

УДК 574.5 (28):581

**ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ФИТОПЛАНКТОНА
МАЛОГО УРБАНИЗИРОВАННОГО ВОДОЕМА
(ОЗ. ВОСЬМЕРКА, 2013 Г., САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

© 2019 Е. С. Кривина

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Статья поступила в редакцию 12.02.2019

В данной статье рассмотрены особенности вертикального распределения фитопланктона в малом урбанизированном водоеме на примере оз. Восьмерка (система Васильевских озер, Самарская область). Материалом послужили альгологические пробы, отобранные в период с июня по октябрь 2013 года. В работе представлены результаты изучения вертикального распределения видового богатства водорослей, показателей количественного развития, уровня видового разнообразия.

Ключевые слова: фитопланктон, стратификация, урбанизированные водоемы, вертикальное распределение.

Вертикальное распределение планктона, изменение его видового состава и показателей количественного развития с глубиной, а также факторы, оказывающие на это наибольшее влияние, вызывают как теоретический, так и практический интерес. Вертикальное распределение планктона оказывает существенное влияние на круговорот веществ в водоеме, передачу энергии и транспорт органических веществ по столбу воду от поверхности к придонным слоям, миграцию промысловых животных, в первую очередь, планктофагов (например, рыб и ряд млекопитающих). Фитопланктон – это про-

планктона малого урбанизированного водоема на примере оз. Восьмерка, г. Тольятти, Самарская область.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

Оз. Восьмерка расположено на землях г.о. Тольятти: 53°49'83'' с.ш. 49°49'88'' в.д. Водоем входит в систему Васильевских озер. По очертанию акватории близок к овальному типу [6]. Некоторые морфометрические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Отдельные морфометрические показатели оз. Восьмерка

Площадь, м ²	Длина, м	Объём, м ³	Глубина, м	
			средняя	максимальная
128750	700	395000	8,0	3,1

дукцент органического вещества и первое звено трофической цепи любого водоема. Именно водоросли во многом определяют уровень пищевых ресурсов и трофические взаимоотношения живых организмов на различных глубинах.

Вертикальное распределение фитопланктона и его суточные вертикальные миграции являются важными факторами, оказывающие большое влияние на жизнь в морских и континентальных водоемах. В связи с этим, изучение особенностей вертикального распределения фитопланктона представляет как научный, так и хозяйственный интерес [1].

Цель работы – рассмотреть сезонные особенности вертикального распределения фито-

Оз. Восьмерка – относительно молодой водоем, который сформировался в 50-ые годы XX века в результате поднятия уровня грунтовых вод после заполнения Куйбышевского водохранилища. На экологическое состояние озера оказывает существенное влияние расположенный на его берегах крупный дачный массив, который можно рассматривать как источник загрязнения биогенными элементами (азотом и фосфором), дорожная инфраструктура, из-за которой в водоем ежегодно поступают хлориды и сульфаты щелочных металлов. Также на территории системы Васильевских озер расположены очистные сооружения ВАЗа и ТоАЗа, источники солевого и биогенного загрязнения. Два водоема системы (оз. Отстойник, оз. Шламонакопительное) до 1996 г. были приемниками отходов азотно-тукового производства и Тольяттинской ТЭЦ, что также негативно сказывается на эко-

*Кривина Елена Сергеевна, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН.
E-mail: pepelisa@yandex.ru*

логическом состоянии исследуемого водоема, поскольку все Васильевские озера связаны единым водоносным горизонтом. Кроме того, оз. Восьмерка активно используется для любительского рыболовства и рекреации [2,4,9].

Изучение экосистемы водоема проводилось в конце 80-ых–начале 90-ых годов XX века сотрудниками Института экологии Волжского бассейна РАН (ИЭВБ РАН) в рамках паспортизации городских водоемов [9]. В 2013 г. связи с апробацией метода альголизации на одном из водоемов (оз. Б. Васильевское) сотрудники лаборатории экологии простейших и микроорганизмов ИЭВБ РАН возобновили исследования ряда водоемов системы, в т.ч. и оз. Восьмерка [2].

