

ФИТОПЛАНКТОН СЛАБОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ КАРСТОВЫХ ОЗЕР ЮГА ЛЕСОСТЕПНОГО ПОВОЛЖЬЯ

© 2009 О.Г. Горохова, В.Н. Паутова

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила 21.06.2009

Представлены первые результаты изучения фитопланктона в карстовых озерах на территории Самарской Луки. В сравнительном аспекте обсуждается флористическое разнообразие планктона озер, структура альгоценозов и сезонная сукцессия доминирующих в фитопланктоне видов водорослей.

Ключевые слова: фитопланктон, карстовые озера, Самарская Лука

Карстовые озера – популярный, по причине малой изученности, объект системных экологических исследований научных коллективов Поволжья [1, 2]. Среди них особое внимание привлекают слабоминерализованные озера, фитопланктон которых до последнего времени был практически не изучен, так как исследовались в основном высокоминерализованных водоемы с сульфатным классом воды [3]. Дополнительный интерес вызывает состав и экология видов, обитающих в анаэробных условиях гипolimниона стратифицированных озер [4, 5, 6], в том числе образовавшихся и в карстовых воронках. Цель работы – на первом этапе по совокупности основных показателей развития фитопланктона определить различие (сходство) исследованных карстовых озер, неодинаковых по морфометрическим и гидрохимическим характеристикам.

Карстовые озера – Золотенка, Серебрянка, Малое Карстовое и Бездонное расположены на территории Жигулевской карстующейся возвышенности Самарской Луки. Озера Золотенка, Серебрянка находятся в лесном массиве, М. Карстовое и Бездонное – на открытом пространстве, их разделяет расстояние порядка 50 м. Это бессточные малые водоемы площадью от 0,02 (М. Карстовое) до 0,14 км² (Бездонное) [7].

Золотенка и Бездонное – эпизодически (?) пересыхающие озера. Если глубина оз. Золотенка в июне 2002 г. составляла 5,1 м, то к осени она снизилась до 3,5 м, а в мае 2006 г. вода обнаружилась только на дне воронки. В оз. Бездонное в 2002 г. глубина уменьшалась от 7,5 до 4,0 м, в июле 2003 г. озеро высохло. В оз. Серебрянка она менялась в пределах 0,5-1,1 м, в оз. М. Карстовое - 2,0-3,8 м. Прозрачность воды самой низкой была в оз. М. Карстовое – 0,2-0,4 м, в мелководном оз. Серебрянка – от 0,6 м до дна. В озерах Золотенка и Бездонное варьировала в близких пределах 0,6-1,25 и

0,5-1,05 м соответственно. Температура воды в 2002 г. повышалась к июлю до 24,5-27,5 °С, а в августе резко снижалась до 12-15 °С.

С мая по август в озерах (кроме оз. Серебрянка) наблюдалась термическая стратификация, в придонном слое – анаэробная зона [8]. В гидрохимическом отношении исследованные озера объединяет мягководность и слабая минерализация их вод (озера Золотенка и Серебрянка – очень мягководные и очень слабоминерализованные). В 2002 г. сумма ионов в поверхностном слое воды была не более 58 мг/л в оз. Золотенка, 38 мг/л в оз. Серебрянка, 130 мг/л в оз. М. Карстовое и 163 мг/л в оз. Бездонное. Мало чем отличается от этих значений и минерализация придонного слоя. Соотношение ионов в озерах неодинаково. В этом плане особенно выделяется слабозакисленное оз. Золотенка, которое относится к сульфатному классу вод с преобладанием кальция. Весной к сульфатному классу относились и слабозакисленные воды оз. Серебрянка, в другие месяцы – к гидрокарбонатному с нейтральной средой. Из катионов преобладали ионы кальция и калия. Озера М. Карстовое и Бездонное – кальций-гидрокарбонатные, по величине рН в поверхностном слое вода в них от нейтральной до сильно щелочной, в придонном – от слабокислой до нейтральной. По цветности вод озера Золотенка и Серебрянка – мезополигуменные, Бездонное и М. Карстовое – олигомезогуменные.

Различаются водоемы и по трофическому уровню [9]. В оз. М. Карстовое максимальное содержание общего фосфора в поверхностном слое воды достигало 1,347 мг Р_{общ}/мл, Бездонное 0,451, Серебрянка 0,244, Золотенка 0,122 мг Р_{общ}/мл.

