

УДК 574.5

ОРГАНИЧЕСКИЙ ПИКОСЕСТОН ОЗЕРА КАНДРЫ-КУЛЬ (РЕСП. БАШКОРТОСТАН, РОССИЯ) В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

© 2013 М.В. Уманская, Е.С. Краснова, М.Ю. Горбунов

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти

Поступила 01.11.2013

Впервые проведено исследование органического пикосестона (фракции сестона с размером частиц менее 2 мкм: бактериопланктона, фототрофного пикопланктона и органического пикодетрита) в оз. Кандры-куль (респ. Башкортостан, Россия). В статье представлены особенности пространственного распределения пикосестона, соотношение его компонентов и размерная структура на разных станциях озера в июле 2012 г. Средняя по всему водоему биомасса пикосестона составила 187,6 мкг/л, или 21,5 % биомассы фитопланктона. Основной вклад в суммарную биомассу пикосестона вносили бактерии (в среднем - 78%), доли фототрофного пикопланктона и пикодетрита были близки (11,3 и 10,7%). Несмотря на меньшую продуктивность озера Кандры-куль, количественные показатели пикосестона в нем сопоставимы с таковыми в ряде Волжских водохранилищ.

Ключевые слова: сестон, бактериопланктон, фототрофный пикопланктон, пикодетрит

Водные экосистемы представляют собой сложные многокомпонентные структуры, в которых происходит постоянное взаимодействие биотических и абиотических составляющих. Сестон – это совокупность мелких парящих в водной толще микроорганизмов (планктон) и взвешенных в воде органических и неорганических частиц (детрит) [10]. Размеры организмов планктона и частиц детрита могут варьировать от 0,2 мкм до нескольких миллиметров. В зависимости от размеров клеток и частиц, сестон можно разделить на несколько размерных фракций [8, 11, 14]. Клетки и частицы размерами 0,2-2 мкм относят к пикосестону. В его состав входят как мельчайшие живые организмы (пикопланктон), так и часть органического детрита (пикодетрит).

Основным компонентом пикопланктона являются хемоорганотрофные бактерии (бактериопланктон). Размеры подавляющей части планктонных бактерий, за исключением некоторых нитевидных форм и самых крупных бацилл лежат именно в пикопланктонном диапазоне. Гетеротрофные эукариотические организмы, напротив, почти не представлены в этой размерной фракции.

В состав фототрофного пикопланктона входят как цианобактерии (например, *Synechococcus* sp., *Cyanobium* sp. и некоторые др.), так и эукариотические водоросли разных таксономических групп (*Pseudodictyosphaerium* sp., *Choricystis* sp., *Mycocnastes* sp. и др.) [7].

Пикодетрит представляет собой органические частицы различного состава и происхождения: прижизненные выделения и фрагменты отмерших планктонных организмов, фекальные остатки и т.д. Исследования пикодетрита до последнего времени были ограничены из-за отсутствия адекватных методов его учета. Применение эпифлуоресцентных методов анализа позволило изучить количественные показатели и оценить вклад органического пикодетрита в суммарную биомассу сестона и его роль в пищевых сетях [12].

Оз. Кандры-Куль – второй по величине пресный водоем в респ. Башкортостан и во всем Южном Приуралье. Необходимо отметить, что, хотя некоторые гидрохимические и гидробиологические исследования в оз. Кандры-Куль и проводились ранее [2-6], данные о развитии бактериопланктона, автотрофного пикопланктона и наличии и структуре органического детрита в научной литературе полностью отсутствуют.

Целью настоящей работы было исследование особенностей развития и распределения бактериопланктона, фототрофного пикопланктона и органического пикодетрита в озере Кандры-Куль.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оз. Кандры-Куль расположено на западе респ. Башкортостан, в Туймазинском районе, в лесостепной зоне Волжско-Камского бассейна. Размеры озера - 8×3,8 км, средняя глубина – 7,3 м, максимальная – 16,5 м. Вода в озере – высоко минерализованная (0,9-1 г/л), жесткая, с преобладанием ионов сульфата и магния. Уровень продуктивности в момент исследования – переходный от олиго- к мезотрофному.