Материалом для данной работы послужили альгологические пробы, отобранные в период с июня по октябрь в 2013 г. Отбор проб проводился ежемесячно в наиболее глубоководной части озера воды по стандартным гидробиологическим методикам с учетом вертикального распределения водорослей по столбу воды. Материал отбирали батометром Рутнера, а в зоне хемоклина – специальным тонкослойным пробоотборником. Фиксировали 40-% раствором формалина. Концентрировали посредством фильтрации 0,5 л воды через мембранный фильтр с диаметром пор 1 мкм при помощи насоса Комовского. Сконцентрированную пробу приводили к объему 10 мл. Для количественного подсчета водорослей использовали камеру Учинской объемом 0,01 мл. Для большей достоверности учета клеток просчитывали по 10 полос в двух повторностях. Подсчет вели под микроскопом «Биолар» (Польша) при увеличении в 600 раз [8].

Всего было отобрано и обработано 42 альгологические пробы.

Оз. Восьмерка представляет собой димиктический водоем. В летний период в озере отмечалась температурная и кислородная стратификация. Термоклин располагался, как правило, на глубине 3–4 м. Период осенней гомотермии охватывал октябрь и ноябрь. Зона оксиклина была несколько уже термоклина и в большинстве случаев располагалась в его пределах. В период осенней гомотермии отмечалось насыщение кислородом всей водной толщи вплоть до гипolimниона. В период открытой воды рН воды изменялась от слабощелочной в зоне эпилимниона до практически нейтральной у дна [2,3].

Минерализация воды в оз. Восьмерка несколько увеличивалась от поверхности ко дну, гидрохимический класс воды – сульфатный класс Na группы. Отметим, что в 90-ых годах XX века состав воды данного озера соответствовал гидрокарбонатному классу Ca группы. Можно предположить, что переход к такому типу минерализации связан с инфильтрацией из близ расположенного «техногенного» водоема – оз. Отстойник. Четко выраженных сезонных изменений минерализации как в озере в целом, так

и в его отдельных горизонтах не выявлено [3].

Более подробная гидрохимическая характеристика водоема была представлена в ряде опубликованных работ сотрудников ИЭВБ РАН [2,3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проделанной работы в составе альгофлоры планктона оз. Восьмерка было зарегистрировано 238 таксонов водорослей рангом ниже рода. Они относились к 10 отделам, 15 классам, 23 порядкам, 50 семействам и 101 роду. Как и в других естественных водоемах системы, наибольшим видовым богатством отличались следующие отделы: зеленые водоросли (33% от общего числа видов, разновидностей и форм водорослей), диатомовые водоросли (23%) и сине-зеленые водоросли (цианобактерии) (18%) [4,5, 9]. Доля представителей других отделов водорослей не превышала 10% от общего видового богатства.

Среднее видовое богатство водорослей на отдельно взятом горизонте варьировало в пределах от 36 до 93 видовых и внутривидовых таксонов. Наибольшим видовым богатством традиционно отличилось сообщество водорослей в первой половине лета (рис.1).

В июне профиль вертикального распределения обилия видов, разновидностей и форм водорослей имел одновершинный максимум в зоне пересечения термо- и оксиклина – на глубинах 4–4,5 м. Далее шло плавное снижение видового богатства ко дну. На каждом из горизонтов альгофлора планктона характеризовалась как зелено-диатомово-синезеленая. Отметим, что высокое разнообразие именно хлорококковых зеленых водорослей, а также их относительно высокое обилие вообще характерно для эвтрофных и гипертрофных озер в первой половине лета [11]. Во второй половине лета – начале осени роль представителей зеленых и диатомовых водорослей несколько снизилась на фоне увеличения значимости цианобактерий, что согласуется с общей сезонной сукцессией фитопланктона водоемов нашего региона [9]. В зоне термо- и оксиклина отмечалось некоторое увеличение видового богатства альгофлоры планктона, но не столь ярко выраженное, как в начале лета.

Кластерный анализ проводили в программе Statistica в качестве меры различия использовалось Евклидово расстояние, алгоритм объединения – метод Варда (рис.2), с учетом численности различных видов водорослей [7]. В период с июня по сентябрь, выделяемые подкластеры, по большей части, соответствовали градации водной толщи на эпи-, мета- и гипolimнион. Отметим, что в июне в зоне наложения окси- и термоклина на глубине 4,5 м различия сообщества водорослей были столь ярко выражены, что составили самостоятельный подкластер. В период осенней гомотермии объединение сообществ

