) συμβολίζεται η παρουσία του είδους. Με γκρι σκίαση σημειώνεται η παρουσία – απουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων.

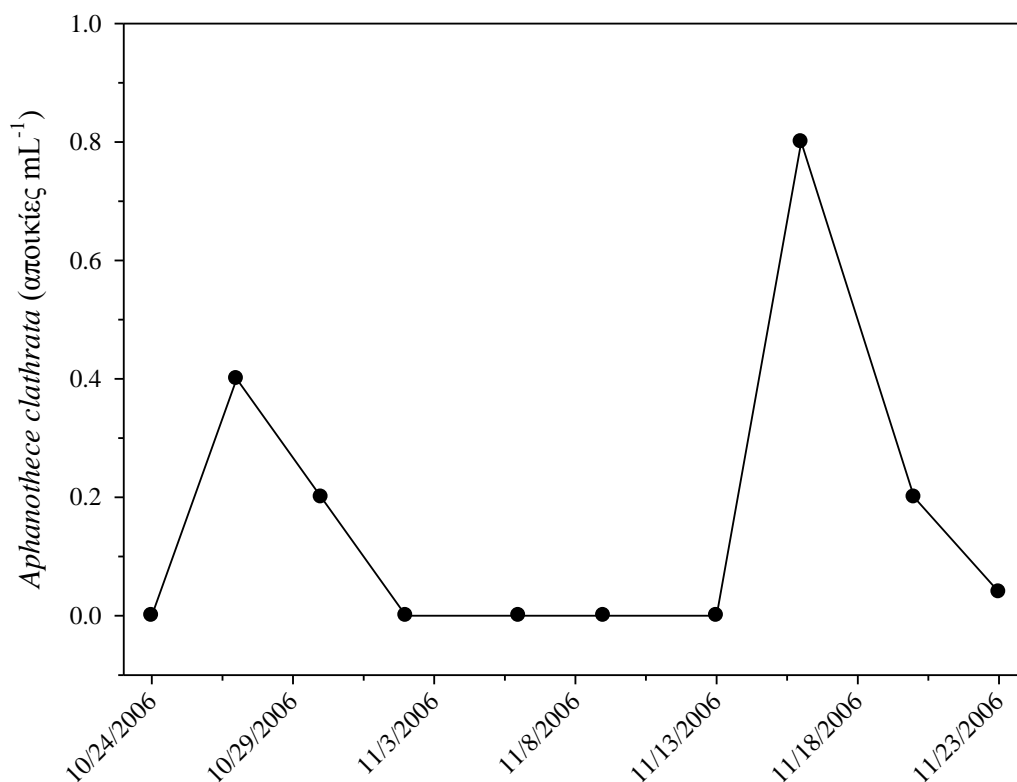
Taxa	Ημερομηνία δειγματοληψίας									
	24/10/2006	27/10/2006	30/10/2006	2/11/2006	6/11/2006	9/11/2006	13/11/2006	16/11/2006	20/11/2006	23/11/2006
<i>Chroococcales</i>										
<i>Aphanothece clathrata</i>		+	+					+	+	+
<i>Chroococcus limneticus</i>			+			+	+	+	+	+
<i>Microcystis aeruginosa</i>	+	+	+	+	+	+	+			+
<i>Pannus microcystiformis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Snowella lacustris</i>		+	+		+	+	+			+
<i>Nostocales</i>										
<i>Anabaena flos-aquae</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Anabaena scheremetievi</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Oscillatoriales</i>										
<i>Limnothrix redekei</i>						+		+		
<i>Lygbya sp.</i>					+	+	+	+	+	+
<i>Oscillatoria tenuis</i>			+	+	+				+	+
Συνολικός αριθμός taxa	5	7	9	6	8	9	8	8	8	10

3.3. ΑΦΘΟΝΙΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

3.3.1 Chroococcales

Aphanothece clathrata

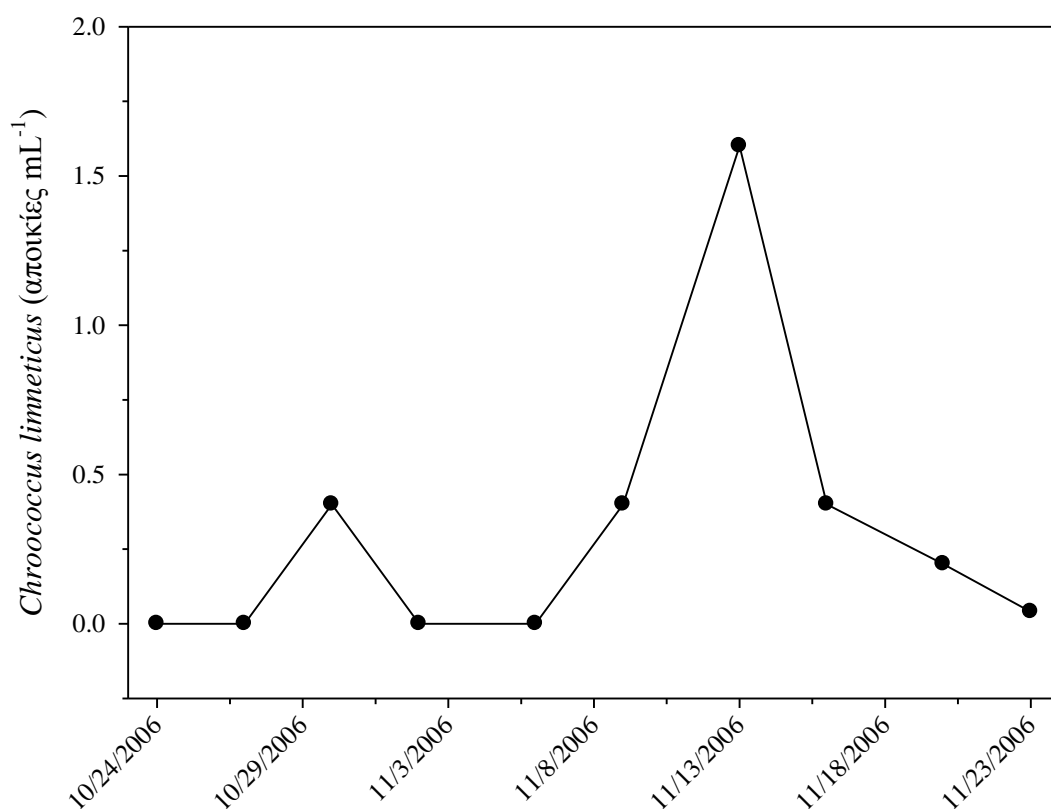
Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanothece clathrata* κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές (0 έως 0,8 αποικίες mL⁻¹), (Εικόνα 5). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 16 Νοεμβρίου 2006.



Εικόνα 5. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Aphanothece clathrata* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Chroococcus limneticus

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Chroococcus limneticus* κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές (0 έως 1,6 αποικίες mL⁻¹), (Εικόνα 6). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 13 Νοεμβρίου 2006.



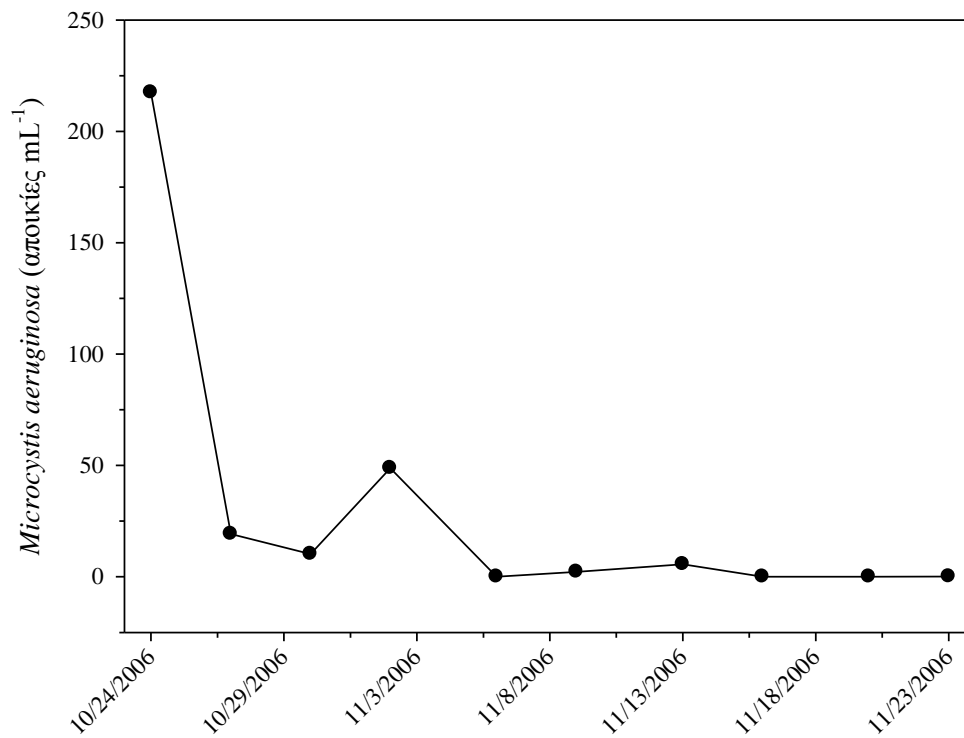
Εικόνα 6. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηριού *Chroococcus limneticus* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

***Microcystis aeruginosa* (KÜTZING) KÜTZING**

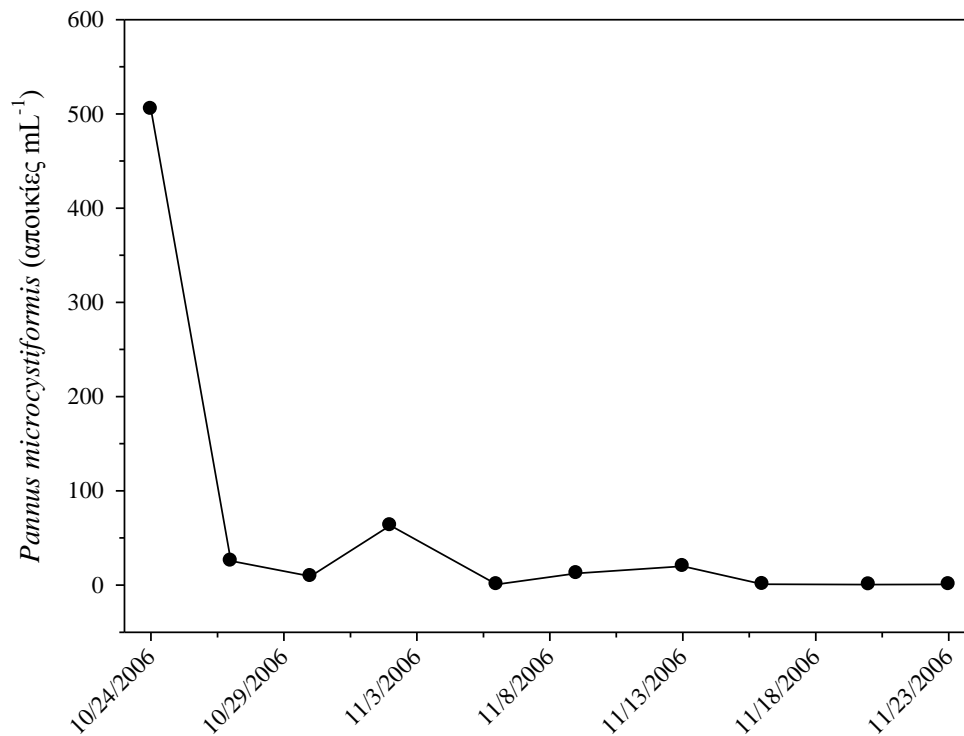
Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηριού *Microcystis aeruginosa* κυμάνθηκε σε υψηλές τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα Chroococales (0 έως 217,5 αποικίες mL⁻¹), (Εικόνα 7). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου 2006.

***Pannus microcystiformis* HINDÁK**

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηριού *Pannus microcystiformis* κυμάνθηκε στις υψηλότερες τιμές σε σχέση με τα υπόλοιπα Chroococales (0 έως 505,08 αποικίες mL⁻¹), (Εικόνα 8). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου 2006.



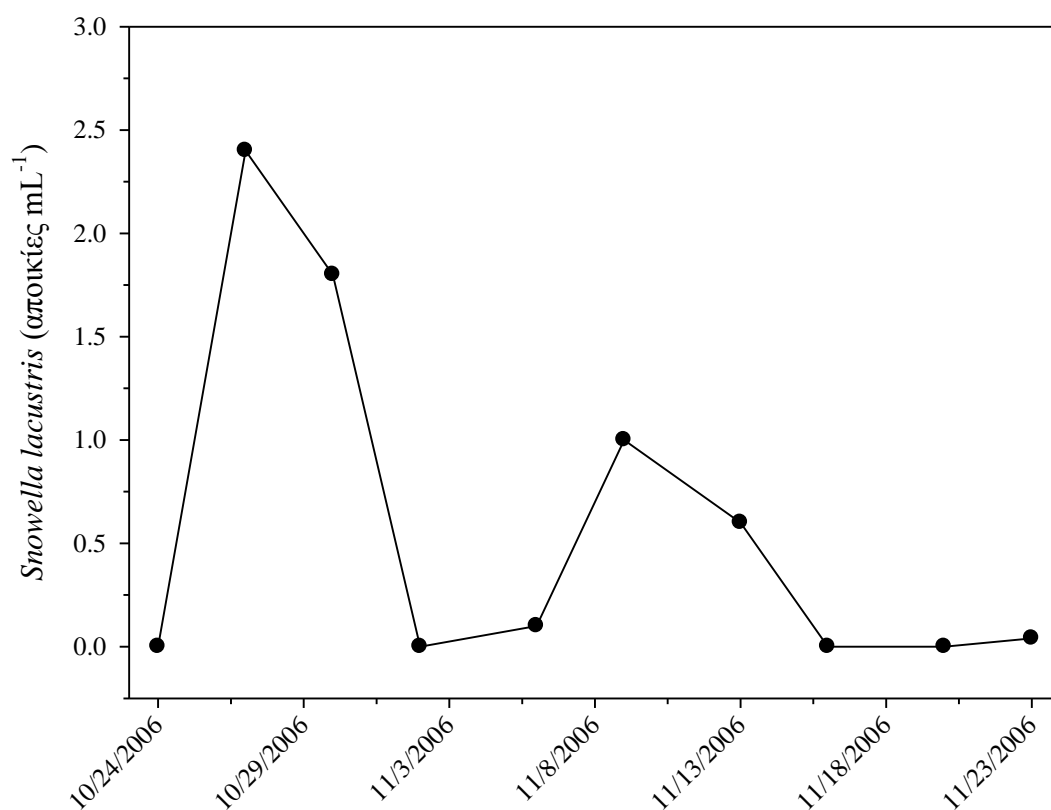
Εικόνα 7. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Microcystis aeruginosa* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.



Εικόνα 8. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Pannus microcystiformis* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Snowella lacustris (CHODAT) KOMÁREK et HINDÁK

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Snowella lacustris* κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές (0 έως 2,4 αποικίες mL⁻¹), (Εικόνα 9). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 27 Οκτωβρίου 2006 .