Развитие фитопланктона в озерах рассматривается по данным ежемесячных наблюдений в 2002 г. в поверхностном и придонном горизонтах в стратифицированных озерах и в поверхностном слое воды самого мелководного и нестратифицированного оз. Серебрянка. Видовой состав – за весь период исследований с 2001 до 2006 г.

Общее число видов, разновидностей и форм водорослей в фитопланктоне озер и их распределение по отдельным систематическим группам приведено в таблице. Как видно, крайне низким разнообразие фитопланктона было в оз. Золотенка, где его состав определяли диатомовые, зеленые и золоти-

Горохова Ольга Геннадьевна, младший научный сотрудник группы фитопланктона. Паутова Валентина Николаевна, кандидат биологических наук, заведующая группой фитопланктона.
E-mail: vnpautova@mail.ru. Тел. (8482) 48-91-99

стые водоросли. Из представителей сине-зеленых, достаточно хорошо представленных в других озерах, за все время наблюдений единично встречен лишь один вид – *Lyngbya limnetica* Lemm. Наиболее высоким флористическое разнообразие было в оз. Серебрянка, где основу альгофлоры планктона составляли зеленые, эвгленовые и диатомовые водо-

росли. Фитопланктон озер Бездонного и М. Карстового отличался присутствием сине-зеленых водорослей в группе ведущих по видовому разнообразию отделов. Они делили третье место с эвгленовыми в оз. Бездонном и также третье место, но с диатомовыми в оз. М. Карстовое.

Таблица. Общее число видов и внутривидовых таксонов водорослей и их распределение по систематическим отделам в озерах Серебрянка (1), Бездонное (2), Малое карстовое (3), Золотенка (4)

Озеро	Bacil-lariophyta.	Chlorophyta	Cya-no-phyta	Euglenophyta	Chryso-phyta	Crypto-phyta	Dinophyta	Xantho-phyta	Всего
1	31	97	15	42	18	10	15	4	232
2	26	104	21	20	6	10	9	4	200
3	15	94	15	35	6	8	3	4	180
4	28	16	1	5	14	8	3	1	76

Фитопланктон озер различался по удельному видовому богатству. Предельно низким оно было в оз. Золотенка – не более 11 видов, разновидностей и форм водорослей в пробе, в других озерах выше: М. Карстовое – до 36 (в придонном слое до 32), Бездонное – 47 (38), Серебрянка – до 54 в пробе.

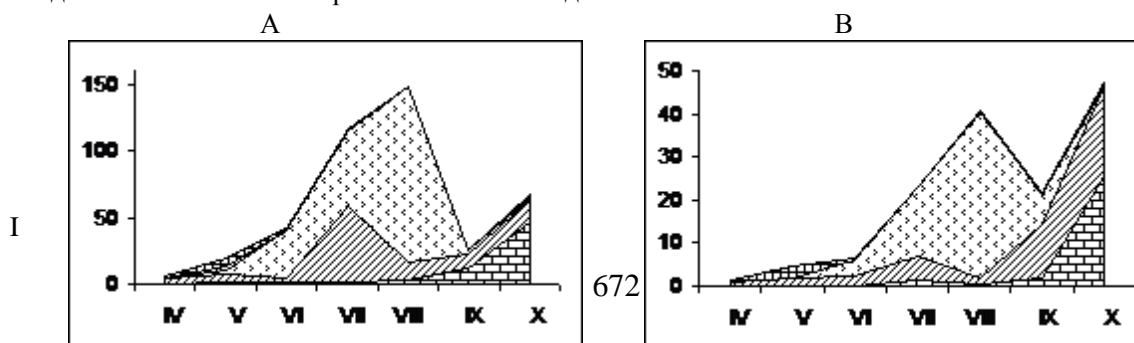
Численность фитопланктона в озерах также варьировала в очень широких пределах (рис.). Наиболее высокой она была в оз. Бездонное, низкой – в оз. Золотенка. Первый сезонный максимум численности водорослей в поверхностном горизонте оз. Золотенка отмечался поздней весной (июнь), в озерах М. Карстовое и Серебрянка – в летний биологический сезон (июль), Бездонное – в осенний (август). Осенний пик регистрировался в озерах Бездонное (октябрь) и Серебрянка (сентябрь). В придонном горизонте всех озер, в отличие от поверхностного четко регистрировалось два близких по величине пика численности фитопланктона. Первый наблюдался в июне (оз. Золотенка и М. Карстовое) или в августе (оз. Бездонное), второй совпадал с периодом осенней гомотермии.