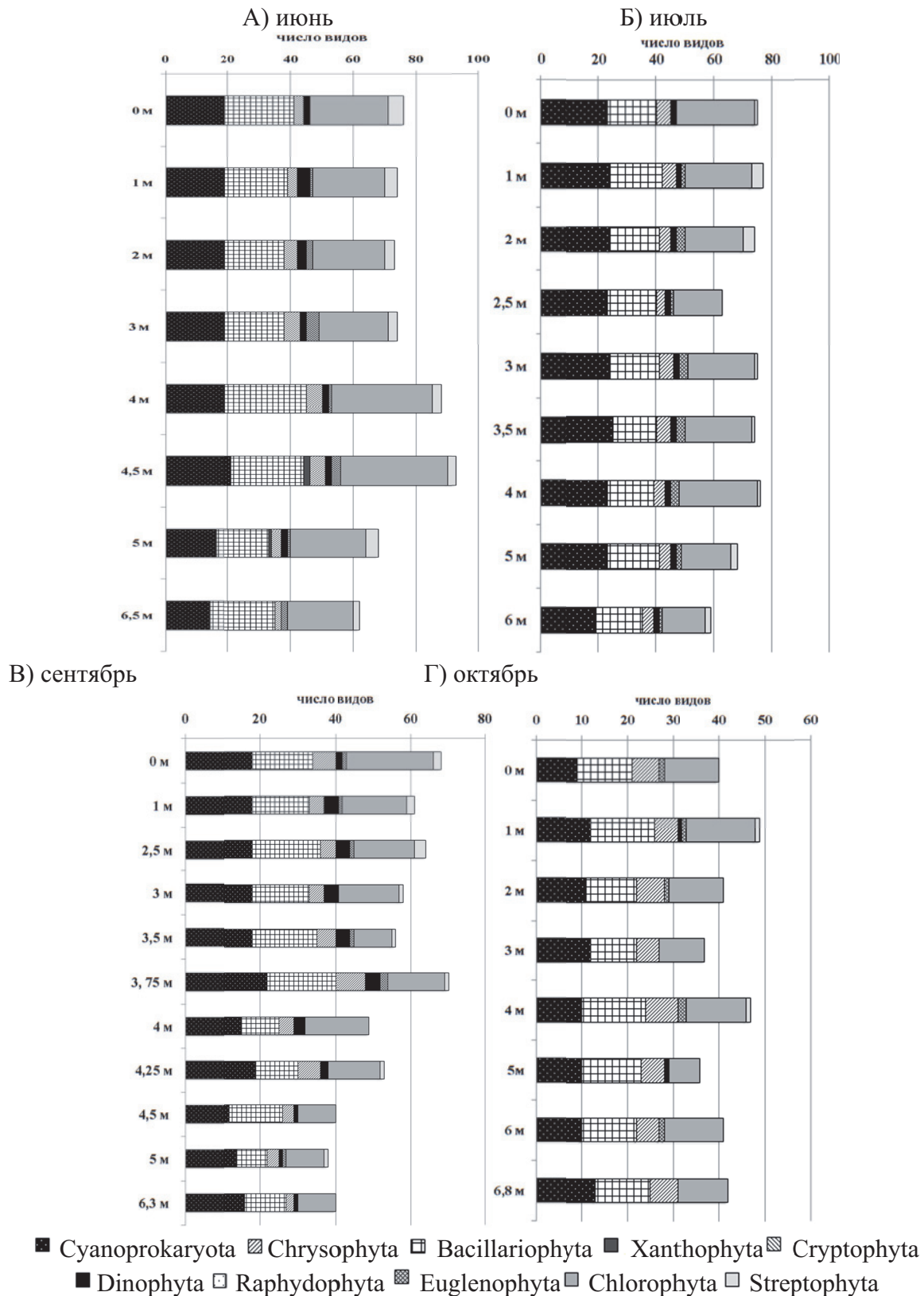


Рис. 1. Вертикальное распределение числа видовых и внутривидовых таксонов водорослей в оз. Восьмерка в 2013 г.

водорослей различных горизонтов в родственные подкластеры происходило с нарушением логики вертикального распределения.

Показатели количественного развития фитопланктона оз. Восьмерка были достаточно высо-

кими и варьировали в широком диапазоне (рис. 3). Так численность фитопланктона за период наблюдений изменялась от 9,54 млн кл./л до 101,89 млн кл./л. Наиболее высокие значения численности отмечались в конце лета-начале осени, наиме-

нее – во второй половине осени. Основной вклад в формирование показателей численности на протяжении всего периода исследования и на всех горизонтах вносили синезеленые водоросли (цианобактерии) – от 56% до 98% в осенний период.