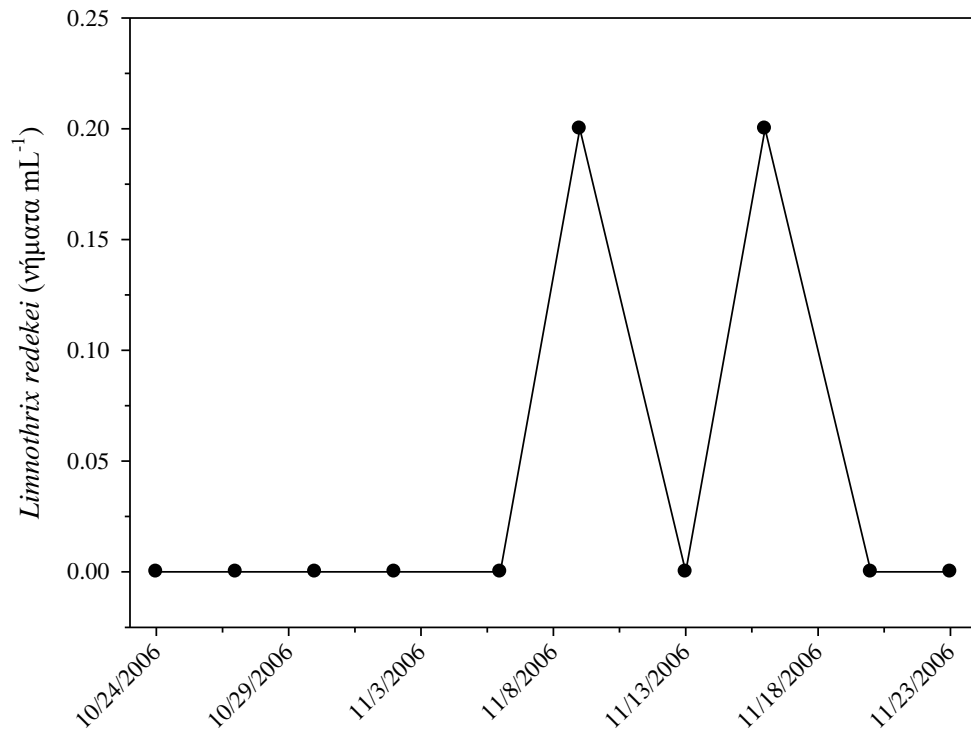


Εικόνα 9. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Snowella lacustris* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

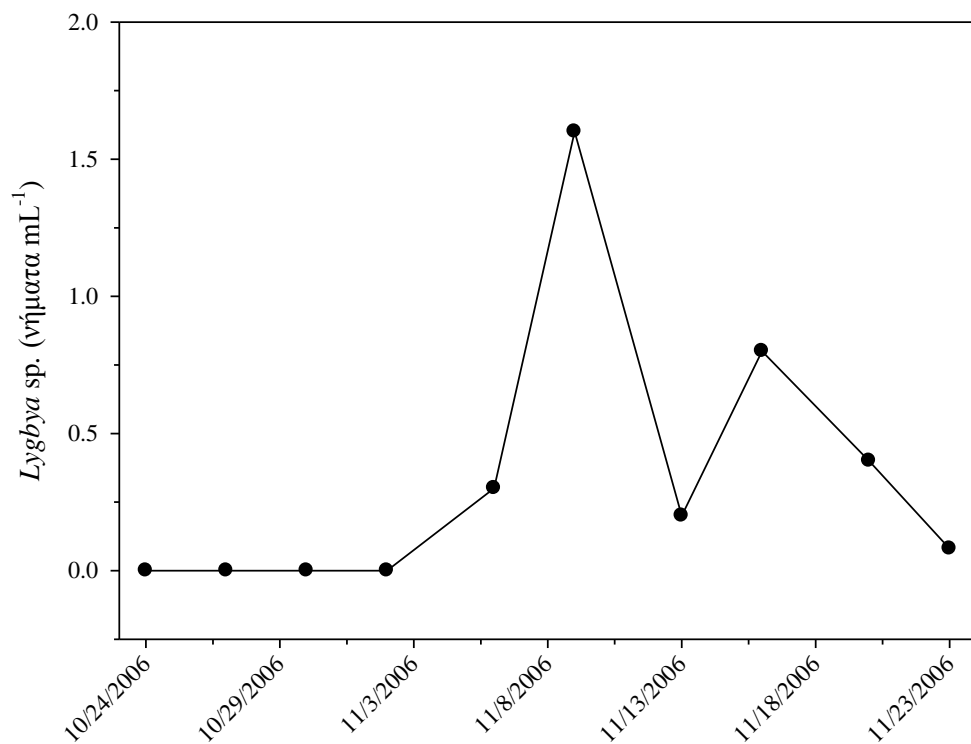
3.3.2. Oscillatoriales

Limnothrix redekei (VAN GOOR) MEFFERT

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Limnothrix redekei* κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές (0 έως 0,2 νήματα mL⁻¹), (Εικόνα 10). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 9 και 16 Νοεμβρίου 2006 .



Εικόνα 10. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Limnothrix redekei* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.



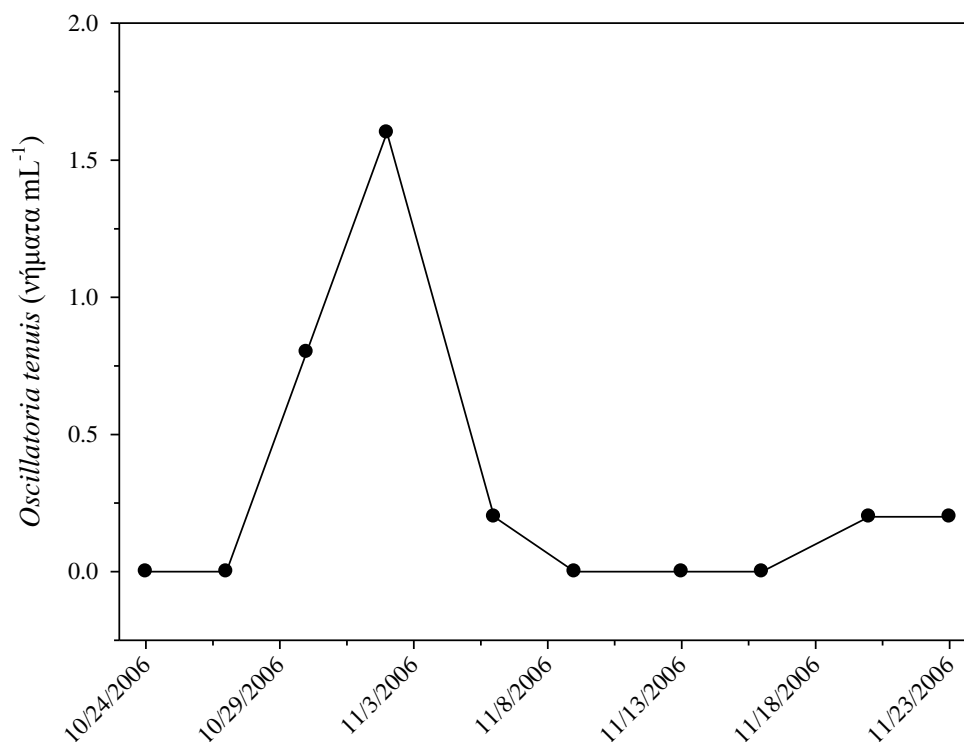
Εικόνα 11. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Lyngbya* sp. που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

***Lyngbya* sp.**

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Lyngbya* sp. κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές (0 έως 1,6 νήματα mL⁻¹), (Εικόνα 11). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 9 Νοεμβρίου 2006 .

***Oscillatoria tenuis* AGARDH ex GOMONT**

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Oscillatoria tenuis* κυμάνθηκε σε χαμηλές τιμές (0 έως 1,6 νήματα mL⁻¹), (Εικόνα 12). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 2 Νοεμβρίου 2006 .

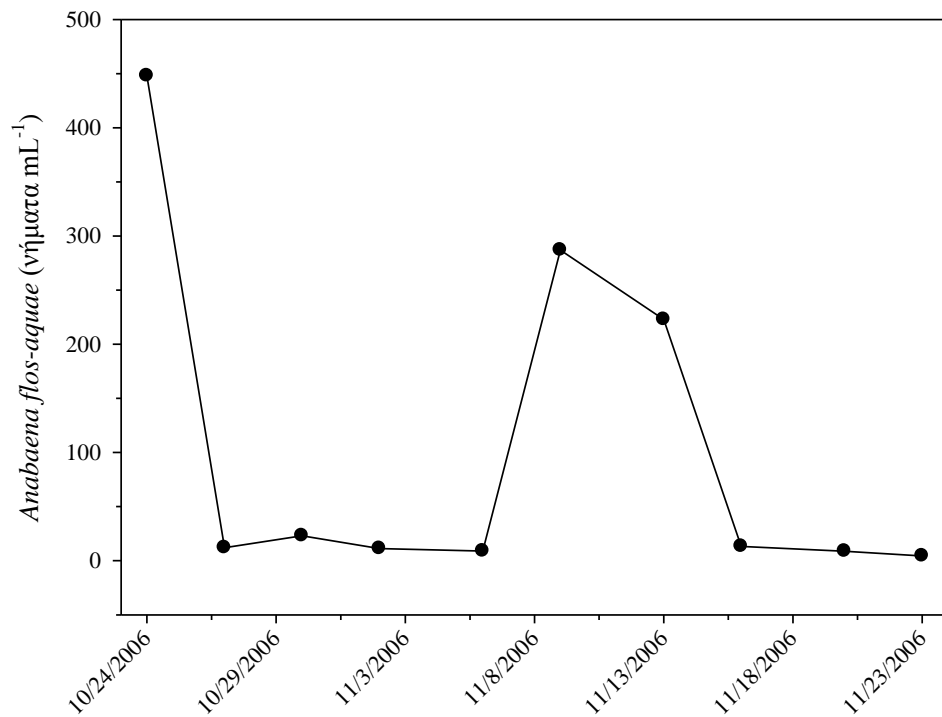


Εικόνα 12.. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Oscillatoria tenuis* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

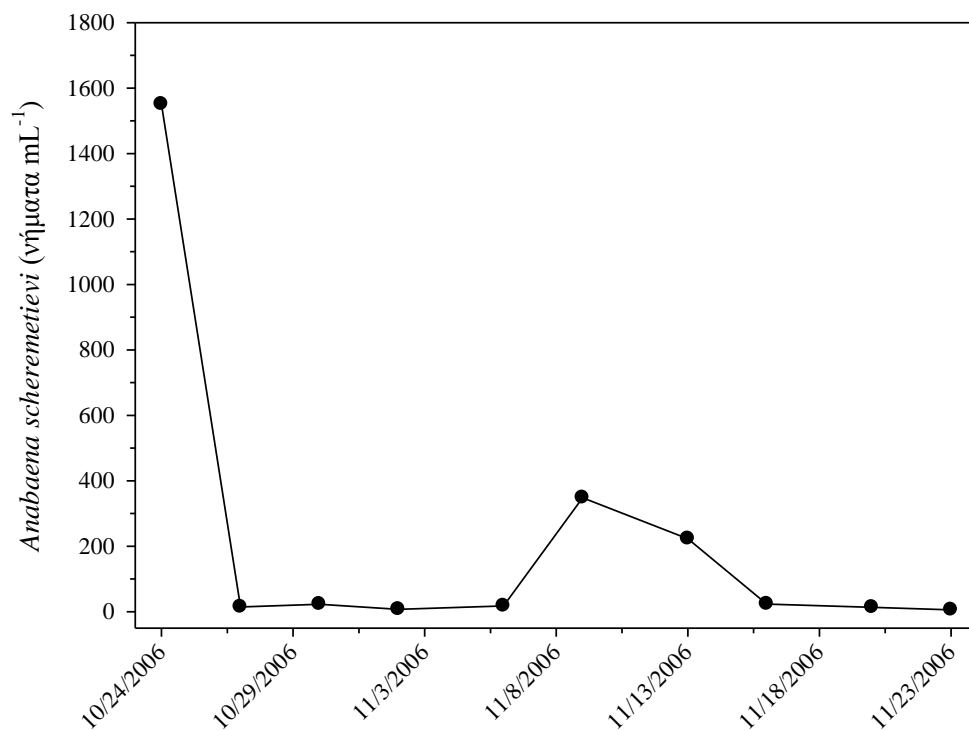
3.3.3. Nostocales

***Anabaena flos-aquae* BREBISSON ex BORNET et FLAHAULT**

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Anabaena flos-aquae* κυμάνθηκε από 4,4 έως 447,9 νήματα mL⁻¹, (Εικόνα 13). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου 2006.



Εικόνα 13. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Anabaena flos-aquae* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.



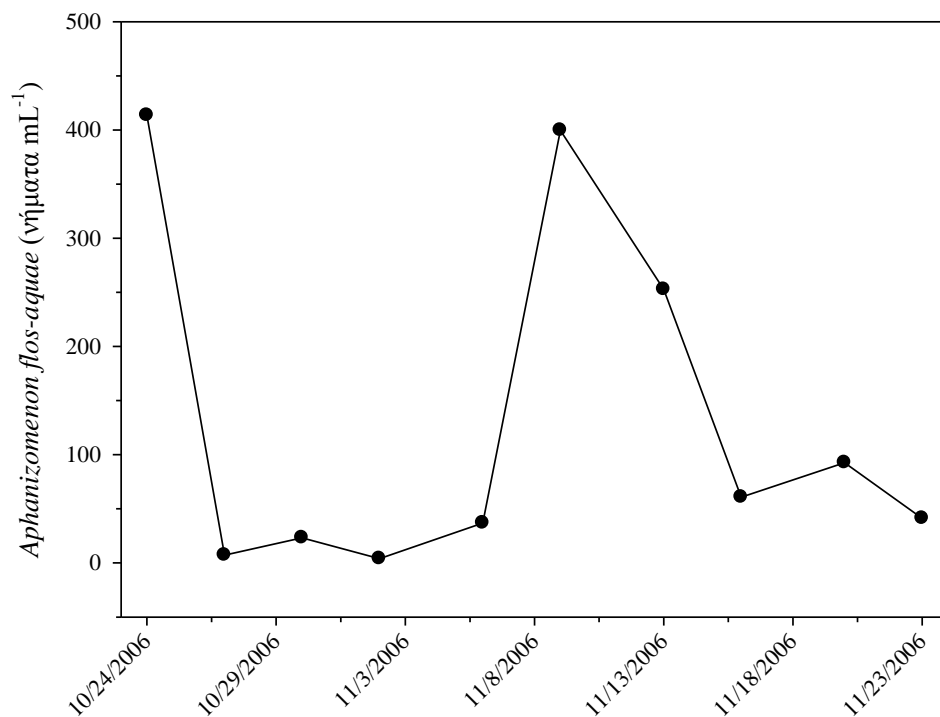
Εικόνα 14. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Anabaena scheremetievi* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

***Anabaena scheremetievi* ELENKIN**

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Anabaena scheremetievi* κυμάνθηκε από 5,5 έως 1550,7 νήματα mL⁻¹ (Εικόνα 14). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου 2006.

***Aphanizomenon flos-aquae* ELENKIN**

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η αφθονία του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* κυμάνθηκε από 4 έως 413,5 νήματα mL⁻¹ (Εικόνα 15). Η υψηλότερη τιμή αφθονίας παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου 2006.