В слабозакисленном оз. Золотенка основу фитопланктона составляли фитофлагелляты. На протяжении большей части периода открытой воды – с мая до августа – золотистые водоросли, позднее – эвгленовые.

Максимум численности золотистых водорослей наблюдался в июне. В поверхностном слое воды

при температуре 18 °С он был равен 7 млн кл./л (общая – 7,36 млн кл./л), в анаэробной придонной зоне в 7 раз ниже – 1 млн кл./л (общая – 1,1 млн кл./л). В сентябре-октябре золотистые водоросли в поверхностном слое воды не регистрировались, а в придонном отмечалось большое количество их цист – в сентябре до 0,99 млн кл./л.

Преобладающие в фитопланктоне водоросли относятся к широко распространенным видам, например, И.С. Трифонова [(1990)] выделяет их как массовые и в фитопланктоне озер Северо-Запада СССР. В мае доминировала *Synura uvella* Ehr., в июне-августе ее сменял *Mallomonas caudata* Iwan. В сентябре-октябре, после окончания вегетации золотистых водорослей лидирующую позицию при невысоком обилии занял *Trachelomonas volvocina* Ehr., который присутствовал в фитопланктоне с мая, но его численность не превышала 0,38 млн кл./л (июнь). Структура альгоценозов к осени упрощалась. В мае в числе содоминантов регистрировались *Chrysococcus biporus* Skuja., *Dinobryon bavaricum* Imhof, *Mallomonas caudata*, и *Synura* sp., в июне – *Trachelomonas volvocina*, в июле – *Chrysococcus biporus*, *Trachelomonas volvocina*. В сентябре-октябре содоминанты в альгоценозах не отмечались.