Характер вертикального профиля численности фитопланктона был во многом связан со степенью стратификации водоема. В июне абсолютный максимум численности регистрировался в зоне наложения термо- и оксиклина – на глубине 4,5 м.

Во второй половине лета-начале осени отмечалось плавное снижение численности фитопланктона от поверхности ко дну, при этом в сентябре отмечался второй неярко выраженный пик численности также в зоне наложения термо- и оксиклина (3,75 м).

В октябре профиль вертикального распределения численности был слабо изрезан. Первый максимум численности отмечался в эпилимнионе, второй – на глубине 4 м.

Основу комплекса доминирующих по численности видов водорослей составляли водоросли S_1 -типа – *Planktothrix agardhii* (Gomont) Anagn. et Kom., *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Gronb., *Geitlerinema amphibium* (Ag. ex Gom.) Anag. и *Limnotrix redekei* (Van Goor) Meff., которые традиционно считаются возбудителями так называемой «осцилляториевой болезни» внутренних водоемов. Эти виды типичны для фитопланктона мелководных высокоэвтрофных озер. Для них характерны эври-

термность, миксотрофность, теневыносливость, толерантность к перемешиванию и стратификации, выеданию зоопланктоном, повышенная потребность в биогенных элементах [10, 13, 14]. Этим видам периодически сопутствовали в начале лета – *Snowella lacustris* (Chodat) Komárek et Hindak, в позднелетний – раннеосенний период *Aphanozomenon flos-aquae* (L.) Ralfs. и *Anabaena variabilis* Kütz. (H_1 -тип), а также *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. (M-тип).

Биомасса фитопланктона изменялась в пределах от 2,32 мг/л до 29,89 мг/л. Как и в случае с численностью фитопланктона, наиболее высокие значения биомассы отмечались в конце лета-начале осени, наименьшие – в осенний период. Средняя биомасса за период наблюдения по водной толще составила $11,35 \pm 7,75$, что соответствует гиперэвтрофному типу [11].

В начале лета профиль вертикального распределения биомассы фитопланктона совпадал с аналогичным профилем численности. Максимум биомассы фиксировался на глубине 4,5 м, в зоне наложения термо- и оксиклина. Основной вклад в формирование биомассы (40–57%) на всех горизонтах вносили диатомовые водоросли. Также на всех горизонтах значим был вклад зеленых водорослей, роль которых увеличивалась с глубиной (от 13% в поверхностном слое до 28% в придонном). Вклад динофитовых водорослей, напротив, с глубиной уменьшался от 20% на 0 м до 0% на 6 м. Доля синезеленых водо-