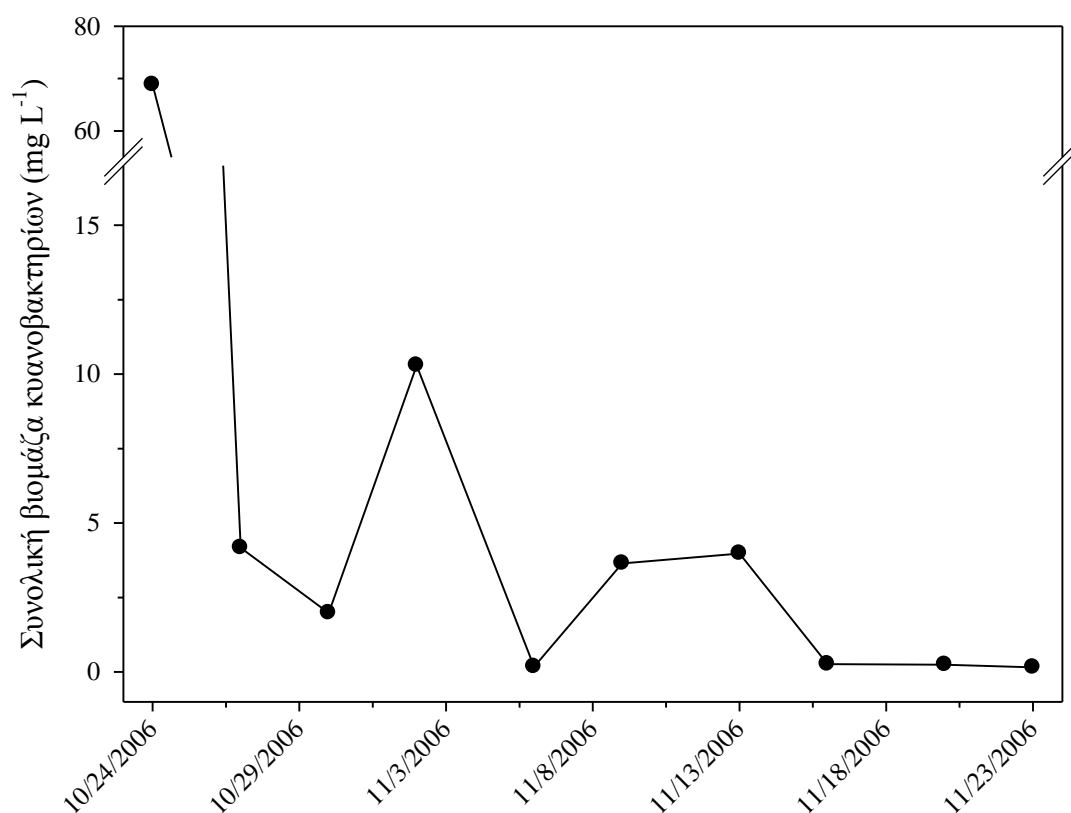


Εικόνα 15. Χρονικές μεταβολές της αφθονίας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

3.4. ΒΙΟΜΑΖΑ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

3.4.1 Συνολική Βιομάζα

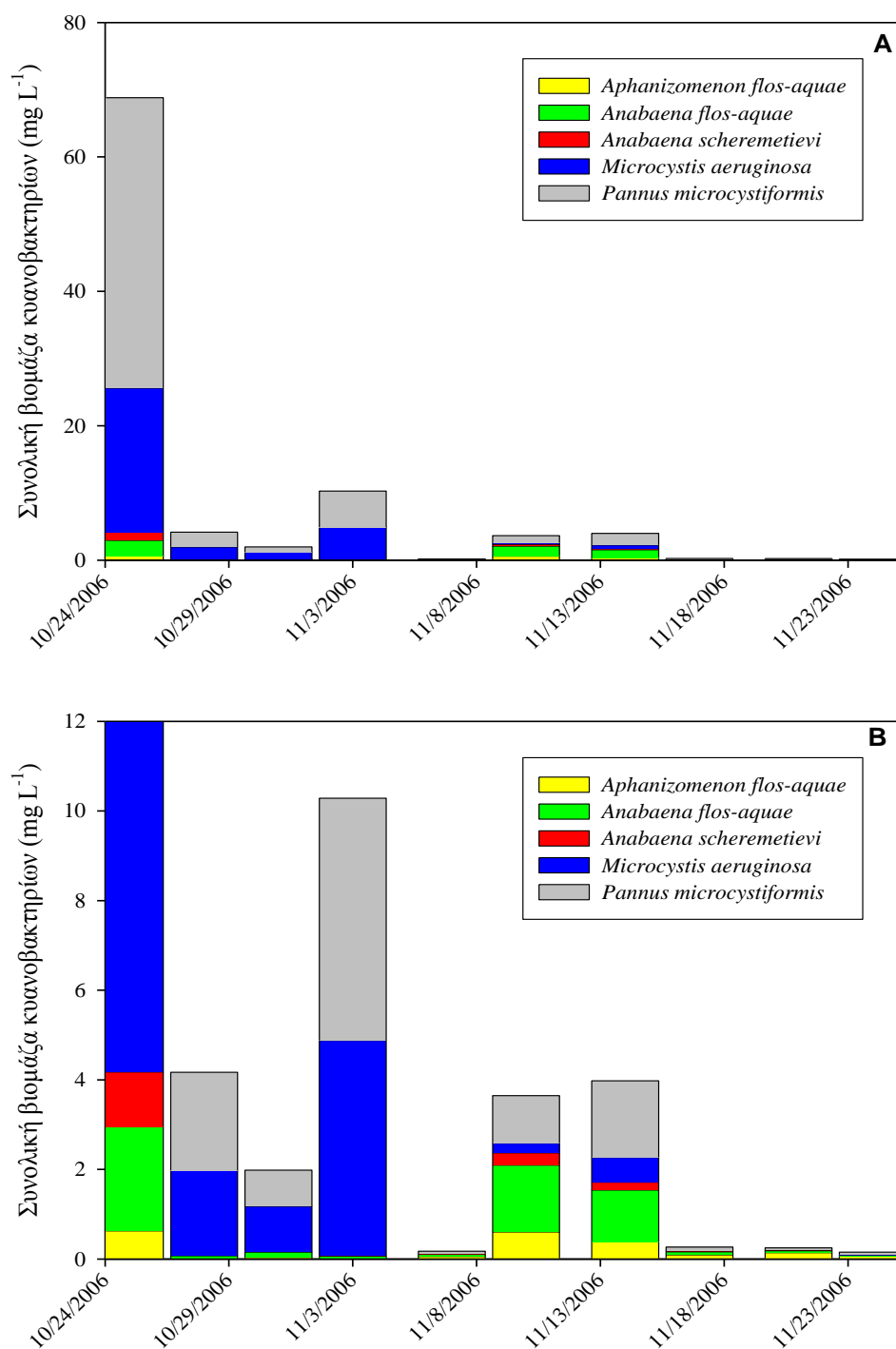
Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων κυμάνθηκε από $0,152 \text{ mg L}^{-1}$ έως $68,812 \text{ mg L}^{-1}$ (Εικόνα 16). Άνθιση του νερού παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου και στις 2 Νοεμβρίου 2006, οπότε και καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές βιομάζας ($68,812 \text{ mg L}^{-1}$ και $10,286 \text{ mg L}^{-1}$ για τις δύο ημερομηνίες, αντίστοιχα). Οι χαμηλότερες τιμές βιομάζας παρατηρήθηκαν στις 6 Νοεμβρίου 2006 ($0,176 \text{ mg L}^{-1}$) και στις 23 Νοεμβρίου 2006 ($0,152 \text{ mg L}^{-1}$).



Εικόνα 16. Χρονικές μεταβολές της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

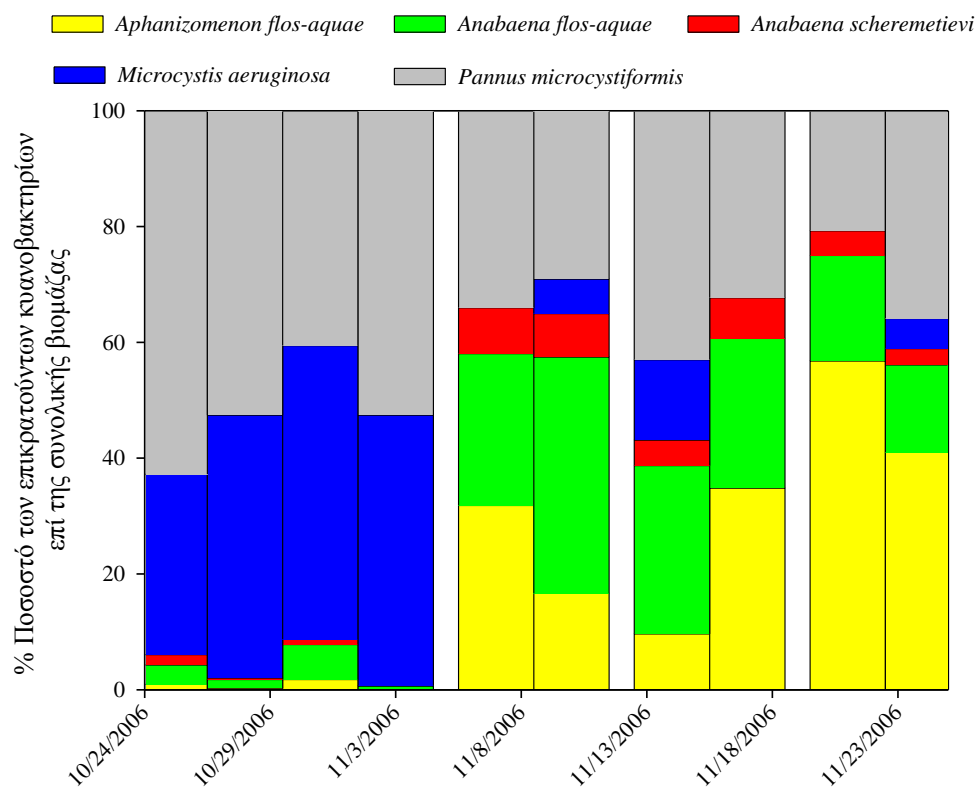
Τα κυανοβακτήρια που επικρατούσαν στη λίμνη Παμβώτιδα με βάση τη βιομάζα ανήκαν είτε στην τάξη των Chroococcales (*Microcystis aeruginosa*, *Pannus*

microcystiformis) είτε στην τάξη των Nostocales (*Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* και *Aphanizomenon flos-aquae*), (Εικόνα 17).



Εικόνα 17. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας των κυανοβακτηρίων που επικρατούσαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006. (A) Μεταβολές της βιομάζας σε κλίμακα από 0 έως 80 mg L⁻¹. (B) Μεταβολές της βιομάζας σε κλίμακα από 0 έως 12 mg L⁻¹.

Κατά τη διάρκεια της πρώτης άνθισης του νερού στις 24 Οκτωβρίου 2006 τα κυανοβακτήρια που επικρατούσαν στον κυανοβακτηριακό ανθό ανήκαν κύρια στην τάξη των Chroococcales και λιγότερο στην τάξη των Nostocales. Κατά τη διάρκεια της δεύτερης άνθισης του νερού στις 2 Νοεμβρίου 2006 τα κυανοβακτήρια που επικρατούσαν στον κυανοβακτηριακό ανθό ανήκαν μόνον στην τάξη των Chroococcales (Εικόνα 17, Εικόνα 18).



Εικόνα 18. Ποσοστιαία συμμετοχή των επικρατούντων κυανοβακτηρίων επί της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Με βάση το % ποσοστό της βιομάζας των επικρατούντων κυανοβακτηρίων σε κάθε μία δειγματοληψία ξεχωριστά, μπορούμε να διακρίνουμε δύο χρονικές περιόδους (Εικόνα 18):

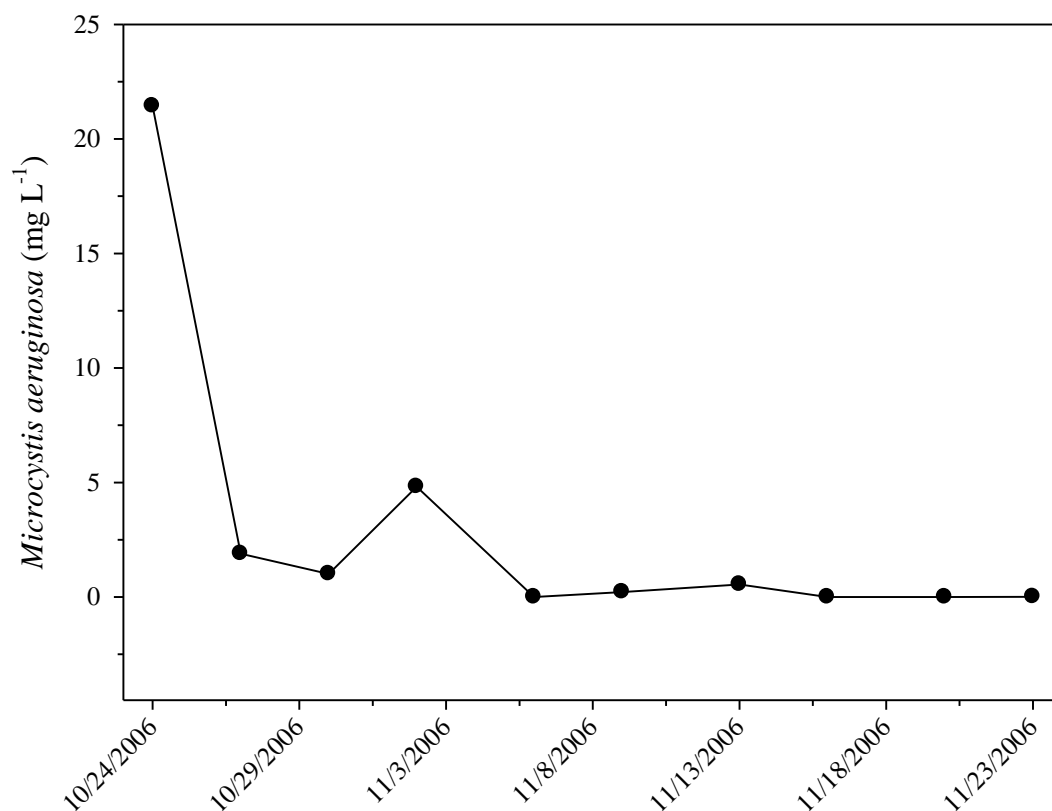
1. Η πρώτη χρονική περίοδος διαρκεί από 24 Οκτωβρίου 2006 έως 2 Νοεμβρίου 2006. Χαρακτηρίζεται από την επικράτηση στη βιομάζα των κυανοβακτηρίων ειδών της τάξης των Chroococcales τα οποία συνιστούν πάνω από το 90% της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων. Στην περίοδο αυτή σημειώνονται και τα δύο μέγιστα στη συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων (Εικόνα 17).

2. Η δεύτερη χρονική περίοδος διαρκεί από 6 Νοεμβρίου 2006 έως 23 Νοεμβρίου 2006. Στην περίοδο αυτή παρατηρείται ότι στη βιομάζα των κυανοβακτηρίων συνεπικρατούν τόσο είδη που ανήκουν στην τάξη των Chroococcales (*Microcystis aeruginosa* και *Pannus microcystiformis*) όσο και είδη που ανήκουν στην τάξη των Nostocales (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* και *Anabaena scheremetievi*), (Εικόνα 18).

Στη συνέχεια ακολουθεί η μεταβολή της βιομάζας για κάθε ένα από τα επικρατούντα κυανοβακτήρια ξεχωριστά.