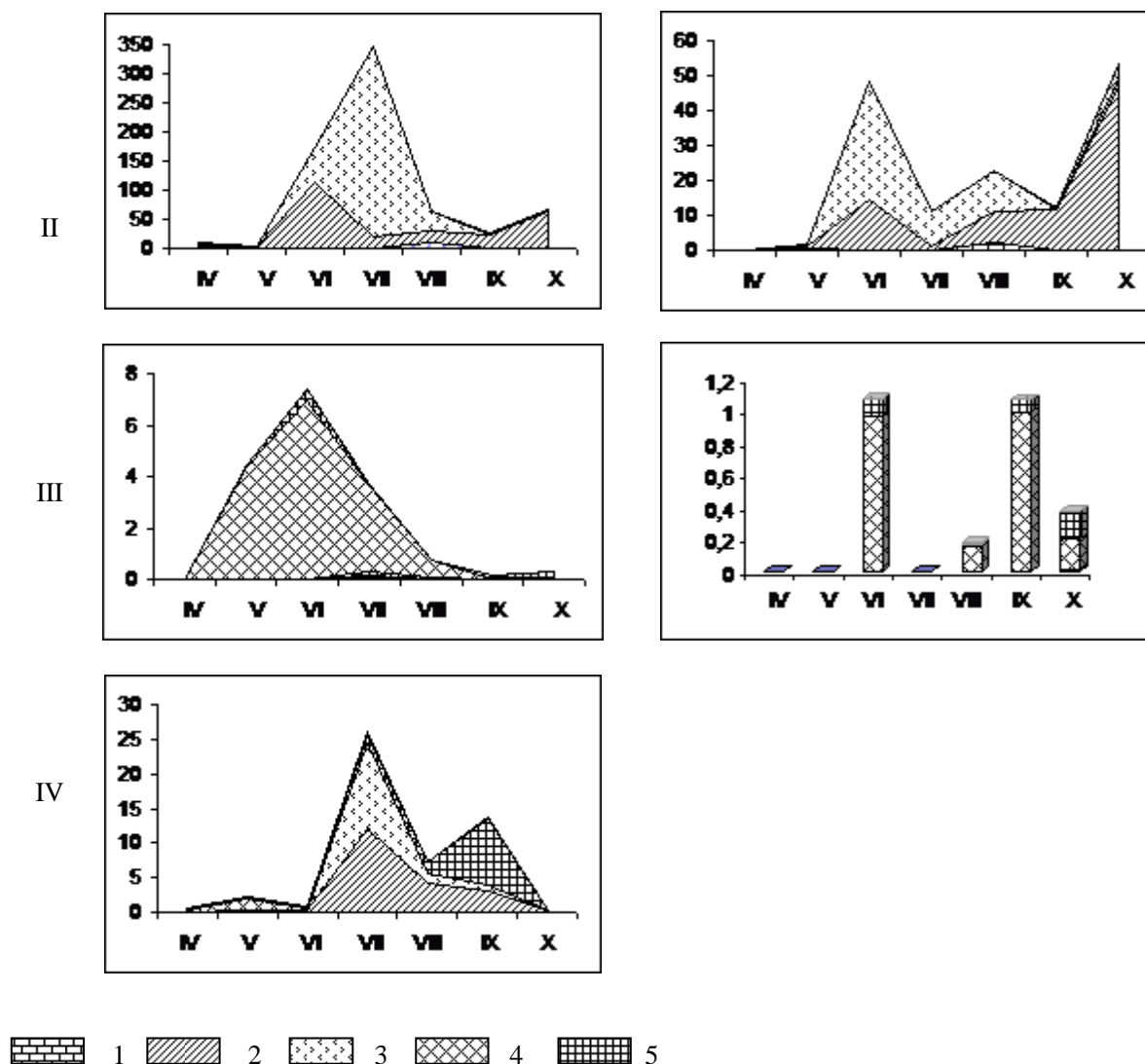


Рис. Сезонная динамика численности (млн кл./л) основных систематических групп водорослей в фитопланктоне озер.

А – в поверхностном горизонте, В – в придонном. Озера: I – Бездонное, II – Малое Карстовое, III – Золотенка (в апреле, мае и июле пробы в придонном слое не отбирались), IV – Серебрянка. Отделы водорослей: 1 – диатомовые, 2 – зеленые, 3 – сине-зеленые, 4 – золотистые, 5 – эвгленовые

В мелководном оз. Серебрянка основу численности фитопланктона в начале его вегетации в слабозакисленной среде образовывали также фитофлагелляты – с преобладанием золотистых. В апреле подо льдом численность золотистых водорослей составляла 0,28 млн кл./л, доминировал *Chrysococcus biporus*, ему сопутствовали криптофитовые (*Cryptomonas ovata* Ehr. и *C. erosa* Ehr.) и динофитовые (*Peridinium palatinum* Laut). Общая численность фитопланктона составляла 0,54 млн кл./л. Более интенсивное развитие золотистых водорослей наблюдалось в мае при температуре воды 10 °С. Их численность увеличилась до 1,76 млн

кл./л (общая – 2,3 млн кл./л). Лидировал *Dinobryon divergens* Imhof с участием *D. elegantissimum* (Korsch.) Bourg., *Trachelomonas volvocina* и *Oscillatoria limnetica* Lemm. В июне, при прогреве воды до 16,4 °С, обилие золотистых водорослей снизилось почти в 8 раз – 0,2 млн кл./л, но общая численность сократилась только в 2,2 раза – до 1,1 млн кл./л, так как повысилось обилие эвгленовых, зеленых и динофитовых водорослей.

Доминировал *Trachelomonas volvocina*, в числе содоминантов отмечены *Dictyosphaerium pulchellum* Wood и *Peridinium bipes* Stein.

Максимальным развитие фитопланктона было в июле при температуре воды 24,5 °С, когда увеличилась численность всех групп водорослей (кроме золотистых), особенно заметно синезеленых – до 12,1 млн кл./л и зеленых водорослей – до 12,1 млн кл./л (общая – 26,6 млн кл./л). Доминировал *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend Elenk. Значительно уступала ему по численности группа содоминантов из зеленых и эвгленовых водорослей: *Dictyosphaerium tetrachotomum* Printz, *Monoraphidium minutum* (Näg.) Kom.-Legn., *Chlamydomonas similis* Korsch., а также *Trachelomonas volvocina*. В августе численность фитопланктона снижалась, и в планктоне доминировали представители разных групп водорослей: *Dictyosphaerium tetrachotomum* из зеленых, *Coelosphaerium kuetzingianum* Näg. из синезеленых и *Trachelomonas volvocina* из эвгленовых. В сентябре наблюдалась вспышка развития *Trachelomonas volvocina* – до 9,4 млн кл./л (общая 13,9 млн кл./л). В октябре численность водорослей снизилась до 0,58 млн кл./л, преобладали *Peridinium bipes* и *Monoraphidium arcuatum* (Korsch.) Hind.