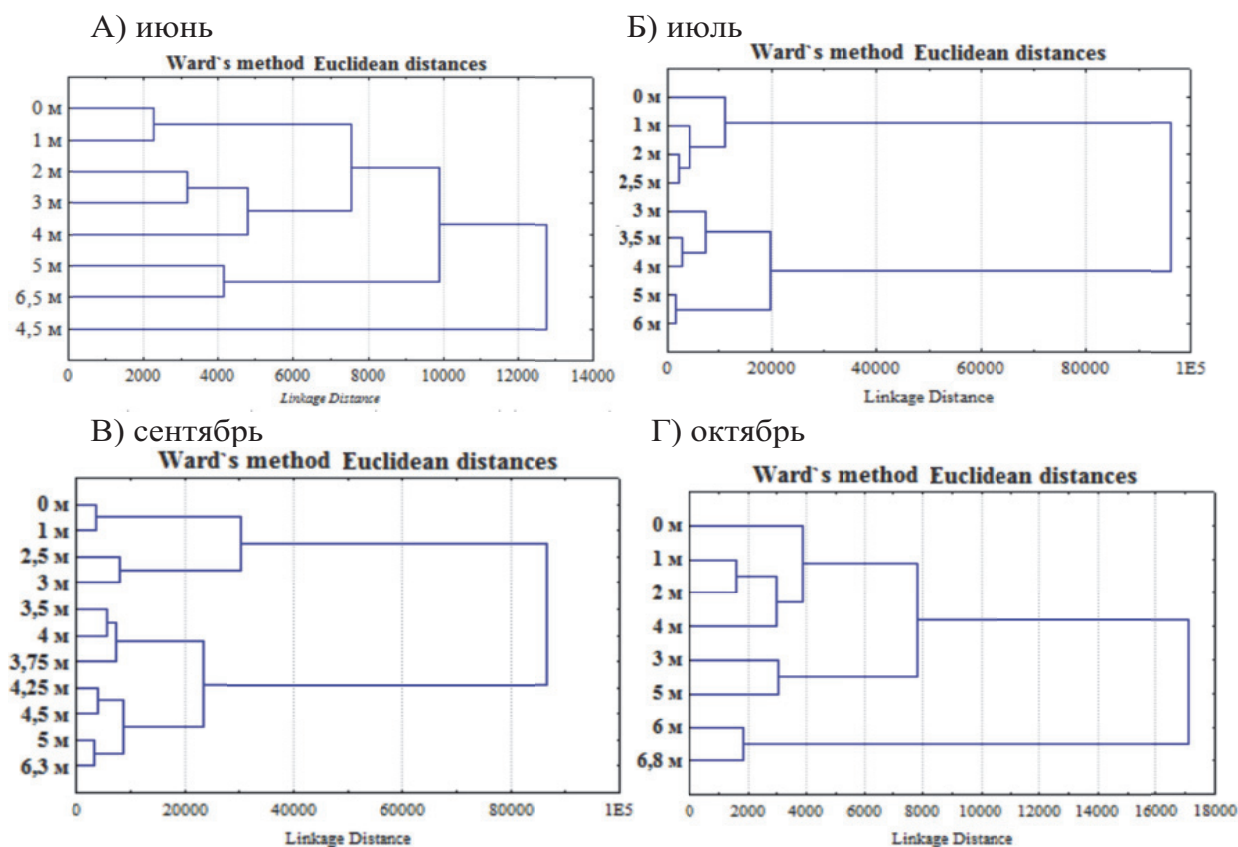


Рис. 2. Кластерный анализ структуры сообщества фитопланктона оз. Восьмерка в 2013 г.