3.4.2 Chroococcales

Microcystis aeruginosa (KÜTZING) KÜTZING



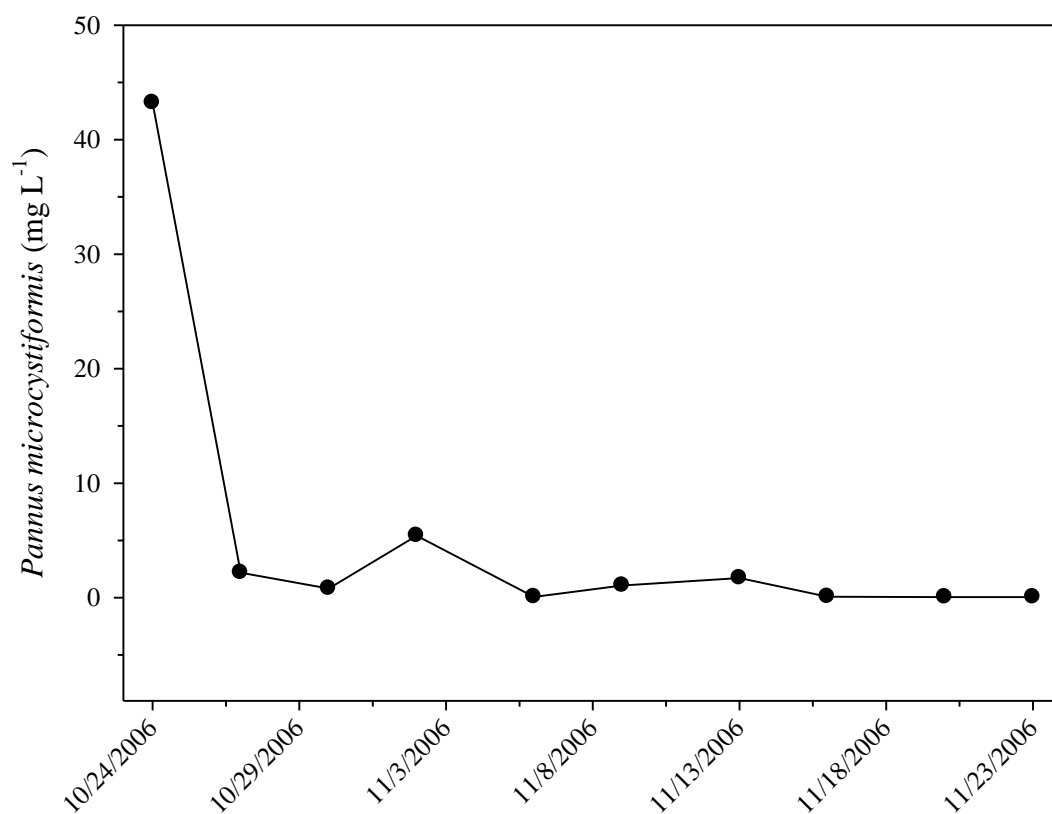
Εικόνα 19. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Microcystis aeruginosa* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Microcystis aeruginosa* κυμάνθηκε σε ένα εύρος τιμών από 0 έως 21,432 mg L⁻¹

(Εικόνα 19). Η βιομάζα του *Microcystis aeruginosa* εμφάνισε δύο μέγιστα. Το πρώτο μέγιστο παρατηρήθηκε στις 24 Οκτωβρίου 2006 ($21,432 \text{ mg L}^{-1}$), ενώ το δεύτερο μέγιστο παρατηρήθηκε στις 2 Νοεμβρίου 2006 και ήταν περίπου 4 φορές μικρότερο σε σχέση με το πρώτο μέγιστο ($4,810 \text{ mg L}^{-1}$).

Pannus microcystiformis ΗΙΝΔΆΚ

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Pannus microcystiformis* κυμάνθηκε σε ένα εύρος τιμών από 0 έως $43,206 \text{ mg L}^{-1}$ (Εικόνα 20).



Εικόνα 20.. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Pannus microcystiformis* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

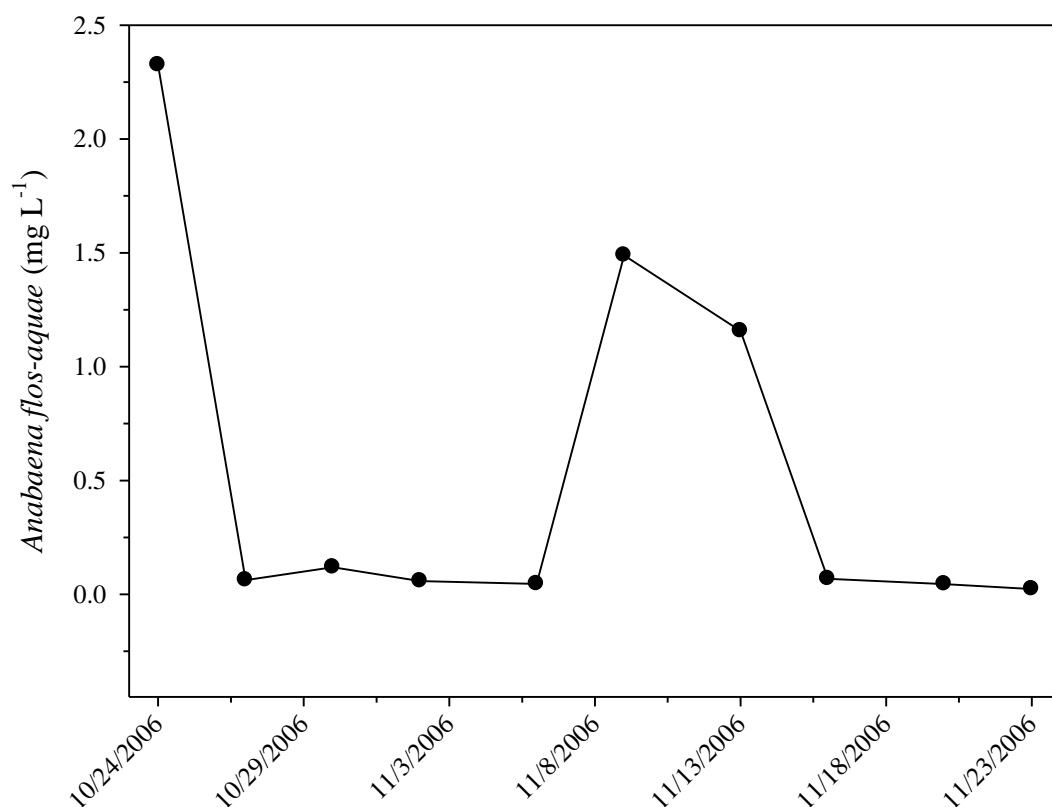
Η βιομάζα του *Pannus microcystiformis* όπως και αυτή του *Microcystis aeruginosa* εμφάνισε δύο μέγιστα (Εικόνες 19 και 20) και παρουσίασε παρόμοιο πρότυπο μεταβολής ($R = 0,994$, $P < 0,001$, $n = 10$). Το πρώτο μέγιστο παρατηρήθηκε

στις 24 Οκτωβρίου 2006 ($43,206 \text{ mg L}^{-1}$), ενώ το δεύτερο μέγιστο παρατηρήθηκε στις 2 Νοεμβρίου 2006 και ήταν περίπου 7 φορές μικρότερο σε σχέση με το πρώτο μέγιστο ($5,406 \text{ mg L}^{-1}$).

3.4.3 Nostocales

Anabaena flos-aquae BREBISSON ex BORNET et FLAHAULT

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Anabaena flos-aquae* κυμάνθηκε από $0,023$ έως $2,324 \text{ mg L}^{-1}$, (Εικόνα 21).



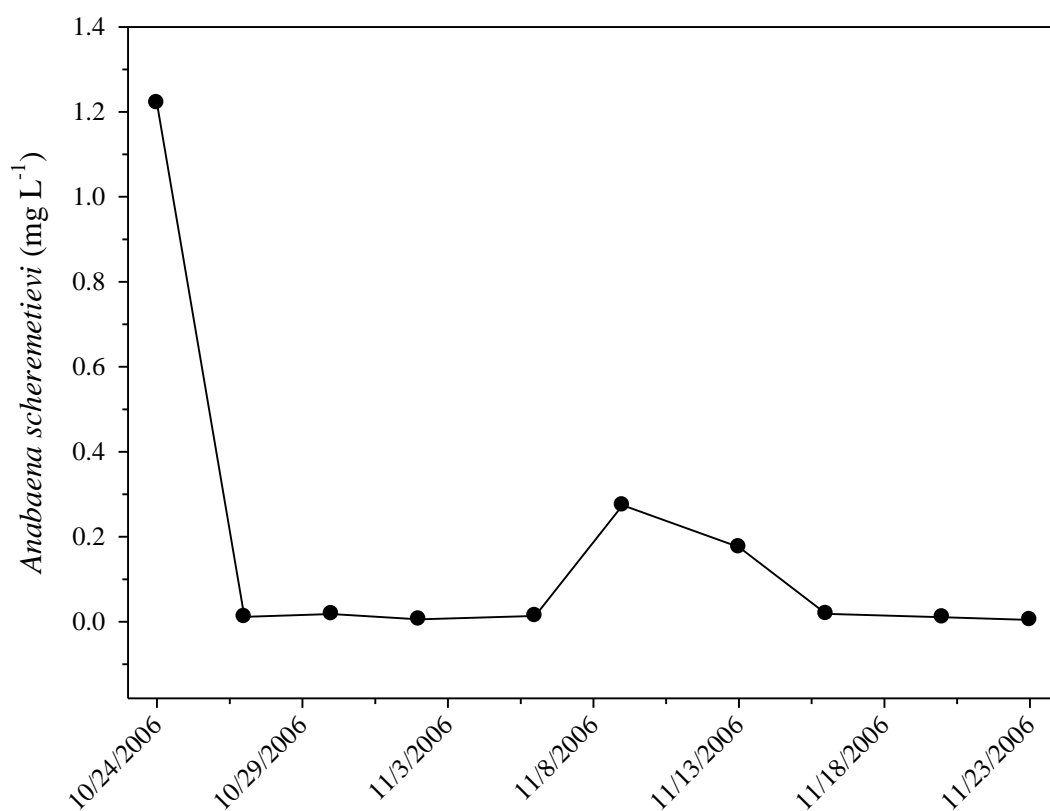
Εικόνα 21. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Anabaena flos-aquae* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Παρατηρούμε ότι η βιομάζα του *Anabaena flos-aquae* ήταν πολύ υψηλή κατά την έναρξη της περιόδου των δειγματοληψιών (24 Οκτωβρίου 2008, $2,324 \text{ mg L}^{-1}$). Οι τιμές βιομάζας του *Anabaena flos-aquae* μειώνονται σημαντικά και διατηρούνται σε χαμηλές τιμές ($0,062 \text{ mg L}^{-1}$ έως $0,046 \text{ mg L}^{-1}$) τη χρονική περίοδο από 27 Οκτωβρίου έως 6 Νοεμβρίου. Στη συνέχεια κατά την περίοδο από 9 Νοεμβρίου έως

13 Νοεμβρίου παρατηρείται αύξηση της βιομάζας του *Anabaena flos-aquae* όπου και σημειώνεται ένα δεύτερο μέγιστο τιμής βιομάζας ($1,488 \text{ mg L}^{-1}$). Ακολουθεί μείωση της βιομάζας την περίοδο από 16 Νοεμβρίου έως 23 Νοεμβρίου και οι τιμές βιομάζας που σημειώνονται κυμαίνονται σε ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα ($0,068 \text{ mg L}^{-1}$ έως $0,023 \text{ mg L}^{-1}$).

Anabaena scheremetievi ELENKIN

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Anabaena scheremetievi* κυμάνθηκε από $0,004$ έως $1,220 \text{ mg L}^{-1}$, (Εικόνα 22).



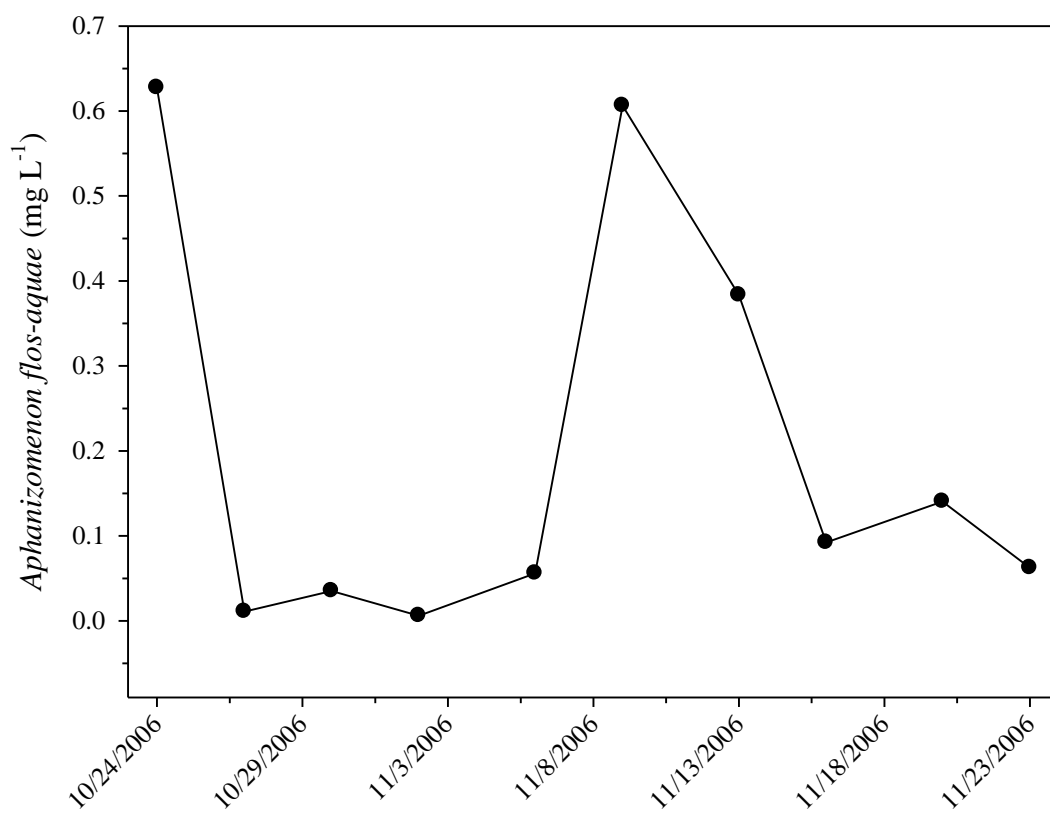
Εικόνα 22. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Anabaena scheremetievi* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Παρατηρούμε ότι το πρότυπο μεταβολής της βιομάζας του *Anabaena scheremetievi* ήταν παρόμοιο με αυτό του *Anabaena flos-aquae* ($R = 0,896$, $P < 0,001$, $n = 10$). Ειδικότερα παρατηρήθηκαν δύο μέγιστα βιομάζας 24 Οκτωβρίου και 9 Νοεμβρίου

με τιμές 1,220 και 0,274 mg L⁻¹, αντίστοιχα. Την υπόλοιπη περίοδο οι τιμές κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα (0,175 έως 0,004 mg L⁻¹).

Aphanizomenon flos-aquae ELENKIN

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η βιομάζα του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* κυμάνθηκε από 0,006 έως 0,627 mg L⁻¹, (Εικόνα 23).