Отбор проб воды проводили 17-19 июля 2012 г. на 17 станциях, равномерно распределенных по всей акватории озера (рис. 1). Пробы отбирали

Уманская Марина Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, mvu@fromru.com; Горбунов Михаил Юрьевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, myugog@pochta.ru; Краснова Екатерина Сергеевна, младший научный сотрудник, krasnova-eck@mail.ru

двухлитровым пластиковым батометром Рутнера, в стерильные стеклянные склянки, которые фиксировали формалином до конечной концентрации 2%.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб по акватории озера Кандры-Куль

Бактериопланктон, автотрофный пикопланктон и пикодетрит определяли на мембранных фильтрах. Пробы воды, фиксированные формалином, объемом 3-5 мл, фильтровали через мембранный фильтр (нитроцеллюлозный, Владисарт,

или черный поликарбонатный) с диаметром пор 0,2 мкм. Все параметры бактериопланктона и органического детрита определяли эпифлуоресцентными методами после окраски 4',6-диамидино-2-фенилиндолом (DAPI) [8,11,13], а автотрофного пикопланктона – по автофлуоресценции хлорофилла а. Для отдельного определения про- и эукариотического пикофитопланктона фильтры предварительно окрашивали DAPI. К пикофитопланктону относили все клетки с красной (хлорофилл а) или оранжевой (фикобилипротеины) автофлуоресценцией; эукариотическими считали клетки с отчетливо видимым флуоресцирующим DAPI ядром.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Численность и биомасса отдельных компонентов пикосестона в оз. Кандры-куль изменялись в зависимости от места расположения станции отбора (табл. 1, рис. 2).

Таблица 1. Пикосестон поверхностного слоя воды оз. Кандры-Куль в июле 2012 г.

	Численность, млн кл (част)/л			Биомасса, мкг/л		
	БП	ФПП	ПД	БП	ФПП	ПД
<i>Пелагиаль:</i>	2518,3	38,5	30,1	138,2	20,4	16,9
<i>Литораль:</i>						
<i>Сев. берег</i>	2239,3	37,9	26,0	147,9	18,2	10,6
<i>Вост. берег</i>	2490,8	40,4	61,0	156,8	13,6	36,0
<i>Южн. берег</i>	2278,4	53,0	19,6	157,4	30,1	16,0
<i>Зап. берег</i>	1786,2	32,8	5,0	136,9	18,1	2,0
<i>Все озеро</i>	2292,7	40,3	35,3	146,3	21,2	20,1

Примечание. БП – Бактериопланктон, ФПП – фототрофный пикопланктон, ПД – органический пикодетрит.

Общая численность фототрофного пикопланктона изменялась в пределах $18,1-80,5 \times 10^6$ кл/л, а биомасса – 7,6-38,0 мкг/л (рис. 2). Фототрофный пикопланктон был представлен преимущественно клетками пикоцианобактерий, размером 0,2-1,5 мкм, однако встречалась и фракция более крупных клеток (1,51-2 мкм), к которым, в основном, принадлежали эукариотические пиководоросли. В целом, 79% всей численности и 35% всей биомассы фототрофного пикопланктона составляли пикоцианобактерии.

В составе фототрофного пикопланктона озера преобладали одиночные клетки, однако на некоторых станциях были обнаружены и колониальные формы. В пелагиали они встречались в 33% проб и составляли 16-70% общей численности и 4-61% общей биомассы фототрофного пикопланктона на отдельных станциях. В литорали колонии были обнаружены преимущественно в южной и западной части озера, при этом их численность и биомасса составили 19-40% и 2-73%, соответственно.

Считая, что содержание хлорофилла "а" в биомассе фототрофного пикопланктона такое же, как в клетках зеленых водорослей и цианобактерий, и составляет около 0,7-0,75% [9], можно по величине средней биомассы рассчитать содержание хлорофилла "а" в клетках пикофитопланктона. Оно составляет 0,116-0,124 мкг/л, или около 7% общей концентрации хлорофилла "а" в оз. Кандры-Куль.

Общая численность бактерий (ОЧБ) в оз. Кандры-Куль изменялась от $0,54$ до $3,63 \times 10^6$ кл/мл, а биомасса – от 41,9 до 257,8 мкг/л (рис. 2). Наиболее развитие бактериопланктона было отмечено в пелагических станциях северо-восточной части озера ($3,30-3,63 \times 10^6$ кл/мл). Максимальная биомасса была зафиксирована на литоральной станции 13, в мелководном заливе, заросшем макрофитами, в западной части озера. Это связано с попаданием в планктон крупных клеток и трихомов *Beggiatoa* sp. (бесцветные серные бактерии), которые развивались на поверхности грунта и макрофитов на этой станции.