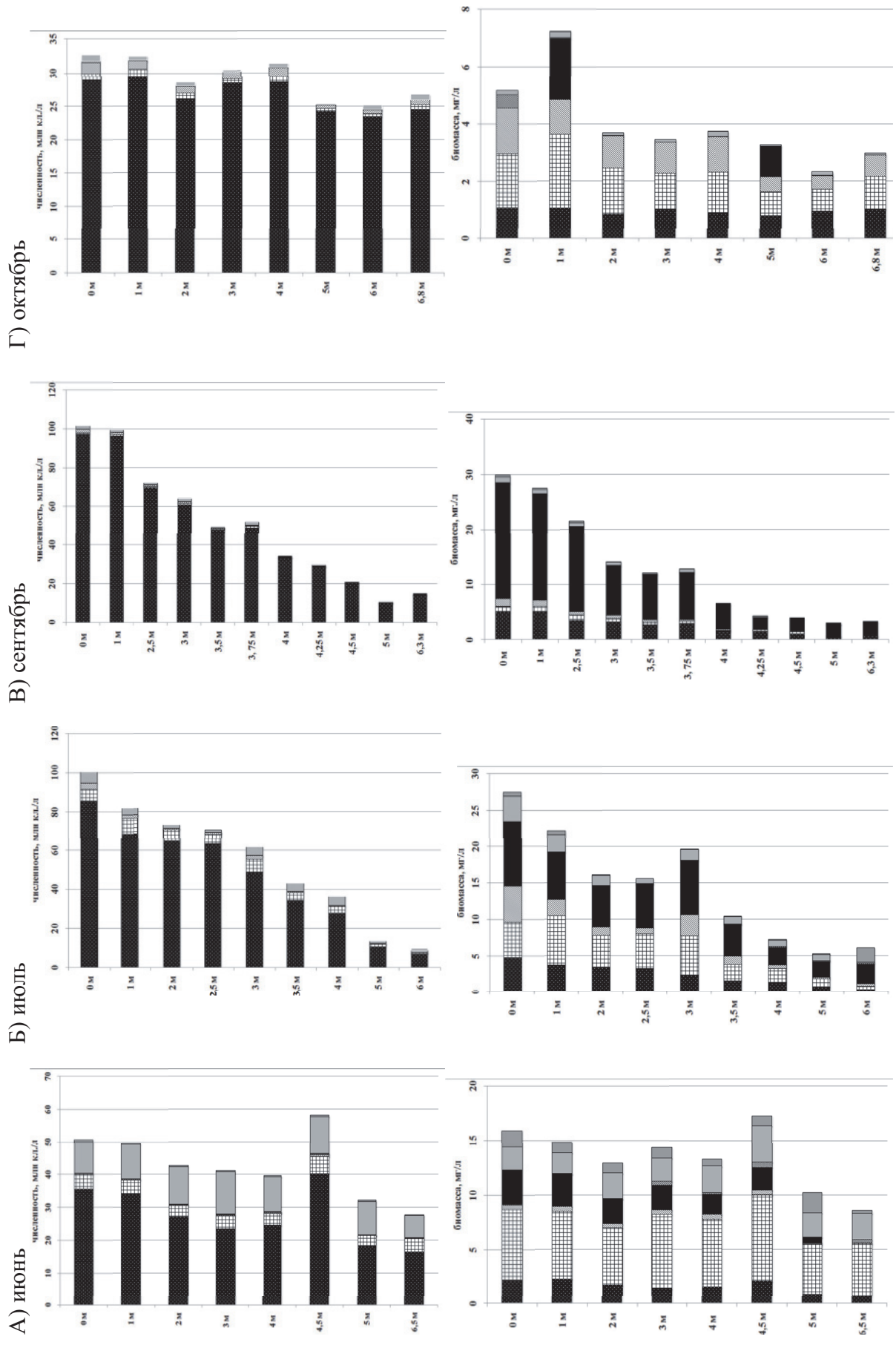


Рис. 3. Вертикальное распределение численности и биомассы фитопланктона оз. Восьмерка в 2013 г. Обозначения см. на рис.1.

рослей плавно снижалась от поверхности ко дну с 15 до 7%, с незначительным увеличением биомассы в зоне хемоклина.

Во второй половине лета-начале осени основной вклад в формирование биомассы фитопланктона на всех горизонтах вносили крупноклеточные динофитовые водоросли, значимость которых увеличивалась от июля (32–44%) к сентябрю (50–75%). В июле также существенна была доля диатомовых водорослей (10–33%). Синезеленые водоросли, несмотря на относительно небольшие размеры клеток, благодаря высокой численности, продолжали принимать участие в формировании показателей биомассы (8–34%).

Профиль вертикального распределения биомассы фитопланктона и в июле, и в сентябре, характеризовался увеличением биомассы в зоне термо- и оксиклина. В июле он был связан с возрастанием биомассы динофитовых (29–44%), диатомовых (17–30%), синезеленых (10–21%) водорослей, а также криптофитовых водорослей в поверхностных горизонтах и зоне хемоклина (10–18%), в сентябре – преимущественно с возрастанием биомассы динофитовых водорослей.

В период осенней гомотермии (октябрь) значения биомассы фитопланктона определялись вегетацией диатомовых (25–43%), криптофитовых (16–33%) и синезеленых (14–41%) водорослей. Максимум на глубине 1 м был связан с активной вегетацией динофитовых водорослей.

Основу комплекса видов водорослей, доминирующих по биомассе, в июне составляли центрические диатомовые водоросли (*Cyclotella radiosa* (Grun.) Lemm., *C. meneghingiana* Kütz., *Melosira varians* Ag.). В июле-сентябре абсолютным доминантом по биомассе была крупноклеточная динофитовая водоросль *Ceratium hirundinella* (O. F. M.) Scrank. В октябре наиболее часто в состав доминирующего комплекса входили *Stephanodiscus hantzschii* Grun. (диатомовые водоросли), *Cryptomonas curvata* Ehr. (криптофи-

товые водоросли), *Planktothrix agardhii* (синезеленые водоросли). Примечательно, что большая часть данных видов, способна к миксотрофному питанию и часто встречается в водоемах с высокой степенью трофии вод [11,12].

Индекс видового разнообразия Шеннона по численности (H_N) изменялся в пределах от 2,38 бит/экз. до 5,13 бит/экз. (рис. 4). Наиболее высокие значения H_N традиционно отмечались в начале лета, период развития различных видов хлорококковых водорослей, наименьшие – осенью, в период интенсивного доминирования синезеленых водорослей.