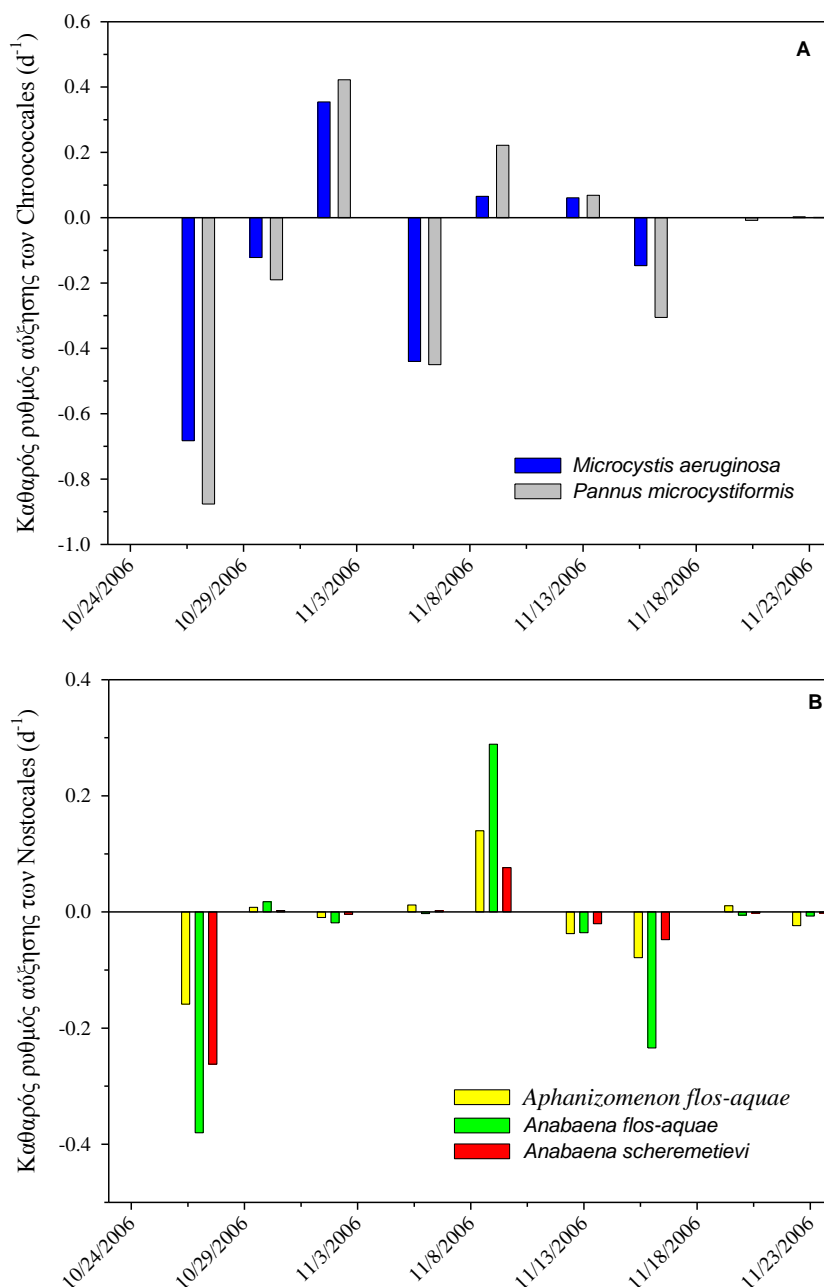
Εικόνα 23. Χρονικές μεταβολές της βιομάζας του κυανοβακτηρίου *Aphanizomenon flos-aquae* που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

Παρατηρούμε ότι το πρότυπο μεταβολής της βιομάζας του *Aphanizomenon flos-aquae* ήταν παρόμοιο με αυτό των *Anabaena flos-aquae* ($R = 0,961$, $P < 0,001$, $n = 10$) και *Anabaena scheremetievi* ($R = 0,782$, $P < 0,001$, $n = 10$). Ειδικότερα παρατηρήθηκαν δύο μέγιστα βιομάζας 24 Οκτωβρίου και 9 Νοεμβρίου με τιμές 0,627 και 0,606 mg L⁻¹, αντίστοιχα. Την υπόλοιπη περίοδο οι τιμές κυμάνθηκαν σε χαμηλά επίπεδα (0,383 έως 0,006 mg L⁻¹).

3.5. ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

3.5.1 Καθαρός ρυθμός αύξησης

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης (r) των πληθυσμών των επικρατούντων κυανοβακτηρίων υπολογίστηκε με βάση τις τιμές της βιομάζας τους. Οι μεταβολές στον καθαρό ρυθμό αύξησης των πληθυσμών των κυανοβακτηρίων κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας δίνεται στην Εικόνα 24.



Εικόνα 24. Μεταβολές του καθαρού ρυθμού αύξησης των (A) Chroococcales και των (B) Nostocales που παρατηρήθηκαν στη Λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006.

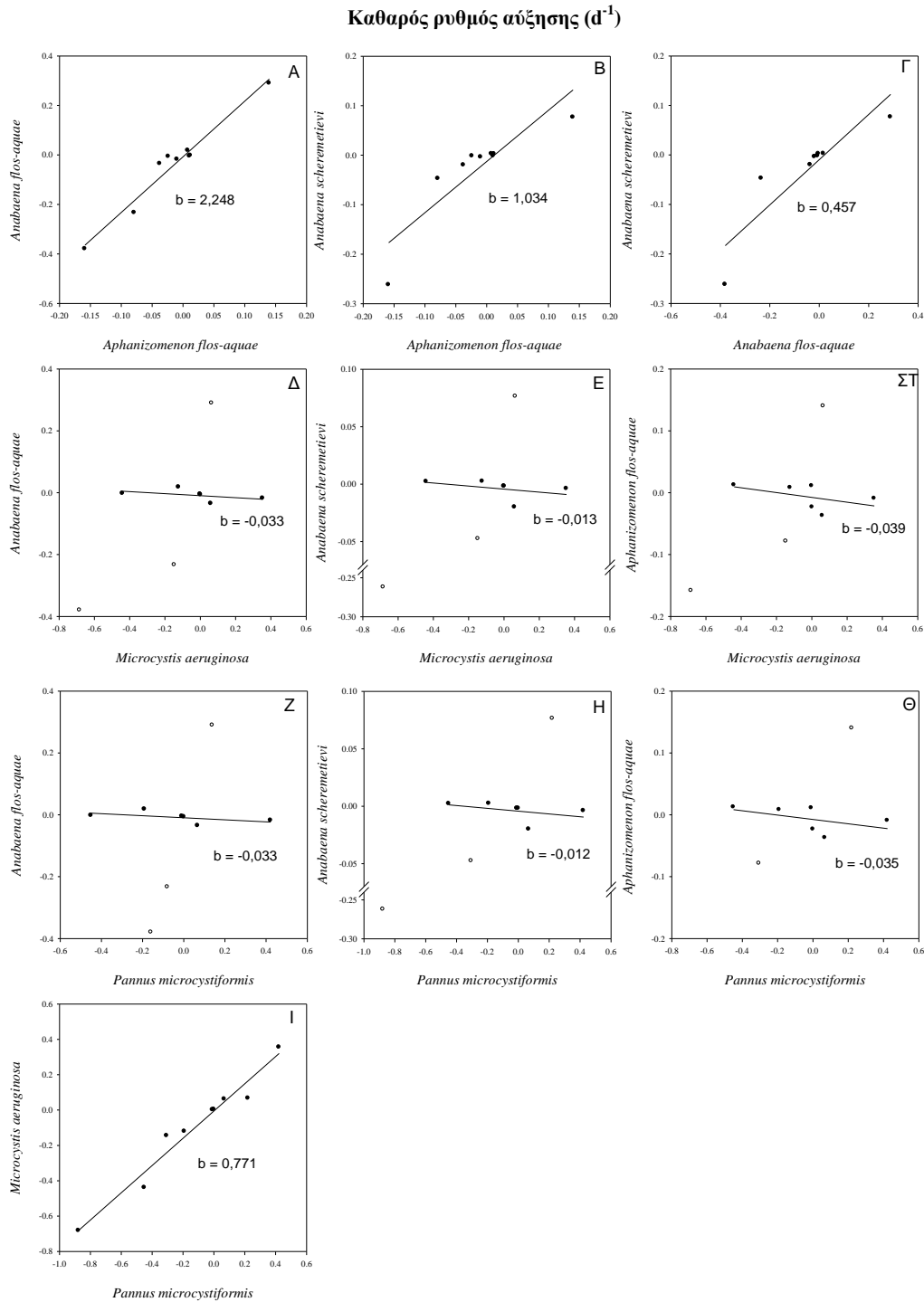
Παρατηρούμε ότι τόσο για τα Chroococcales όσο και για τα Nostocales ο καθαρός ρυθμός αύξησης εμφανίζει είτε θετικές τιμές (που αντιστοιχούν στην αύξηση της βιομάζας των κυανοβακτηρίων, Εικόνες 19 – 23), είτε αρνητικές τιμές (που αντιστοιχούν σε μείωση της βιομάζας των κυανοβακτηρίων, Εικόνες 19 – 23). Μηδενικές τιμές του καθαρού ρυθμού αύξησης αντιστοιχούν είτε σε περιόδους μη μεταβολής της βιομάζας είτε σε περιόδους όπου τα κυανοβακτήρια δεν ανιχνεύτηκαν στη στήλη του νερού (μηδενικές τιμές βιομάζας), (Εικόνες 19 – 23).

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης εμφανίζει υψηλές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (Εικόνα 24). Υψηλότερη τιμή στον καθαρό ρυθμό αύξησης εμφάνισε ο πληθυσμός του *Pannus microcystiformis* ($0,423 \text{ d}^{-1}$) και του *Microcystis aeruginosa* ($0,355 \text{ d}^{-1}$) την χρονική περίοδο από 30 Οκτωβρίου έως 2 Νοεμβρίου. Τα κυανοβακτήρια *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* σημείωσαν υψηλότερες τιμές του καθαρού ρυθμού αύξησης του πληθυσμού τους, τη χρονική περίοδο από 6 Νοεμβρίου έως 9 Νοεμβρίου ($0,140 \text{ d}^{-1}$, $0,290 \text{ d}^{-1}$, $0,076 \text{ d}^{-1}$, αντίστοιχα).

Παρατηρώντας το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης των πληθυσμών των επικρατούντων κυανοβακτηρίων (Εικόνα 24) μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα:

1. Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των πληθυσμών των Chroococcales *Microcystis aeruginosa* και *Pannus microcystiformis* είναι παρόμοιο ($r=0,980$, $P<0,001$, $n=9$), (Πίνακας 3, Εικόνα 25I).
2. Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των πληθυσμών των Nostocales *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae* και *Anabaena scheremetievi* είναι παρόμοιο (Πίνακας 3, Εικόνες 25A-25Γ).
3. Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των πληθυσμών των Chroococcales και των Nostocales, στις περισσότερες χρονικές περιόδους είναι αντίστροφο (δηλαδή όταν έχουν θετικό ρυθμό αύξησης τα Chroococcales τα Nostocales έχουν αρνητικό ρυθμό αύξησης και το αντίθετο), (Εικόνα 24). Εξάιρεση αποτελούν τρεις χρονικές περίοδοι (αντιστοιχούν σε περιόδους με υψηλή μείωση της τιμής της συνολικής βιομάζας των κυανοβακτηρίων, Εικόνες 16 και 17). Εάν δεν συμπεριληφθούν οι παραπάνω τρεις χρονικές περίοδοι στον υπολογισμό του μοντέλου συσχέτισης μεταξύ των Chroococcales και των Nostocales, τότε ο

συντελεστής συσχέτισης παίρνει αρνητικές τιμές (Πίνακας 3, Εικόνες 25Δ - 25Θ).



Εικόνα 25. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ των ρυθμών αύξησης των πληθυσμών των επικρατούντων κυανοβακτηρίων στη λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006. Όπου b = η κλίση της ευθείας. Στα διαγράμματα Δ – Θ τα σύμβολα με άσπρο χρώμα δηλώνουν τιμές που δεν έχουν συμπεριληφθεί στο υπολογισμό του συντελεστή συσχέτισης (βλέπε κείμενο για επεξήγηση).

Πίνακας 3. Γραμμική συσχέτιση μεταξύ των καθαρών ρυθμών αύξησης των επικρατούντων κυανοβακτηρίων στη λίμνη Παμβώτιδα, τη χρονική περίοδο 24 Οκτωβρίου έως 23 Νοεμβρίου 2006. Για κάθε μεταβλητή δίνεται η τιμή του συντελεστή γραμμικής συσχέτισης Pearson (*R*), η τιμή του επιπέδου σημαντικότητας (*P*). Με έντονα γράμματα σημειώνονται οι στατιστικά σημαντικότερες σχέσεις.

		<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	<i>Anabaena flos- aquae</i>	<i>Anabaena scheremetievi</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>
<i>Anabaena flos-aquae</i>	<i>R</i>	0.981			
	<i>P</i>	0.000, (n = 9)			
<i>Anabaena scheremetievi</i>	<i>R</i>	0.885	0.897		
	<i>P</i>	0.002, (n = 9)	0.001, (n = 9)		
<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>R</i>	-0.488	-0.481	-0.413	
	<i>P</i>	0.326, (n = 6)	0.334, (n = 6)	0.416, (n = 6)	
<i>Pannus microcystiformis</i>	<i>R</i>	-0.494	-0.538	-0.422	0.980
	<i>P</i>	0.319, (n = 6)	0.271, (n = 6)	0.404, (n = 6)	0.000, (n = 9)

4. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκε η σύνθεση των ειδών των κυανοβακτηρίων καθώς και η δυναμική τους σε ένα παράκτιο σύστημα της λίμνης Παμβώτιδας. Η έρευνα έλαβε χώρα σε μία μικρή χρονική κλίμακα (31 ημέρες) της φθινοπωρινής περιόδου και με υψηλή ανάλυση δειγματοληψιών (ανά 3 ή 4 ημέρες).

4.1 ΣΥΝΘΕΣΗ ΕΙΔΩΝ

4.1.1 Ταξινομικοί προσδιορισμοί

Στην παρούσα έρευνα προσδιορίστηκαν 11 είδη κυανοβακτηρίων (Πίνακας 1). Τα 11 είδη είναι μοιρασμένα σε τρεις τάξεις κυανοβακτηρίων, όπου τα 5 είδη ανήκουν στην τάξη Chroococcales (*Aphanothece clathrata*, *Chroococcus limneticus*, *Microcystis aeruginosa*, *Pannus microcystiformis*, *Snowella lacustris*), τα 3 είδη στην τάξη Oscillatoriales (*Limnothrix redekei*, *Lyngbya* sp., *Oscillatoria tenuis*) και τα 3 είδη στην τάξη Nostocales (*Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi*, *Aphanizomenon flos-aquae*). Με εξαίρεση το *Lyngbya* sp. όπου, λόγω της μικρής αφθονίας του στα υπό εξέταση δείγματα, δεν ήταν ασφαλής η ταξινομική του αναγνώριση σε επίπεδο είδους, τα υπόλοιπα κυανοβακτήρια ανταποκρίνονται πλήρως στις περιγραφές που δίνονται σε άλλα ταξινομικά συγγράμματα. Η παρουσία όλων των παραπάνω ειδών στη λίμνη Παμβώτιδα έχει αναφερθεί σε προηγούμενες έρευνες (Anagnostidis and Economou-Amilli 1980, Cook et al. 2004, Vardaka et al. 2005).

Τα είδη των κυανοβακτηρίων που αναγνωρίστηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας απαντώνται και σε άλλα υδάτινα συστήματα της Ελλάδας των οποίων η τροφική κατάσταση είναι κυρίως εύτροφη (Πίνακας 4), (Anagnostidis and Economou-Amilli 1980, Hindák and Moustaka 1988, Moustaka-Gouni 1988, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1990, Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1992, Moustaka et al. 2000, Moustaka et al. 2006, Overbeck et al. 1982, Tafas et al. 1997, Temponeras et al. 2000, Tryfon et al. 1997, Vardaka et al. 2005, Σπαρτινού 1992). Από τα πιο κοινά είδη μεταξύ των ελληνικών υδάτινων συστημάτων είναι τα *Chroococcus limneticus*, *Microcystis aeruginosa* και *Aphanizomenon flos-aquae*. Αντίθετα το *Anabaena scheremetievi* έχει αναγνωριστεί μόνο στο φυτοπλαγκτό της λίμνης Παμβώτιδας (Πίνακας 4).

Πίνακας 4. Παρουσία των κυανοβακτηρίων που αναγνωρίστηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας σε άλλα υδάτινα συστήματα της Ελλάδας. Με «1» συμβολίζεται η παρουσία στο εκάστοτε υδάτινο σύστημα. Όπου E-Y: εύτροφο - υπέρτροφο σύστημα, E: εύτροφο σύστημα, E-O: ολιγότροφο - εύτροφο σύστημα, M: μεσότροφο σύστημα, M-O: μεσότροφο-ολιγότροφο σύστημα, O: ολιγότροφο σύστημα.