Большую часть бактериопланктона составляли свободно плавающие одиночные клетки, причем в июле было отмечено повышенное число делящихся клеток (определяемое по числу диплококков и диплопалочек). Часть бактерий была объединена в микро- и макроколонии, цепочки, развивалась на минеральных и органических взвешенных частицах или вокруг живых и мертвых водо-

рослей, простейших и их домиков и т.д., образуя агрегированный бактериопланктон. Агрегированный бактериопланктон был обнаружен в 50% всех проб, а его доля в среднем составила 1,5 % ОЧБ и 2,0 % общей биомассы. Наибольшее количество агрегированного бактериопланктона было выявлено на литоральных станциях восточного берега.

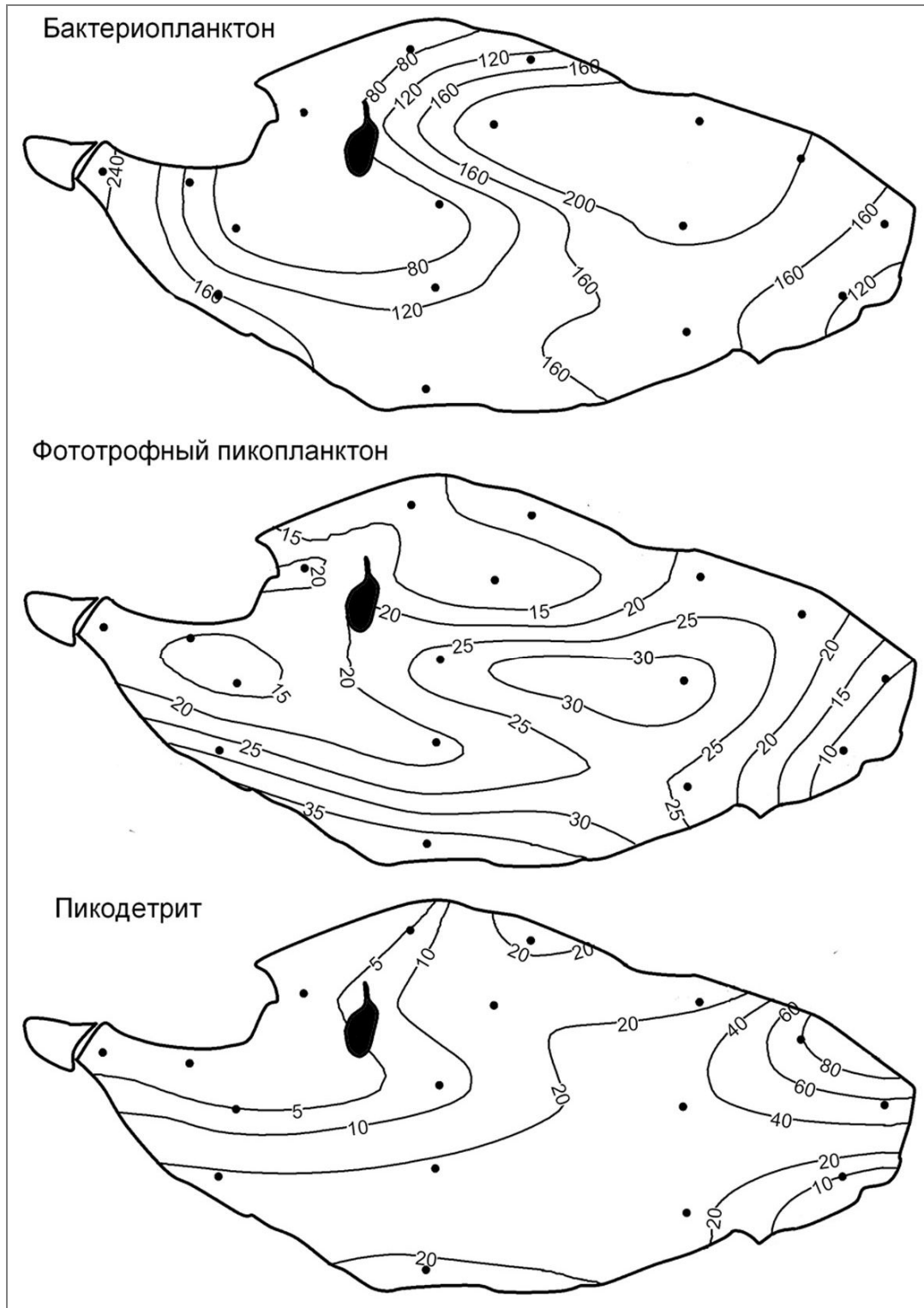


Рис. 2. Пространственное распределение биомассы (мкг/л) отдельных компонентов пикоразмерного сестона в поверхностном слое оз. Кандры-Куль в июле 2012 г.

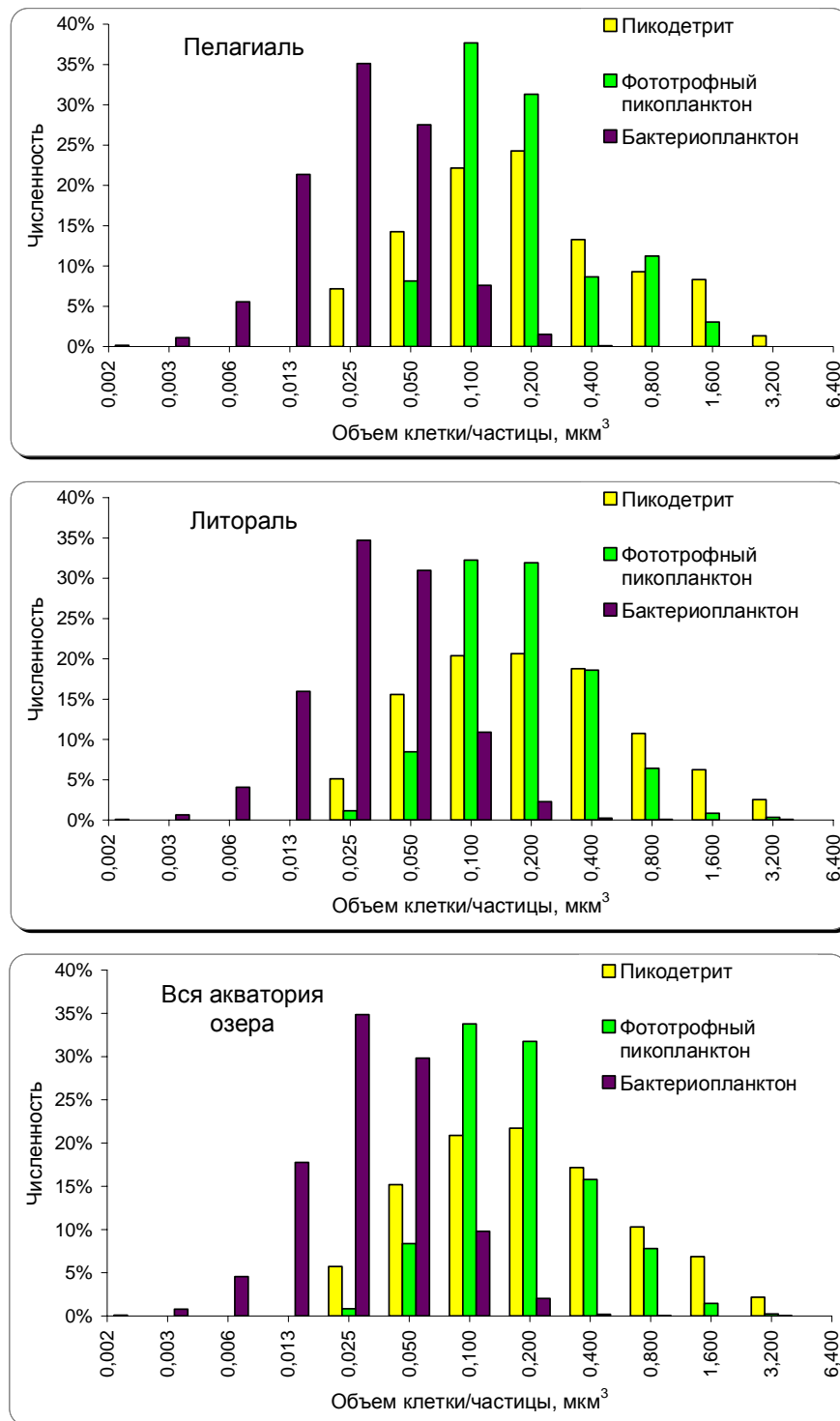


Рис. 3. Распределение различных размерных фракций отдельных компонентов пикосестона в зависимости от объема клеток/частиц в поверхностном слое воды оз. Кандры-Куль