Профиль вертикального распределения H_N в июне имел глубоководный максимум над зоной оксиклина. В зоне наложения термо- и оксиклина наблюдалось резкое снижение видового разнообразия, которое затем несколько увеличивалось ко дну. Во второй половине лета-начале осени в зонах термо- и оксиклина, напротив, отмечалось увеличение видового разнообразия. Вероятно, это происходило за счет увеличения общего числа видов, с одной стороны, и снижения степени доминирования отдельных видов синезеленых водорослей, с другой. В период осенней гомотермии (октябрь) видовое разнообразие имело слабую тенденцию увеличения от поверхности ко дну, с минимумами на 2 м и 4 м, где единственным монодоминантом выступала синезеленая водоросль *Planktothrix agardhii*.

Индекс видового разнообразия Шеннона, рассчитанный по биомассе фитопланктона (H_B), варьировал в диапазоне от 1,77 бит/г до 4,97 бит/г. Наиболее высокие значения отмечались в начале лета, наименьшие в начале осени, когда значения биомассы определялись преимущественно вегетацией *Ceratium hirundinella*.

Профиль вертикального распределения H_B в начале лета имел глубоководный максимум в переходной зоне (4–4,5 м). В июле-сентябре профили H_B были более изрезаны. Отмечалось об-

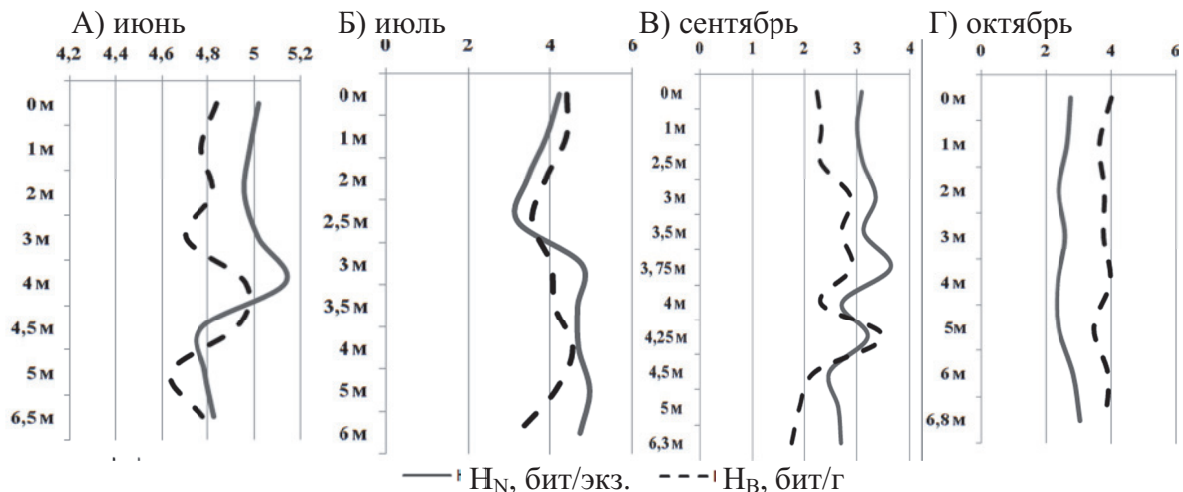


Рис. 4. Вертикальное распределение индексов видового разнообразия Шеннона в оз. Восьмерка в 2013 г.

щее снижение индексов от поверхности ко дну с несколькими максимумами в зоне металимниона, которые были связаны с уровнем доминирования *Ceratium hirundinella* и характером изменения общего видового богатства с глубиной. Во второй половине осени уровень H_v был существенно выше, аналогичных значений H_N , так как *Planktothrix agardhii* в силу относительно небольшого размера клеток даже при высоких значениях численности не могла оказать столь же сильное влияние на формирование показателей биомассы фитопланктона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в оз. Восьмерка наиболее яркие различия в вертикальном распределении фитопланктона, как по качественным, так и по количественным характеристикам отмечались в начале лета. Причем в июне максимальные значения как видового богатства, так и показателей количественного фитопланктона регистрировались именно в зоне хемоклина. От лета к осени глубинные максимумы развития водорослей становятся менее выраженными.