Озера Бездонное и М. Карстовое по структуре фитопланктона и уровню его количественного развития существенно отличались от озер Золотанка и Серебрянка. Между собой их сближает интенсивная вегетация синезеленых водорослей в летний период, а также более значимая роль диатомовых водорослей, особенно в осенний сезон. Среди них массового развития достигали представители класса Centrophyceae. Суммарная численность фитопланктона в этих озерах была на один-два порядка выше, чем в оз. Золотанка и Серебрянка.

В апреле в оз. Бездонном в основном развивались зеленые водоросли – в поверхностном слое воды до 4,9 млн кл./л (общая численность – 6,0 млн кл./л). Доминировали *Chloromonas paraserbinovii* (Skuja) Gerloff et Ettl in Ettl и *Koliella longiseta* (Vischer) Hind. с участием *Euglena hemichromata* Skuja. В фитопланктоне придонного слоя численность зеленых водорослей составляла 1,1 млн кл./л (общая 1,5 млн кл./л) преобладали почти те же виды: *Koliella longiseta*, *Euglena hemichromata* и *Monoraphidium contortum*.

В оз. М. Карстовое в апреле было зарегистрировано массовое развитие криптофитовых водорослей: *Cryptomonas curvata* Ehr. образовывал практически монодоминантное сообщество, с очень высокой плотностью популяции – 9,9 млн кл./л (общая численность фитопланктона – 10,6 млн кл./л), а в фитопланктоне придонной зоны преобладали *Scenedesmus armatus* Chod., *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn. и *Cryptomonas curvata* при невысокой общей численности – 0,1 млн кл./л.

В мае в оз. Бездонное увеличилось обилие всех основных систематических групп водорослей (до 19,6 млн кл./л. и 4,5 млн кл./л. – в поверхностном и придонном горизонтах соответственно). В фито-

планктоне преобладала *Euglena hemichromata*. В поверхностном слое воды наряду с ней доминировали *Spermatozopsis exultans* Korsch. из зеленых, *Dinobryon divergens* из золотистых и *Anabaena* sp. из сине-зеленых, а в придонном – *Koliella longiseta*.

В оз. М. Карстовом в мае общая численность снизилась (до 3,7 млн кл./л), в фитопланктоне поверхностного горизонта лидировал *Stephanodiscus* sp. sp., мелкогабаритные диатомовые водоросли класса Centrophyceae, трудно идентифицируемых с применением светового микроскопа. Численность водорослей этой группы составляла 1,4 млн кл./л, им сопутствовали, значительно уступая по обилию, *Cryptomonas curvata*, а также *Tetrastrum staurogeniaeforme* (Schröd.) Lemm., *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus armatus* из зеленых. В придонном слое (общая численность фитопланктона 1,7 млн кл./л) по числу клеток выделялись те же виды и *Planctothrix agardhii* Gom. Anag. et Komarek.

Динамику численности фитопланктона озер в июне-августе определяли синезеленые и зеленые водоросли. Температура воды в июне составляла 20,3 – 18,7 °С, в июле 27,5-26,3 °С, в августе 12,8-13,2 °С, в придонном слое в июне-августе – 9-12,5 °С.