Υδάτινα συστήματα Τροφική Κατάσταση	Καστοριά ¹	Βιστονίδα ²	Βόλβη ³	Κερκίνη ⁴	Δοϊράνη ⁵	Βεγορίτιδα ⁶	Μ. Πρεσπά ⁷	Ζάζαρη ⁸	Παμβότιδα ⁹	Θησαυρού ¹⁰	Λυσιμάχεια ¹¹	Αμβακία ¹²	Τριχωνίδα ¹³	Ταυροπού ¹⁴	Σύνολο
	E-Y	E	E	E	E	E	E	E	E	E-O	M	M-O	M-O	O	
Είδη κυανοβακτηρίων															
<i>Anabaena</i> cf. <i>schereметievi</i>									1						1
<i>Anabaena flos – aquae</i>	1		1	1	1			1	1						6
<i>Aphanizomenon</i> cf. <i>flos – aquae</i>			1							1					2
<i>Aphanizomenon flos - aquae</i>				1	1				1			1			4
<i>Aphanothece</i> cf. <i>clathrata</i>							1								1
<i>Aphanothece clathrata</i>			1			1			1						3
<i>Chroococcus</i> cf. <i>limneticus</i>													1	1	2
<i>Chroococcus limneticus</i>	1		1		1	1	1		1	1		1			8
<i>Limnothrix redekei</i>	1			1											2
<i>Microcystis aeruginosa</i>	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1			11
<i>Pannus microcystiformis</i>			1						1						2
<i>Oscillatoria tenuis</i>	1			1							1				3
<i>Snowella lacustris</i>	1		1		1		1					1			5

Δεδομένα σύμφωνα με ¹: Vardaka et al. 2005, Moustaka et al. 2006, ²: Vardaka et al. 2005, ³: Moustaka-Gouni 1988, Hindák and Moustaka 1988, ⁴: Vardaka et al. 2005, ⁵: Temponeras et al. 2000, ⁶: Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1990, ⁷: Tryfon et al. 1997, ⁸: Vardaka et al. 2005, ⁹: Anagnostidis and Economou-Amilli 1980, Vardaka et al. 2005, ¹⁰: Moustaka et al. 2000, ¹¹: Overbeck et al. 1982, ¹²: Σπαρτινού 1992, ¹³: Tafas et al. 1997, ¹⁴: Moustaka-Gouni and Nikolaidis 1992.

4.1.2. Χρονικές μεταβολές της σύνθεσης των ειδών

Η φυτοπλαγκτική κοινωνία υφίσταται συνεχείς μεταβολές όσον αφορά τη σύνθεση, την αφθονία και τη σχετική επικράτηση των διαφόρων ειδών που την αποτελούν. Στο σύνολό τους, οι αλλαγές που παρουσιάζει η φυτοπλαγκτική κοινωνία μέσα στο χρόνο, αποτελούν μια σειρά διακριτών σταδίων, ο χρόνος εμφάνισης και η διάρκεια των οποίων εξαρτώνται από την ταχύτητα με την οποία μεταβάλλονται οι περιβαλλοντικοί παράγοντες, αλλά και την ταχύτητα απόκρισης των φυτοπλαγκτικών οργανισμών σε αυτές τις μεταβολές (Reynolds 2006).

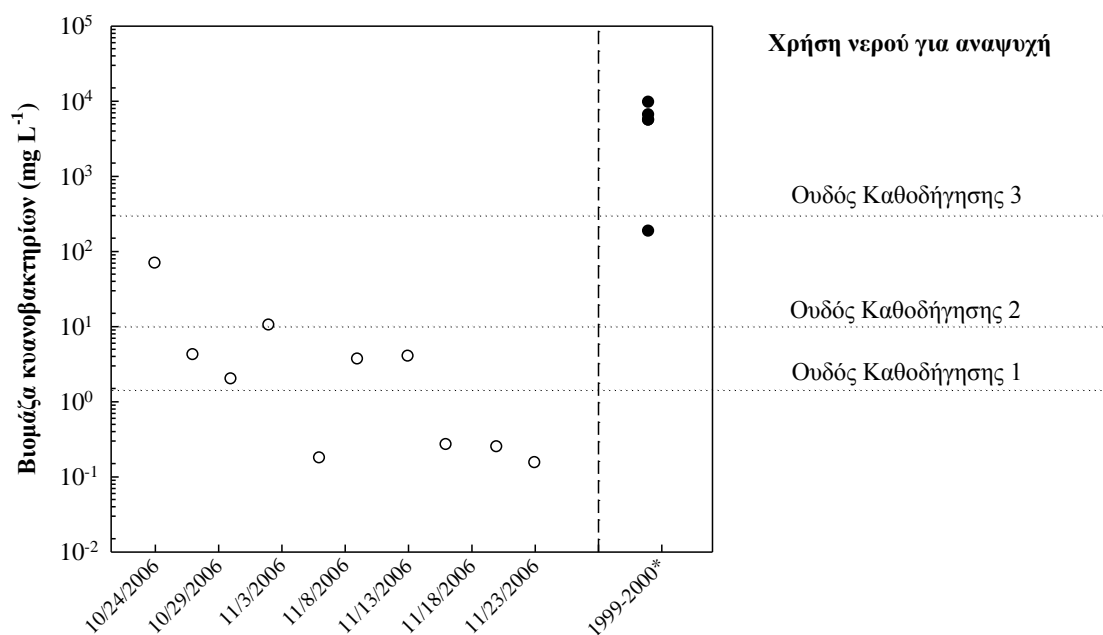
Όσον αφορά την κοινωνία των κυανοβακτηρίων κατά τη διάρκεια του ενός μήνα που διήρκησε η παρούσα έρευνα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι αλλαγές που αφορούν στη σύνθεση και στον αριθμό των ειδών ήταν συχνές και σύντομης διάρκειας και φαίνεται να συσχετίζονται με τα πληθυσμιακά μεγέθη των ειδών. Ειδικότερα:

1. Ο χαμηλότερος αριθμός ειδών παρατηρήθηκε όταν υπήρχε άνθιση του νερού ενώ αντίθετα ο υψηλότερος αριθμός ειδών σημειώθηκε όταν η βιομάζα των κυανοβακτηρίων είχε χαμηλές τιμές (Πίνακας 2, Εικόνα 17).
2. Πέντε από τα 11 συνολικά είδη που αναγνωρίστηκαν (*Pannus microcystiformis*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi*, *Aphanizomenon flos-aquae* και *Microcystis aeruginosa*) είχαν συνεχή χρονική παρουσία στην κοινωνία και ήταν αυτά που σημείωσαν και τα υψηλότερα πληθυσμιακά μεγέθη (κυρίαρχα είδη), (Πίνακας 2, Εικόνα 17).
3. Τα υπόλοιπα 6 κυανοβακτήρια (*Aphanothece clathrata*, *Chroococcus limneticus*, *Snowella lacustris*, *Oscillatoria tenuis*, *Lyngbya* sp. και *Limnothrix redekei*) εμφάνισαν σποραδική εμφάνιση στην κοινωνία των κυανοβακτηρίων, γεγονός που μπορεί να σχετίζεται με τα χαμηλά πληθυσμιακά μεγέθη που σημείωσαν οι πληθυσμοί τους κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (ασταθείς πληθυσμοί), (Πίνακας 2, Εικόνα 17).

4.1.3. Εν δυνάμει τοξικά κυανοβακτήρια

Στην παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι από τα 11 είδη που αναγνωρίστηκαν, τα ακόλουθα 3 *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* και το *Microcystis aeruginosa* είναι εν δυνάμει τοξικά (Sivonen and Jones 1999). Η παρουσία των

τοξικών κυανοβακτηρίων σε υδάτινα οικοσυστήματα που χρησιμοποιούνται για ύδρευση και αναψυχή αντιμετωπίζεται σοβαρά σε παγκόσμια κλίμακα και απασχολεί τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (Π.Ο.Υ), (Bartram et al. 1999, Falconer et al. 1999). Ο σχεδιασμός και η εφαρμογή προληπτικών μέτρων για την προστασία της δημόσιας υγείας, των κτηνοτροφικών ζώων και της άγριας πανίδας απαιτεί κατανόηση παραγόντων όπως για παράδειγμα η παρουσία των κυανοβακτηρίων, η αναγνώριση των εν δυνάμει τοξικών, τα επίπεδα συγκέντρωσης των κυανοβακτηριακών τοξινών στα οικοσυστήματα (Bartram et al. 1999).



Εικόνα 26. Βιομάζα κυανοβακτηρίων που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (○) και από την έρευνα των Vardaka et al. 2005 (●) στη λίμνη Παμβώτιδα, σε σχέση με τις ουδούς καθοδήγησης για τη χρήση νερού για αναψυχή που προτείνει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Bartram et al. 1999).

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (ΠΟΥ) έχει ορίσει ελάχιστα όρια για τον έλεγχο της ασφάλειας των υδάτων που χρησιμοποιούνται για αναψυχή τα οποία βασίζονται στα επίπεδα αφθονίας ή βιομάζας των κυανοβακτηρίων (Ουδοί-Επίπεδα Καθοδήγησης - Guidance Levels) (Bartram et al. 1999, Falconer et al. 1999). Οι «Ουδοί Καθοδήγησης» αφορούν σε μια σειρά μέτρων, καθορισμένων από τον ΠΟΥ (Falconer et al. 1999), που συνδέονται με την προοδευτική αύξηση της δεινότητας και της πιθανότητας δυσμενών επιπτώσεων σε ύδατα που χρησιμοποιούνται για αναψυχή.

Από το σύνολο των τιμών βιομάζας κυανοβακτηρίων που καταγράφηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας παρατηρούμε ότι οι δύο τιμές βιομάζας που μετρήθηκαν κατά την άνθιση του νερού υπερβαίνουν τον Ουδό Καθοδήγησης 2 του ΠΟΥ (10 mg L^{-1} , Μέτρια πιθανότητα κινδύνου), τέσσερις τιμές βιομάζας έχουν υπερβεί τον Ουδό Καθοδήγησης 1 (2 mg L^{-1} , Μικρή πιθανότητα κινδύνου), ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις μπορούν να χαρακτηριστούν ως ασφαλείς (Εικόνα 26). Καμία τιμή δεν καταγράφηκε να υπερβαίνει τον Ουδό Καθοδήγησης 3 (100 mg L^{-1} Μεγάλη πιθανότητα κινδύνου) γεγονός που παρατηρήθηκε σε προηγούμενη έρευνα στη λίμνη Παμβώτιδα (Εικόνα 26, Vardaka et al. 2005, Gkelis et al. 2005). Με βάση τις δράσεις που προτείνει ο ΠΟΥ και τις τιμές βιομάζας που μετρήθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, στη λίμνη Παμβώτιδα χρειάζεται να τοποθετηθούν προειδοποιητικές πινακίδες, να γίνει ενημέρωση των αρμόδιων αρχών, να υπάρχει παρακολούθηση για τυχόν σχηματισμό κυανοβακτηριακής κρούστας, περιορισμός των λουομένων και περαιτέρω έρευνα του κινδύνου ((Falconer et al. 1999).

Συμπερασματικά, η συνεχής παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων στη λίμνη Παμβώτιδα (Πίνακα 2) σε συνδυασμό με τις τιμές βιομάζας που σημειώνουν οι παραπάνω οργανισμοί κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας (Εικόνες 17, 26) οδηγούν στην διαπίστωση της παρουσίας ενός συνεχούς παράγοντα κινδύνου κατά τη φθινοπωρινή περίοδο στη λίμνη. Η διαπίστωση αυτή σε συνδυασμό με το γεγονός ότι στη λίμνη έχει αναφερθεί η παρουσία υψηλής συγκέντρωσης κυανοτοξινών τόσο σε δείγματα φυτοπλαγκτού (Gkelis et al. 2005) όσο και σε ιστούς ζώων (π.χ. ιχθύς, αμφίβια, Gkelis et al. 2006), δημιουργεί την αναγκαιότητα συνεχούς παρακολούθησης του συστήματος της λίμνης.

4.2 ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΠΛΗΘΥΣΜΩΝ ΚΥΑΝΟΒΑΚΤΗΡΙΩΝ

Η εποχική εμφάνιση, η πληθυσμιακή αύξηση και η αλλαγή στην επικράτηση των οργανισμών στο φυτοπλαγκτό μιας λίμνης προκύπτουν από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων και τις αποκρίσεις των ειδών. Ανάμεσα στους περιβαλλοντικούς παράγοντες που επηρεάζουν τη δραστηριότητα και την επικράτηση των φυτοπλαγκτικών οργανισμών, κυριότεροι είναι οι φυσικοί (θερμοκρασία, ανάμειξη νερού, ένταση φωτεινής ακτινοβολίας) με τους χημικούς (συγκέντρωση και διαθεσιμότητα θρεπτικών, pH) και

τους βιοτικούς παράγοντες (βόσκηση, παρασιτισμός) να ακολουθούν (Reynolds 2006).

Έτσι, οι αλλαγές στη σύνθεση και στην αφθονία των ειδών στη φυτοπλαγκτική κοινότητα (Reynolds 2006) μπορεί να είναι:

(α). συχνές, σύντομης διάρκειας αναδιοργανώσεις της εκάστοτε κοινότητας ως απόκριση στην ανάμειξη του νερού στη στήλη

(β). ετήσια επαναλαμβανόμενοι κύκλοι που κατευθύνονται σημαντικά από κυκλικές διακυμάνσεις στο φωτισμό και τη θερμοκρασία αλλά και την κατακόρυφη διαφοροποίηση της στήλης του νερού

(γ). μόνιμες αλλαγές στη χλωρίδα της λίμνης που ακολουθούν αλλαγές στη μορφολογία, τις υδρολογικές συνθήκες ή την τροφική κατάσταση αυτής.

Ο χρόνος γενεάς των οργανισμών του φυτοπλαγκτού κυμαίνεται από μερικές ώρες έως μερικές μέρες (0,5 έως 50 ημέρες). Έτσι κατά τη διάρκεια ενός μήνα υπολογίζεται ότι στη φυτοπλαγκτική κοινότητα θα έχουν αναπτυχθεί περίπου 4 με 7 γενεές φυτοπλαγκτικών οργανισμών (Sommer et al. 1993). Ο μικρός χρόνος γενεάς των φυτοπλαγκτικών οργανισμών αποτελεί παράγοντα κλειδί για τις οικολογικές διεργασίες που παρατηρούνται σε μια λίμνη διότι οι οργανισμοί μπορούν και αποκρίνονται άμεσα στις ευμετάβλητες περιβαλλοντικές συνθήκες ακολουθώντας όμως διαφορετικές προσαρμοστικές στρατηγικές (Sommer et al. 1993, Reynolds 2006).

4.2.1 Αφθονία κυανοβακτηρίων

Χαμηλές τιμές αφθονίας (0 έως 2,4 αποικίες mL⁻¹ ή 0 έως 1,6 νήματα mL⁻¹) εμφάνισαν οι πληθυσμοί των *Aphanothece clathrata* (Εικόνα 5), *Chroococcus limneticus* (Εικόνα 6), *Snowella lacustris* (Εικόνα 9), *Limnothrix redekei* (Εικόνα 10), *Lyngbya* sp. (Εικόνα 11) και *Oscillatoria tenuis* (Εικόνα 12). Υψηλές τιμές αφθονίας (0 έως 505,08 αποικίες mL⁻¹ ή 4 έως 1550,7 νήματα mL⁻¹) εμφάνισαν οι πληθυσμοί των κυανοβακτηρίων *Pannus microcystiformis* (Εικόνα 8), *Microcystis aeruginosa* (Εικόνα 7), *Anabaena scheremetievi* (Εικόνα 14), *Anabaena flos-aquae* (Εικόνα 13) και *Aphanizomenon flos-aquae* (Εικόνα 15).