В летне-осенний период в водоеме отмечалась активная вегетация нитчатых синезеленых водорослей S_1 -типа на всех горизонтах, уровень доминирования по численности которых к октябрю только нарастал. По биомассе в начале лета преобладали центрические диатомовые водоросли, во второй половине лета-начале осени – динофитовые водоросли, во второй половине осени – центрические диатомовые и криптофитовые водоросли. По показателю средней за вегетационный сезон биомассе оз. Восьмерка относится к гиперэвтрофному водоему с интенсивной степенью «цветения» воды.

Видового разнообразия фитопланктона на всех горизонтах, как по численности, так и по биомассе, было наибольшим в начале лета. По мере нарастания интенсивности «цветения» воды синезелеными водорослями оно постепен-

но снижалось. В период стратификации водных масс в зоне металимниона значимые колебания индексов видового разнообразия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вербицкий В.Б.* Курс лекций по планктологии. URL: <http://ibiw.ru/index.php?p=edu/contents&lang=ru> (дата обращения 12.02.2019)
2. *Горбунов М.Ю., Уманская М.В., Краснова Е.С.* Современное экологическое состояние озера Большое Васильевское // *Известия Самарского НЦ РАН.* 2014. Т. 16, № 1. С.183-187.
3. *Горбунов М. Ю., Уманская М. В., Краснова Е.С.* Современное экологическое состояние некоторых пригородных озер системы Васильевских озер, г. Тольятти: Гидрохимический режим озер в 2013-2015 гг. // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2017. Т.26, №1. С. 28-40. 7.
4. *Кривина Е.С.* Трансформация фитопланктона малых водоемов урбанизированных территорий в условиях изменения антропогенной нагрузки: Автореф. дис. ... кан. биол. наук. Тольятти: 2018. 20 с.
5. *Кривина Е.С., Тарасова Н.Г.* Особенности распределения планктонных водорослей в стратифицированном водоеме (на примере оз. Прудовиков, г.о. Тольятти) // *Вода: химия и экология.* 2017, №9. С. 55-63.
6. *Литинский Ю.Б.* Некоторые вопросы геоморфологии озер Карельского региона // *Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии.* Петрозаводск, 1960. С. 10-59.
7. *Мастицкий С.Э.* Методическое пособие по использованию программы STATISTICA при обработке данных математических исследований. Минск: РУН «Ин-ститут рыбного хозяйства», 2009. 77 с.
8. *Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов.* М., 1975. 240 с.
9. *Протисты и бактерии озер Самарской области / Под ред. В.В. Жарикова.* Тольятти: Кассандра, 2009. 240 с.
10. *Сиделев С.И., Бабаназарова О.В.* Экология и сукцессия фитопланктона в озерах планктот-рихетового типа (на примере озера Неро, Ярославская область, Россия) // *Водоросли: таксономия, экология, использование в мониторинге.* Екатеринбург: УрО РАН, 2011. С. 212-216.
11. *Трифонов И.С.* Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. 1990. 184 с.
12. *Фитопланктон Нижней Волги. Водохранилища и низовья реки.* СПб.: Наука, 2003. 232 с.
13. *On the dominance of filamentous cyanobacteria in shallow, turbid lakes / M. Scheffer, S. Rinaldi, A. Gragnani et al. // Ecology.* 1997. V. 78. № 1. P. 272-282.
14. *Towards a functional classification of the freshwater phytoplankton / C.S. Reynolds, V. Huszar, C. Kruk, L. Naselli-Flores & S. Melo // Journal of Plankton Research.* 2002. V. 24. Pp. 417-428.

VERTICAL DISTRIBUTION OF PHYTOPLANKTON IN SMALL URBANIZED LAKE LANDSCAPE (LAKE VOSMERKA, 2013, SAMARA REGION)

© 2019 E. S. Krivina

Institute of Ecology of the Volga river basin Russian Academy of Sciences, Togliatti

This article describes the vertical distribution of phytoplankton in a small urbanized lake Vosmerka (system Vasilevsky lakes, Samara region). The material was algological samples taken in the period from June to October 2013. The paper presents the results of the study of the vertical distribution of species richness of algae, value of quantitative development and species diversity.

Keywords: phytoplankton, stratification, urban water bodies, vertical distribution.

Elena Krivina, Candidate of Biological Sciences, Junior Research Worker of the Laboratory of Ecology of Protozoa and Microorganisms. E-mail: pepelisa@yandex.ru