Пикодетрит был обнаружен на всей акватории озера, количество частиц варьировало от 3,7 до 117 млн част/л, а их биомасса – от 2,4 до 78,7 мкг/л (рис. 2). В целом для водоема, количество пикодетритных частиц и их биомасса были сопоставимы с численностью и биомассой фототрофного пикопланктона. Количество пикодетрита очень существенно изменяется по акватории

озера, однако четко выраженной закономерности в его пространственном распределении выявить не удалось. Наименьшее количество пикодетрита выявлено в литорали и пелагиали западной и северной частей озера, а наибольшее – на двух станциях в восточной литорали. При этом если для бактериопланктона и фототрофного пикопланктона разница между максимальным и ми-

нимальным значением биомассы не превышает 10 раз (6,2 и 5,0, соответственно), то для пикодетрита они различаются в 32,7 раза.

Количество нанодетритных частиц (2-20 мкм) было существенно ниже (0-12,3 млн част/л), на двух станциях в северо-западной части озера они не были обнаружены. Несмотря на незначительное количество, масса нанодетрита на отдельных литоральных станциях достигала 735,8 мкг/л, составляя в среднем 102,3 мкг/л в пелагиали и 230,7 мкг/л в литорали. Микродетрит (20-200 мкм) в озере в период исследования полностью отсутствовал.

Важной характеристикой пикосестона является размер клеток и частиц, который влияет на способность простейших и метазойного микрозоопланктона использовать их в качестве пищевых ресурсов. Объем клеток бактериопланктона, фототрофного пикопланктона и пикодетритных частиц варьировал в достаточно широких пределах – от 0,002 до 6,4 мкм³ (рис. 3). Распределение бактериальных клеток и пикодетритных частиц по размерным классам для всей акватории озера описывается однопиковой кривой и близко к лог-нормальному. Распределение клеток фототрофного пикопланктона по размерам в литорали также приближается к лог-нормальному, а в пелагиали описывается двухпиковой кривой. Возможно, это связано с различиями в распределениях про- и эукариотического фототрофного пикопланктона, однако, малые различия в размерах (объеме) клеток пикоэукариотических водорослей и их низкая численность не позволяют подтвердить или опровергнуть это предположение.

Соотношение отдельных размерных фракций пикосестона показано на рис. 3. В целом для водоема, 64,7 % численности бактериопланктона составляли клетки размером 0,025-0,1 мкм³, 64,2% численности фототрофного пикопланктона – клетки размером 0,1-0,4 мкм³. Детритные частицы размером 0,1-0,4 мкм³ составляли 42,6 % общей численности пикодетрита.

Суммарная биомасса пикосестона в озере в июле 2012 г. изменялась от 65,7 до 301,8 мкг/л, в среднем – 187,6 мкг/л (или 39,05 мкг С/л), что составляет 21,5 % биомассы фитопланктона в озере. Т.о., вклад пикосестона в суммарную продукцию органического вещества в озере довольно значим. Основной вклад в суммарную биомассу пикоразмерного сестона вносили бактерии, а доли фототрофного пикопланктона и пикодетрита близки и были значительно ниже. Для всей акватории озера был выявлен слабовыраженный тренд: при увеличении численности и биомассы бактерий, численность и биомасса фототрофного пикопланктона несколько снижается, а количество и биомасса пикодетритных частиц возрастает.