Το πρότυπο μεταβολής της αφθονίας όπως και αυτό της βιομάζας μπορεί να αποδώσει τις διαφορετικές αποκρίσεις των κυανοβακτηρίων σε μεταβολές του περιβάλλοντος. Έτσι, με βάση τα πρότυπα μεταβολής της αφθονίας μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα κυανοβακτήρια ως ακολούθως:

1. τα μεγάλα σε μέγεθος αποικιών Chroococcales *Pannus microcystiformis* και *Microcystis aeruginosa* παρουσίασαν παρόμοιο πρότυπο μεταβολής της αφθονίας τους σημειώνοντας δύο μέγιστα τα οποία συμπίπτουν με τις δύο ημερομηνίες που παρατηρήθηκε άνθιση του νερού (Εικόνες 7-8). Αμφότερα, είναι ανταγωνιστικά κυρίως σε συνθήκες σταθερής στήλης διότι φέρουν αεροτόπια τα οποία τα βοηθούν να ρυθμίζουν τη θέση τους στη στήλη του νερού (Μουστάκα 1988, Tryfon et al. 1997, Vardaka et al. 2000). Το μεγάλο μέγεθος των αποικιών τους τα καθιστά λιγότερα ευάλωτα στη θήρευση από το ζωοπλαγκτό και η πτώση της αφθονίας τους πιθανότατα οφείλεται σε ανάμειξη της στήλης του νερού.
2. τα υπόλοιπα μικρά σε μέγεθος αποικιών Chroococcales *Aphanothece clathrata*, *Chroococcus limneticus*, *Snowella lacustris* παρουσίασαν παρόμοιο πρότυπο μεταβολής της αφθονίας τους σημειώνοντας δύο μέγιστα. Το πρώτο μέγιστο σημειώνεται μεταξύ των δύο ανθίσεων όταν παρατηρείται η απότομη πτώση της συνολικής βιομάζας και το δεύτερο μετά την 2^η άνθιση του νερού (Εικόνες 5-6, 9). Γενικά η αύξησή τους ευνοείται σε περιόδους όπου παρατηρούνται χαμηλές τιμές βιομάζας των μεγάλων Chroococcales. Τα μικρά Chroococcales που παρατηρήθηκαν στην παρούσα έρευνα ευνοούνται κυρίως σε συνθήκες ανάμειξης για να ρυθμίζουν τη θέση τους στη στήλη του νερού διότι δεν φέρουν αεροτόπια στα κύτταρα τους, ενώ η κατανάλωσή τους από το ζωοπλαγκτό θα μπορούσε να είναι βασική αιτία πτώσης του πληθυσμού τους (Μουστάκα 1988).
3. τα Nostocales *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi*, *Aphanizomenon flos-aquae* παρουσίασαν μεταξύ τους παρόμοιο πρότυπο μεταβολής της αφθονίας τους. Τα είδη αυτά σημείωσαν μέγιστες τιμές επίσης σε δύο χρονικές περιόδους. Το πρώτο μέγιστο παρατηρήθηκε στην 1^η άνθιση του νερού και συμπίπτει με το πρώτο μέγιστο αφθονίας που παρατηρήθηκε για τα μεγάλα Chroococcales, ενώ το δεύτερο σημειώθηκε στις 9 Νοεμβρίου 2006 μετά τη 2^η άνθιση (Εικόνες 13-15) όταν σημειώθηκε το 2^ο μέγιστο αφθονίας των μικρών Chroococcales. Τα αζωτοδεσμευτικά Nostocales διαθέτουν μηχανισμό ρύθμισης της θέσης τους στη στήλη του νερού (αεροτόπια) και είναι ανταγωνιστικά σε χαμηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών (κυρίως άζωτου). Μπορεί να ζουν σε στενή σχέση με τα Chroococcales στα οποία προμηθεύουν άζωτο (Μουστάκα 1988).

4. τα Oscillatoriales *Limnothrix redekei* και *Lyngbya* sp. (Εικόνες 10-11) εμφάνισαν παρόμοιο πρότυπο μεταβολής σημειώνοντας δύο μέγιστα μετά την 2^η άνθιση του νερού όταν παρατηρείται το δεύτερο μέγιστο αφθονίας των μικρών Chroococcales και των Nostocales. Τα κυανοβακτήρια αυτά είναι ανταγωνιστικά σε συνθήκες ανάμειξης της στήλης του νερού και σε πολύ χαμηλές φωτεινές εντάσεις.
5. και τέλος το Oscillatoriales *Oscillatoria tenuis* (Εικόνα 12) εμφάνισε ένα μέγιστο όταν παρατηρείται η 2^η άνθιση του νερού.

Γενικά, κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η υψηλή ανάλυση των δειγματοληψιών (3 ή 4 ημέρες) σε ένα χρονικό διάστημα ενός μήνα που επιτρέπει να αναπτυχθούν περίπου 4 με 7 γενεές οργανισμών στην φυτοπλαγκτική κοινότητα (Sommer et al. 1993), έδειξε ότι:

- (α) η αφθονία των κυανοβακτηρίων εμφάνισε συνεχείς και έντονες διακυμάνσεις (Εικόνες 5-15).
- (β) οι αλλαγές στη σύνθεση και την αφθονία των κυανοβακτηρίων δεν ήταν μόνιμες αλλά κυρίως συχνές, σύντομης διάρκειας αναδιοργανώσεις της υπάρχουσας κοινότητας, γεγονός που πιθανότατα αντανακλά το ευμετάβλητο χαρακτήρα των παράκτιων συστημάτων.
- (γ) τα ταξινομικά συγγενικά κυανοβακτήρια εμφάνισαν παρόμοια πρότυπα απόκρισης που πιθανότατα αντανακλούν παρόμοιες στρατηγικές ζωής.

4.2.2 Βιομάζα κυανοβακτηρίων

Κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας, η συνολική βιομάζα των κυανοβακτηρίων κυμάνθηκε από 0,152 mg L⁻¹ έως 68,812 mg L⁻¹ (Εικόνα 16). Οι τιμές της βιομάζας εμφάνισαν συνεχείς και έντονες διακυμάνσεις. Οι υψηλότερες τιμές βιομάζας (68,812 mg L⁻¹ και 10,286 mg L⁻¹) σημειώθηκαν στις 24 Οκτωβρίου και στις 2 Νοεμβρίου 2006, αντίστοιχα. Στις παραπάνω δύο ημερομηνίες παρατηρήθηκε και το φαινόμενο της άνθισης του νερού. Οι τιμές βιομάζας που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας στη λίμνη Παμβώτιδα συγκρινόμενες με αυτές που καταγράφηκαν σε παράκτια συστήματα άλλων ελληνικών λιμνών όταν παρατηρείται άνθιση, μπορεί:

- (α) είτε να εμπίπτουν μέσα στο εύρος τιμών κυανοβακτηριακής βιομάζας όπως π.χ. αυτές που καταγράφηκαν στις λίμνες Βόλβη, Μ. Πρέσπα και Καστοριάς (7 έως 70 mg L⁻¹), (Vardaka et al. 2005).

(β) είτε να είναι σημαντικά μικρότερες από τις τιμές βιομάζας που καταγράφηκαν σε λίμνες όπως π.χ. Βιστωνίδα, Ζάζαρη, Κερκίνη, Καστοριά και Αμβρακία (104 έως 8294 mg L^{-1}), (Vardaka et al. 2005).

(γ) είτε, συγκρινόμενες με αυτές που καταγράφηκαν στην λίμνη Παμβώτιδα, να είναι και πάλι σημαντικά μικρότερες (Εικόνα 26, 184 έως 9507 mg L^{-1}), (Vardaka et al. 2005).

Ωστόσο, παρόμοιες μέγιστες τιμές βιομάζας κυανοβακτηρίων έχουν αναφερθεί και στη πελαγική ζώνη ελληνικών λιμνών όπως Καστοριά (70 mg L^{-1} , Vardaka et al. 2000), Βόλβη (12 mg L^{-1} , Moustaka-Gouni & Tsekos 1989), Βεγορίτιδα (9 mg L^{-1} , Moustaka-Gouni & Nikolaidis 1990), Δοϊράνη (8 mg L^{-1} , Temponeras et al. 2000) και Μικρή Πρέσπα (35 mg L^{-1} , Tryfon et al. 1997).

Με βάση τις τιμές βιομάζας διακρίθηκαν τα ακόλουθα 5 κυανοβακτήρια να επικρατούν: *Microcystis aeruginosa* και *Pannus microcystiformis* που ανήκουν στη τάξη των Chroococcales και *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* και *Aphanizomenon flos-aquae* που ανήκουν στην τάξη των Nostocales (Εικόνα 17). Τις υψηλότερες τιμές βιομάζας σημείωσαν τα *Pannus microcystiformis* και *Microcystis aeruginosa* ($43,206 \text{ mg L}^{-1}$ και $21,432 \text{ mg L}^{-1}$ αντίστοιχα, Εικόνες 19-20) ενώ τα *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* και *Aphanizomenon flos-aquae* σημείωσαν σημαντικά χαμηλότερες τιμές βιομάζας ($2,324 \text{ mg L}^{-1}$, $1,220 \text{ mg L}^{-1}$ και $0,627 \text{ mg L}^{-1}$, αντίστοιχα, Εικόνες 21-23). Κατά τη διάρκεια της 1^{ης} άνθισης επικρατούσαν τόσο τα Chroococcales όσο και τα Nostocales. Αντίθετα κατά τη 2^η άνθιση επικρατούσαν μόνο τα Chroococcales.

Τα πρότυπα μεταβολής της βιομάζας είναι παρόμοια με αυτά της αφθονίας και κατά παρόμοιο τρόπο τα επικρατούντα κυανοβακτήρια μπορούν να ομαδοποιηθούν μεταξύ τους ανάλογα με τα μορφολογικά και οικολογικά χαρακτηριστικά τους:

1. τα Chroococcales *Pannus microcystiformis* και *Microcystis aeruginosa* (Εικόνες 19-20).
2. τα Nostocales *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi*, *Aphanizomenon flos-aquae* (Εικόνες 21-23).

4.2.3 Καθαρός ρυθμός αύξησης

Ο καθαρός ρυθμός αύξησης (r) των πληθυσμών των επικρατούντων κυανοβακτηρίων εμφάνισε συνεχείς και έντονες διακυμάνσεις (Εικόνα 24). Ο καθαρός ρυθμός αύξησης εμφάνισε την υψηλότερη τιμή για τα μεγάλα Chroococcales

Microcystis aeruginosa και *Pannus microcystiformis* την περίοδο των δύο ανθίσεων του νερού ($0,423 \text{ d}^{-1}$ και $0,355 \text{ d}^{-1}$, αντίστοιχα), ενώ την περίοδο που επακολούθησε της 2^{ης} άνθισης ο καθαρός ρυθμός αύξησης εμφάνισε σημαντικά χαμηλότερες τιμές με αποτέλεσμα να μειωθεί σημαντικά ο πληθυσμός τους. Αντίθετα τα Nostocales *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* υψηλότερες τιμές του καθαρού ρυθμού αύξησης σημείωσαν την περίοδο μετά την 2^η άνθιση του νερού ($0,140 \text{ d}^{-1}$, $0,290 \text{ d}^{-1}$, $0,076 \text{ d}^{-1}$, αντίστοιχα).

Το πρότυπο μεταβολής του καθαρού ρυθμού αύξησης μεταξύ των πληθυσμών των μεγάλων Chroococcales ήταν παρόμοιο και εμφάνισε στις περισσότερες χρονικές περιόδους αντίστροφη σχέση με αυτό των Nostocales (Πίνακας 3, Εικόνα 25). Ωστόσο υπάρχουν και χρονικές στιγμές όπου διαπιστώθηκε τα Nostocales να συνυπάρχουν σε μεγάλα πληθυσμιακά μεγέθη στη στήλη του νερού με τα Chroococcales π.χ. συνεπικράτηση κατά τη διάρκεια της 1^{ης} άνθισης του νερού (Εικόνα 17).

Γενικά θα μπορούσε να παρατηρηθεί ότι τα μεγάλα Chroococcales εμφανίζουν σε σχέση με τα Nostocales μεγαλύτερο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε περιόδους σταθερής στήλης (που παρατηρείται την περίοδο των δύο ανθίσεων του νερού), σημειώνοντας το μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης και τα υψηλότερα πληθυσμιακά μεγέθη. Τα Nostocales ευνοούνται και αυτά σε συνθήκες σταθερής στήλης (βλέπε 1^η άνθιση του νερού, Εικόνα 17) ωστόσο στις δεδομένες συνθήκες φαίνεται να είναι λιγότερο ανταγωνιστικά σε σύγκριση με τα μεγάλα Chroococcales (γεγονός που διαπιστώνεται από τα μικρότερα πληθυσμιακά μεγέθη που σημειώνουν κατά την 1^η άνθιση). Τα Nostocales φαίνεται να εμφανίζουν μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε συνθήκες ανάμειξης της στήλης και σε ελαφρά χαμηλότερες θερμοκρασίες νερού, όποτε και ανταγωνιστικά πλεονεκτούν έναντι των μεγάλων Chroococcales σημειώνοντας μεγαλύτερους ρυθμούς αύξησης και πληθυσμιακά μεγέθη την περίοδο μετά την 2^η άνθιση του νερού (Εικόνες 17, 25).

5. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα έρευνα διερευνήθηκε η σύνθεση των ειδών των κυανοβακτηρίων καθώς και η δυναμική τους σε ένα παράκτιο σύστημα της λίμνης Παμβώτιδας. Η έρευνα έλαβε χώρα σε μία μικρή χρονική κλίμακα (31 ημέρες) της φθινοπωρινής περιόδου και με υψηλή ανάλυση δειγματοληψιών (ανά 3 ή 4 ημέρες). Προσδιορίστηκαν 11 είδη κυανοβακτηρίων που είναι μοιρασμένα σε τρεις τάξεις κυανοβακτηρίων, όπου τα 5 είδη ανήκουν στην τάξη Chroococcales, τα 3 είδη στην τάξη Oscillatoriales και τα 3 είδη στην τάξη Nostocales. Στην παρούσα έρευνα διαπιστώθηκε ότι από τα 11 είδη που αναγνωρίστηκαν, τα ακόλουθα 3 *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* και το *Microcystis aeruginosa* είναι εν δυνάμει τοξικά. Η συνεχής παρουσία εν δυνάμει τοξικών κυανοβακτηρίων στη λίμνη Παμβώτιδα σε συνδυασμό με τις τιμές βιομάζας που σημειώνουν οι παραπάνω οργανισμοί κατά τη διάρκεια της παρούσας έρευνας οδηγούν στην διαπίστωση της παρουσίας ενός συνεχούς παράγοντα κινδύνου κατά τη φθινοπωρινή περίοδο στη λίμνη.

Όσον αφορά την κοινωνία των κυανοβακτηρίων κατά τη διάρκεια του ενός μήνα που διήρκησε η παρούσα έρευνα, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι αλλαγές που αφορούν στη σύνθεση και στον αριθμό των ειδών ήταν συχνές και σύντομης διάρκειας και φαίνεται να συσχετίζονται με τα πληθυσμιακά μεγέθη των ειδών. Τόσο η αφθονία όσο και η βιομάζα των κυανοβακτηρίων εμφάνισε συνεχείς και έντονες διακυμάνσεις. Παρατηρήθηκαν 2 φαινόμενα άνθισης του νερού. Με βάση τις τιμές βιομάζας διακρίθηκαν τα ακόλουθα 5 κυανοβακτήρια να επικρατούν : *Microcystis aeruginosa* και *Pannus microcystiformis* που ανήκουν στη τάξη των Chroococcales και *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* και *Aphanizomenon flos-aquae* που ανήκουν στην τάξη των Nostocales. Οι αλλαγές στη σύνθεση, την αφθονία, τη βιομάζα και το ρυθμό αύξησης των κυανοβακτηρίων δεν ήταν μόνιμες αλλά κυρίως συχνές, σύντομης διάρκειας αναδιοργανώσεις της υπάρχουσας κοινωνίας, γεγονός που πιθανότατα αντανακλά το ευμετάβλητο χαρακτήρα των παράκτιων συστημάτων.