В июне группа доминирующих видов в фитопланктоне поверхностного слоя в оз. Бездонное состояла из *Anabaena spiroides* Kleb., *Oscillatoria limnetica* и *Anabaena* sp. (численность синезеленых равнялась 36,3 млн кл./л, общая – 41,5 млн кл./л), придонного – из *Anabaena* sp. и *Koliella longiseta* (общая численность фитопланктона не превышала 6,3 млн кл./л). Лидировавшие в верхнем горизонте *Anabaena spiroides* и *Oscillatoria limnetica* отмечались здесь лишь в небольшом количестве. В оз. М. Карстовом в фитопланктоне поверхностного горизонта доминировали зеленые – *Gonium pectorale* Müll., *Dictyosphaerium pulchellum* и синезеленые водоросли – *Anabaena scheremetievi* Elenk., *A. spiroides* (общая численность – 171,9 млн кл./л). В придонной зоне формировался сезонный максимум численности фитопланктона (48,3 млн кл./л), обусловленный развитием *Dictyosphaerium pulchellum* (зеленые), *Anabaena scheremetievi* Elenk., *A. spiroides*.

В июле в оз. Бездонном в поверхностном горизонте численность фитопланктона увеличилась до 117 млн кл./л, лидировали *Microcystis aeruginosa* (51,8 млн кл./л) и *Chlamydomonas globosa* Snow (31,8 млн кл./л), в придонном – при численности фитопланктона 23,3 млн кл./л. доминировали исключительно синезеленые водоросли: *A. Anabaena spiroides*, *Oscillatoria chlorina* (Kutz.) Gom. и *Phormidium* sp. В оз. М. Карстовом в июле был зарегистрирован сезонный максимум количества фитопланктона – в поверхностном горизонте до 346,3 млн кл./л, из них 263 млн кл./л. приходилось

на долю *Microcystis aeruginosa*. Обилие фитопланктона в придонном слое не превышало 11 млн кл./л, доминировали также синезеленые водоросли: *Oscillatoria lauterbornii* Schmidle, *Planctothrix agardhii*, *Microcystis aeruginosa* и *Anabaena spiroides*.

Сезонный максимум численности фитопланктона в оз. Бездонном отмечался в августе – 149,2 млн кл./л. с преобладанием *Aphanothece stagnina* (Spreng.) B. – Peters et Geitl. emend., *Anabaena spiroides*, *A. lemmermannii* P. Richt. с участием *Microcystis aeruginosa*. В придонном горизонте численность водорослей также была максимальной за сезон – 40,5 млн кл./л, доминировали *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk. и *M. aeruginosa*. В оз. М. Карстовом в фитопланктоне поверхностного слоя воды продолжал лидировать *M. aeruginosa*, а в придонном преобладали *M. aeruginosa*, *Planctothrix agardhii* и *Micractinium pusillum* Fres. Общая численность водорослей составила 63,8 и 22,7 млн кл./л – в поверхностном и придонном горизонтах соответственно.

В июне-августе в фитопланктоне обоих озер среди субдоминантов наблюдались хлорококковые водоросли *Monoraphidium contortum*, *M. irregulare* (G.M. Sm.) Kom.-Legn., *M. minutum* *Dictyosphaerium pulchellum*, *D. tetrachotomum*, *Nephrochlamys* sp., *Scenedesmus armatus*, *S. opoliensis* P. Richt., *Pediastrum duplex* Meyen, и жгутиковые формы зеленых: *Gonium pectorale*, *Eudorina elegans* Ehr., *Pseudocarteria petergoffiensis* (Kissel.) Ettl, *Carteria radiosa* Korsch. Особенностью фитопланктона, развивающегося в анаэробных условиях придонной зоны в июне-августе, являлся состав преобладающих по численности видов синезеленых водорослей: *Planctothrix agardhii*, *Oscillatoria lauterbornii*, *O. chlorina*, *O. limnetica*, *Lyngbya limnetica*, адаптированных к условиям гипolimниона.

В сентябре в озерах зарегистрировано снижение численности фитопланктона и смена руководящих видов водорослей. В октябре, при температуре воды не более 3,8-5,5 °С, и появлении первых ледяных краин на оз. М. Карстовом, в обоих водоемах отмечено интенсивное развитие зеленых и диатомовых водорослей, как в поверхностном горизонте воды, так и в придонном.