Таким образом, пикосестон является постоянным компонентом экосистемы озера, и его вкладом в пищевые ресурсы для зоопланктона нельзя пренебрегать при расчетах продуктивности озера и оценки кормовой базы для зоопланктона и, следовательно, рыб. Численность и биомасса пикоразмерной фракции сестона в крупном естественном оз. Кандры-Куль (несмотря на его меньшую продуктивность) сопоставима с таковыми в Рыбинском, Шекнинском и Угличском водохранилищах [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Копылов А.И., Косолапов Д.Б.* Бактериопланктон водохранилищ Верхней и Средней Волги. М.: Изд-во СГУ, 2008. 377 с.
2. *Сабитова Р.З.* Зоопланктон озера Кандрыкуль. // Экология водных беспозвоночных: Сб. матер. Междунар. конф. ИБВВ РАН, Борок, 30 октября-2 ноября 2010 г. Ярославль: Принтхаус, 2010. С. 267-269
3. *Черняева Л.Е., Черняев А.М., Еремеева М.Н.* Гидрохимия озер (Урал и Приуралье). Л.: Гидрометеоздат, 1977. 336 с.
4. *Шкундина Ф.Б.* Сезонные изменения фитопланктона озера Кандры-Куль. Биол. Науки. 1983. № 2. С. 60-64.
5. *Шкундина Ф.Б., Гуламанова Г.А.* Биологическое разнообразие автотрофного планктона озер Республики Башкортостан (Россия). Альгология, 2011. Т. 21. № 3. С. 329-345.
6. *Шкундина Ф.Б.* Оценка степени евтрофирования оз. Кандры-Куль на основании флористического состава фитопланктона. Гидробиол. журн. 1985. Т. 21, №2. С. 91-95.
7. *Callieri C.* Picophytoplankton in freshwater ecosystems: the importance of small-sized phototrophs. *Freshwater Reviews*, 2008. V.1, No.1. P.1-28.
8. *Chateauvert C.A., Lesack L.F.W., Bothwell M.L.* Bacterial community dominance of particle-attached bacteria in lakes of the Mackenzie River Delta: transparent exopolymer particle contribution. *Aquat. Microb. Ecol.* 2012 V.68, No.1. P.57-76.
9. *Desortova B.* Relationship between Cchlorophyll a Concentration and Phytoplankton Biomass in Several Reservoirs in Czechoslovakia. *Int. Rev. Ges. Hydrobiol.* 1981. V.66, No.2. P. 153-169.
10. *Hutchinson G.E.* A Treatise on Limnology. V.1. Geography, Physics and Chemistry. London: Chapman & Hall, 1957. 1015 p.
11. *Mari X.* Carbon content and C:N ratio of transparent exopolymeric particles (TEP) produced by bubbling exudates of diatoms. *Marine Ecology Progress Series.* 1999. V.183. P.59-71.
12. *Mostajir B., Dolan J.R., Rassoulzadegan F.* A simple method for the quantification of a class of labile marine pico- and nano-sized detritus: DAPI Yellow Particles (DYP). *Aquat Microb Ecol.* 1995. V. 9 No.3. P.259-266.
13. *Porter K.G., Feig Y.S.* The use of DAPI for identifying and counting aquatic microflora. *Limnol. Oceanogr.* 1980. V. 25, No 5. P. 943-948.
14. *Sieburth J.M.C.N., Smetacek V., Lenz J.* Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnol. Oceanogr.* 1978. V.23, No.6. P.1256-1263.

**SUMMER PICOSESTON IN LAKE KANDRY-KUL
(BASHKORTOSTAN REP., RUSSIA)**

© 2013 M.V. Umanskaya, E.S. Krasnova, M.Yu. Gorbunov

Institute of Ecology of Volga Basin RAS, Togliatti

Concentration of seston particles with size less than 2 μm (picoseston: bacterioplankton, phototrophic picoplankton and organic pikodetritus) was investigated at different stations of Lake Kandry-Kul (Rep.Bashkortostan, Russia) in July 2012. Spatial distribution of the picoseston as a whole and its fractions, as well as its size structure is presented. The average biomass of picoseston comprised 187.6 mg/l or 21.5 % of the biomass of phytoplankton. Bacterioplankton was the main component to the total biomass of picoseston (mean - 78%), proportions of the phototrophic pikoplaknton and picodetritus were much lower (11.3 and 10.7 %, respectively). Despite smaller productivity of the lake, the obtained quantitative indicators of picoseston are comparable to those of several Volga reservoirs.

Key words: seston, bacterioplankton, phototrophic picoplankton, pikodetrit