Τα ταξινομικά συγγενικά κυανοβακτήρια εμφάνισαν παρόμοια πρότυπα απόκρισης που πιθανότατα αντανακλούν παρόμοιες στρατηγικές ζωής. Το πρότυπο μεταβολής της αφθονίας όπως και αυτό της βιομάζας μπορεί να αποδώσει τις διαφορετικές αποκρίσεις των κυανοβακτηρίων σε μεταβολές του περιβάλλοντος. Με βάση τα πρότυπα μεταβολής της αφθονίας των κυανοβακτηρίων στη λίμνη

Παμβώτιδα μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα κυανοβακτήρια ως ακολούθως : τα μεγάλα σε μέγεθος αποικιών Chroococcales *Pannus microcystiformis* και *Microcystis aeruginosa*, τα υπόλοιπα μικρά σε μέγεθος αποικιών Chroococcales *Aphanothece clathrata*, *Chroococcus limneticus* και *Snowella lacustris*, τα Nostocales *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* και *Aphanizomenon flos-aquae*, τα Oscillatoriales *Limnothrix redekei* και *Lyngbya* sp., και τέλος το Oscillatoriales *Oscillatoria tenuis*.

6. SUMMARY

The aim of the study is to present the cyanobacterial species composition as well as their dynamic in a coastal system in Lake Pamvotis, Greece. The study took place at a short-term scale (31 days) of the autumn period with a frequent sample analysis (3 per 4 days). Eleven cyanobacterial species were identified which are divided into 3 cyanobacterial taxa, 5 of which belong to Chroococcales taxa, 3 to Oscillatoriales taxa and 3 to Nostocales. From these 11 identified species, the following 3 *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Microcystis aeruginosa* are known to be toxic.

The constant presence of potentially toxic cyanobacteria in lake Pamvotis in combination with their biomass values during the present study lead to the conclusion of the presence of a constant elevating risk during the autumn period in the lake.

Regarding to the cyanobacterial community during this one month study, we can observe that the changes in composition and the number of the species were frequent and of short duration and appears to be related with the population size of the species. The abundance as well as the biomass of cyanobacteria indicated constant and intense variations. Two cyanobacterial blooms occurred. According to the biomass values, 5 cyanobacterial species were dominant: *Microcystis aeruginosa* and *Pannus microcystiformis* which belong to Chroococcales taxa and *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* and *Aphanizomenon flos-aquae* which belong to Nostocales taxa. The changes in composition, abundance, biomass and the growth rate of cyanobacteria were not permanent but mainly frequent, short-term rearranges of the existing community, that reflect the flexible character of coastal systems.

The related by taxa cyanobacteria appeared to have similar response patterns which possibly reflect similar life behavior. The variation pattern of abundance as well as the variation pattern of biomass can attribute the different responses of cyanobacteria

during environmental changes. Based on the variation pattern of cyanobacteria abundance in lake Pamvotis, we can group the cyanobacteria as following : the big sized colonies Chroococcales taxa : *Pannus microcystiformis* and *Microcystis aeruginosa*, the other small sized colonies Chroococcales taxa : *Aphanothece clathrata*, *Chroococcus limneticus* and *Snowella lacustris*, the Nostocales taxa : *Anabaena flos-aquae*, *Anabaena scheremetievi* and *Aphanizomenon flos-aquae*, the Oscillatoriales taxa : *Limnothrix redekei* and *Lyngbya* sp., and last the Oscillatoriales taxa : *Oscillatoria tenuis*.

7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

7.1. Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Anagnostidis K. and Economou-Amilli A. (1980). Limnological studies on Lake Pamvotis (Ioannina), Greece I. Hydroclimatology, phytoplankton-periphyton with special reference to the valence of some microorganisms from sulphureta as bioindicators. Arch. Hydrobiol. 89:313-342.
- Anagnostidis K. and Komárek J. (1985). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 1 –Introduction. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 71: 291–302.
- Anagnostidis K. and Komárek J. (1988). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 3 –Oscillatoriales. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 327–472.
- Bartram J, Burch M, Falconer IR, Jones G, Kuiper-Goodman T (1999) Situation assessment, planning and management. In Chorus I, Bartram J (eds), Toxic Cyanobacteria in Water. E and FN Spon, London, New York. pp. 179–209.
- Bartzokas, A. and D. A. Metaxas. (1995). Factor analysis of some climatological elements in Athens, 1931–1992: covariability and climatic change. Theoret. Appl. Climatol. 52: 195–205.
- Caramichael W. W. (1992). Cyanobacteria secondary metabolites-the cyanotoxins. J.Appl.Bacteriol. 72:445-459.

- Cook C.M., Vardaka E. and Lanaras T. (2004). Toxic cyanobacteria in Greek freshwaters, 1987-2000: Occurrence, toxicity, and impacts in the Mediterranean region. – *Acta hydrochim. Hydrobiol.* 32: 107–124.
- Dafis S., Papastergiadou E., Georgiou K., Babalonas D., Georgiadis T., Papageorgiou M., Lazaridou T. and Tsiaoussi V. (1996). Directive 92/43/EEC. The Greek ‘Habitat’ Project NATURA 2000: An Overview.- Life Contract B4-3200/94/756, Commission of the European Communities DG XI, The Goulandris Natural History Museum-Greek Biotope/Wetland Centre. 917 p.
- European Community (EC) (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for the Community action in the field of water policy. In: *Official Journal of the European Communities*, 22-12-2000, L 327/1-72.
- Falconer, I.R., Bartram, J., Chorus, I., Kuiper-Goodman, T., Utkilen, H., Burch, M., Codd, G.A. (1999). Safe levels and safe practices. In: Chorus, I., Bartram, J.(Eds). *Toxic Cyanobacteria in Water*. First Edition. World Health Organization, E. & F.N. Spon, London and New York, pp. 155-178.
- Fay P. (1983). *The blue-greens (Cyanophyta-Cyanobacteria)*. Arnold E, London.
- Fogg G., E., Stewart W.D.P., Fay P. and Walsby, A.E. (1973). *The blue-green algae*. Academic Press, London , New York.
- Foufas, CH. (1958). Contribution to the knowledge of the diatom flora of Ioannina lake.(Gr.).- *Praktika Acad. Sci. Athens*, 33: 204-211.
- Gkelis S., Harjunpaay V., Lanaras T. and Sivonen K. (2005). Diversity of Hepatotoxic Microcystins and Bioactive Anabaenopeptins in Cyanobacterial Blooms from Greek Freshwaters. – *Environ Toxicol.* 20: 249–256.
- Gkelis S., Lanaras T. and Sivonen K. (2006). The presence of microcystins and other cyanobacterial bioactive peptides in aquatic fauna collected from Greek lakes. – *Aquat. Toxicol.* 78: 32-41.

- Hindák F. and Moustaka M. (1988). Planktic cyanophytes of Lake Volvi, Greece. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 80 (1-4): 497-528.
- Hindák, F. & Moustaka, M. T. (1988). Planktic cyanophytes of Lake Volvi, Greece. Arch. Hydrobiol. Suppl. 80: 497–528.
- Hindák, F. (2000). Morphological variation of four planktic nostocalean cyanophytes-members of the genus *Aphanizomenon* or *Anabaena*? Hydrobiologia 438, 107-116.
- Horecka, M. and Komárek, J. (1979). Taxonomic position of three Planktonic blue – green algae from the genera *Aphanizomenon* and *Cylindrospermopsis*. *Presia, Praha*, 51, 289 – 312.
- Huber-Pestalozzi, G. (1938). Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie.I. Allgemeiner Teil, Blaualgen, Bakterien, Pilze. In: Thienemann, A.: Die Binnengewässer. 16 (1), 1-342. Schweizerbart, Stuttgart.
- Karakitsios V. (2005). The Ioannina karstic plateau and its water management. Hellenic hydrogeological conference-Athens 2005, p.171-181.
- Komárek, J. (1991). A review of water-bloom forming *Microcystis* species, with regard to populations from Japan. *Algological Studies* 64, 115-127.
- Komárek, J. (2003). Planktic oscillatorialean cyanoprokaryotes (short review according to combined phenotype and molecular aspects). *Hydrobiologia* 502, 367-382.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1989). Modern approach to the classification system of Cyanophytes.4- Nostocales. Arch. Hydrobiol. Suppl. 82(3), 247-345.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1986). Modern approach to the classification system of cyanophytes. 2 –Chroococcales. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 73: 157–226.
- Komárek, J. and Anagnostidis, K. (1999). Cyanoprocaryota.1.Teil: Chroococcales.

- Komárek, J. and Kovacik, K. (1989). Trichome structure of four *Aphanizomenon* taxa (Cyanophyceae) from Czechoslovakia, with notes on the taxonomy and delimitation of the genus. - Pl.Syst.Ecol. 164 : 47-64.
- Komárková-Legnerová, J. and Eloranta, P. (1992). Planktic blue-green algae (Cyanophyta) from Central Finland (Jyväskylä region) with special reference to the genus *Anabaena*. Algol. Stud. 67, 103-133.
- Kuiper-Goodman, T., Falconer, I. and Fitzgerald, J. (1999). Human Health Aspects. In: Chorus I. and Bartram J. (eds), Toxic Cyanobacteria in Water. London and New York, pp.113-153.
- Lampert W. and Sommer U. (1997). Limnoecology. The ecology of lakes and streams. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Lanaras T, Tsitsamis S, Chlichlia C and Cook CM (1989) Toxic cyanobacteria in Greek freshwaters. J. appl. Phycol. 1: 67–73.
- Legendre, P. and Legendre, L. (1998). Numerical ecology, 2nd English Edition. Developments in Environmental Modeling 20, Elsevier, Amsterdam, 870 pp.
- Li, R., Watanabe, M. and Watanabe, M. M. (2000). Taxonomic studies of planktic species of *Anabaena* based on morphological characteristics in cultured strains. Hydrobiologia 438: 117-138.
- Moustaka – Gouni M., Albanakis K., Mitrakas M. & Psilovikos A. (2000). Planktic autotrophs and environmental conditions in the newly – formed hydroelectric Thesaurus reservoir, Greece. Arch. Hydrobiol. 149: 507-526.
- Moustaka – Gouni M., Vardaka E., Tryfon E. (2006). Phytoplankton species succession in shallow Mediterranean lake (L. Kastoria, Greece): steady – state dominance of *Limnothrix redekei*, *Microcystis aeruginosa* and *Cylindrospermopsis raciborskii*. Hydrobiologia 575: 129-140.
- Moustaka – Gouni, M. & Nikolaidis, G. (1990). Phytoplankton of a warm monomictic lake – Lake Vegoritis, Greece. Hydrobiologia 119 (3): 299 - 313.

- Moustaka – Gouni, M. & Nikolaidis, G. (1992). Phytoplankton and physical–chemical features of Tavropos reservoir, Greece. – *Hydrobiologia* 228: 141–149.
- Moustaka-Gouni, M. & Tsekos, I. (1989). The structure and dynamics of the phytoplankton assemblages in Lake Volvi, Greece. II. Phytoplankton biomass and environmental factors.- *Arch. Hydrobiol.* 115: 575-588.
- Moustaka-Gouni, M. (1988). The structure and dynamics of the phytoplankton assemblages in Lake Volvi, Greece. I. Phytoplankton composition and abundance during the period March 1984 – March 1985. *Arch. Hydrobiol.* 112(2), 251-264.
- Mur, L., Skulberg, O.M. and Utkilen, H. (1999). Cyanobacteria in the environment. In: Chorus I. and Bartram J. (eds). *Toxic cyanobacteria in water*. E and FN Spon, London and New York. pp. 15-40.
- Overbeck J., Anagnostidis K. & Economou – Amili A.(1982). A limnological survey of three Greek lakes: Trichonis, Lyssimachia and Amvrakia. *Arch. Hydrobiol.* 95:365 – 394.
- Papageorgiou, G.C. (1996). The photosynthesis of cyanobacteria (blue bacteria) from the perspective of signal analysis of chlorophyll a fluorescence.- *J.Sci.Ind.Res.*55:596-617.
- Reynolds, C. S. (2006). *Ecology of Phytoplankton*. 1st (ed.), Cambridge University Press.
- Reynolds, C.S. (1993). Scales of disturbance and their role in plankton ecology. *Hydrobiologia* 249, 157-171.
- Reynolds, C.S. and Walsby, A.E. (1975). Water-blooms. *Biol. Rev.* 50 : 437-481.
- Rott, E. (1981). Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz. Z. Hydrol.* 43:34-62.
- Sandgren, C. D. and Robinson, J.V. (1984). A stratified sampling approach to compensating for non-random sedimentation of phytoplankton cells in inverted microscope settling chambers. *Br. Phycol. J.* 19 : 67-72.

- Sivonen, K. and Jones, G. (1999). Cyanobacterial toxins. In: Chorus I. and Bartram J. (eds). Toxic cyanobacteria in water. E and FN Spon, London and New York. pp. 41-111.
- Sommer, U., J., Padisák, C. S., Reynolds and P. Juhász-Nagy, (1993). Hutchinsons heritage: the diversity-disturbance relationship in phytoplankton. *Hydrobiologia* 249: 1-7.
- Tafas, T & Economou – Amilli, A. (1997). Limnological survey of the warm monomictic lake Trichonis (central western Greece). II Seasonal phytoplankton periodicity - a community approach.- *Hydrobiologia* 344 : 109 – 122.
- Temponeras M., Kristiansen J. & Moustaka – Gouni M. (2000). Seasonal variation in phytoplankton composition and physical – chemical features of the shallow Lake Doirani, Macedonia, Greece. *Hydrobiologia* 424: 109 – 122.
- Tikkanen, T. (1986). Kasviplanktonopas. Suomen Luonnonsuojelun Tuki Oy, Helsinki.
- Tryfon E, Moustaka–Gouni M and Nikolaidis G (1997) Planktic cyanophytes and their ecology in the shallow Lake Mikri Prespa, Greece. *Nord. J. Bot.* 17: 439–448.
- Utermöhl, H. (1958). Zur Vervollkommung der quantitativen Phytoplankton-Methodik,-Mitt.Intern.Verein.Theor.Angew.Limnol.9:1-38.Cyanobacteria. Elsevier, Amsterdam, New York, Oxford, pp. 187-197.
- Vardaka E, Moustaka–Gouni M and Lanaras T (2000) Temporal and spatial distribution of planktic cyanobacteria in Lake Kastoria, Greece, a shallow, urban lake. *Nord. J. Bot.* 20: 501–511.
- Vardaka E, Moustaka–Gouni M, Cook CM and Lanaras T (2005). Cyanobacterial blooms and water quality in Greek waterbodies. *J. appl. Phycol.* 17: 391 - 401.
- Willén, E. (1976). A simplified method of phytoplankton counting. *Br. Phycol. J.* 11:265-278.

7.2. Ελληνική βιβλιογραφία

Βαρδάκα, Ε. (2001). Τοξικά κυανοβακτήρια και κυανοβακτηριακές τοξίνες στη λίμνη Καστοριάς και σε άλλα υδάτινα οικοσυστήματα της Ελλάδας. Διδακτορική Διατριβή. Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Βιολογίας της Σχολής Θετικών Επιστημών. Παράρτημα, Θεσσαλονίκη, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Μουστάκα, Μ. (1988). Εποχιακές διακυμάνσεις, ετήσια περιοδικότητα και χωρική κατανομή των φυτοπλαγκτικών πληθυσμών της Λίμνης Βόλβης. Διδακτορική διατριβή, Θεσσαλονίκη.

Σπαρτινού, Δ., Μ.-Γ. (1992). Η μικροχλωρίδα της λίμνης Αμβρακίας. Συστηματική και οικολογική μελέτη. – Διδακτορική Διατριβή. Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.