В оз. Бездонном в сентябре в фитопланктоне поверхностного горизонта доминировал *Stephanodiscus* sp. sp., придонного – *Monoraphidium irregulare*, *Microcystis pulverea*, *Nephrochlamys* sp. В октябре численность *Stephanodiscus* sp. sp достигла сезонного максимума в поверхностном и придонном горизонтах (соответственно, 46,7 и 24,7 млн кл./л, общая численность фитопланктона – 66,7 и 47,2 млн кл./л). В сентябре-октябре численность видов хлорококковых водорослей, субдоминантов летнего фитопланктона – продолжала оставаться высокой, а в придонном слое возросла на порядок по сравнению с летними величинами, и в октябре

наблюдался сезонный максимум содержания зеленых водорослей (20,9 млн кл./л).

В оз. М. Карстовом октябрьский подъем численности фитопланктона обусловлен развитием группы зеленых водорослей. В комплексе доминантов – *Monoraphidium minutum*, *Nephrochlamys* sp. с участием *Dactylosphaerium jurisii* Hind., *Coelastrum microporum* Näg. in A. Br., *Scenedesmus gutwinskii* Chod., *S. opoliensis* и *Synura uvella* из золотистых водорослей Ehr. Подъем в развитии зеленых водорослей особенно заметен в придонном горизонте (46,6 млн кл./л, при общей численности 53,2 млн кл./л). Интенсивное осеннее развитие *Chlorococcales* отмечалось Е.С. Гусевым в одном из эвтрофных карстовых озер Владимирской области [3].

В целом проведенные исследования показали, что по особенностям развития фитопланктона в малых, мягководных и слабоминерализованных карстовых водоемах Самарской Луки: его флористическому и таксономическому разнообразию, удельному видовому богатству, структуре, составу комплекса преобладающих видов водорослей, состоящего из таксонов с широким распространением, и их сезонной сукцессии выделяется 3 группы озер. Одна представлена стратифицированным, сульфатным, слабозакисленным, мезополигуменным оз. Золотенка. Вторая – нестратифицированным, в начале вегетации сульфатным и слабозакисленным, позднее гидрокарбонатным, в основном с нейтральной средой и мезополигуменным оз. Серебрянка. Третья – гидрокарбонатными, более эвтрофными, олигомезогуменными озерами Бездонное и К. Карстовое, рН которых в поверхностном слое воды изменялся от нейтрального до сильно щелочного, в придонном – от слабокислого до нейтрального.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уникальные экосистемы солонатоводных карстовых озер Среднего Поволжья. Казань: Изд-во казанск. ун-та. 2001.
2. Корнева Л.Г., Гусаков В.А., Гусев В.С., Жгарева Н.Н., Крылов А.В., Павлов Д.В., Романенко А.В. Экологическая характеристика слабоминерализованных карстовых озер Центральной России (Владимирская область) // Изв. Самар. НЦ РАН. Спецвыпуск 4.
3. Гусев Е.С. Особенности структуры и функционирования фитопланктона стратифицированных озер карстового происхождения Центральной России. Автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Борок, 2007.
4. Hindar F., Trifonova I. Morphology and ecology of three Limnithrix species (Cyanophyta) from the Hypolimnion of a highly eutrophic lake in Latvia, USSR // Biologia (Bratislava). 1989. N 1.
5. Горленко В.М., Дубинина Г.Ф., Кузнецов С.И. Экология водных микроорганизмов. М., 1977.
6. Трифонова И.С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука, 1990.
7. Горбунов М.Ю., Уманская М.В. Физико-географическая и гидрологическая характеристика Самарской Луки озер // Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Быкова С.В., Шерышева Н.Г.: Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007.

8. Горбунов М.Ю., Уманская М.В. Абиотические условия в водной толще озер // Жариков В.В., Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Быкова С.В., Шерышева Н.Г.: Тольятти: ИЭВБ РАН, 2007.
9. Номоконова В.И. Гидрохимический режим и трофическое состояние озер Самарской Луки и сопредельной территории. // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2009. Т. 11, № 1. С. 155-164.

PHYTOPLANKTON FROM KARTS LAKES OF THE SOUTH FOREST-STEPPE POVOLGIA

© 2009 **O.G.Gorokhova, V.N.Pautova**

Establishment of the Russian Academy of sciences Institute of Ecology
of the Volga River Basin, Togliatti

The first results of study phytoplankton from карстовый lakes on territory the Samarskaya Luka are submitted. In comparative aspect the floristic division of plankton, structure phytoplankton and seasonal a succession of dominant species are discussed.

Key words: Phytoplankton, a carbonate lakes, Samarskaya Luka.