УДК 579.26: 579.811.21

# МАССОВОЕ РАЗВИТИЕ ПУРПУРНОЙ СЕРНОЙ БАКТЕРИИ *CHROMATIUM OKENII* (EHRB. 1838) PERTY 1852 В НЕБОЛЬШОМ ГОРОДСКОМ ОЗЕРЕ ДАЧНОЕ (Г. ТОЛЬЯТТИ, САМАРСКАЯ ОБЛАСТЬ)

© 2014 М.Ю. Горбунов, М.В. Уманская

Институт экологии Волжского бассейна РАН, г. Тольятти

Поступила 11.09.2014

Ранее нами было показано, что типичным для стратифицированных озер лесостепной зоны Среднего Поволжья с аноксическим гиполимнионом является доминирование в составе планктонных Chromatiaceae колониальных видов с мелкими клетками, не имеющих жгутиков и регулирующих свою плавучесть с помощью газовых вакуолей. В 2014 г. впервые для озер региона обнаружено массовое развитие в планктоне крупноклеточной подвижной пурпурной серной бактерии *Chromatium okenii* (Ehrb. 1838) Perty 1852. В небольшом озере Дачное (система Васильевских озер, г. Тольятти, Самарская обл.) *Chromatium okenii* формировал узкий максимум на глубине 2,4 (июль) – 2,3 м (сентябрь). Максимальная зарегистрированная численность *Chr. okenii* составила 0,44 млн кл./мл, а биомасса – 65,3 мг/л. В слое наибольшего развития его численность составляла 69,7-74,2% суммарной численности пурпурных серных бактерий, и 97-98,9% их суммарной биомассы. *Chr. okenii* сопутствовали еще два активно подвижных вида Chromatiaceae, *Allochromatium cf. vinosum* (Ehrenberg 1838) Imhoff et al. 1998 и *Chr. weissei* Perty 1852, а также колониальный вид с газовыми вакуолями, *Thiopedia rosea*.

Ключевые слова: Chromatium okenii, стратифицированные озера, лесостепная зона, Среднее Поволжье

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Развитие аноксигенных фототрофных бактерий характерно для стратифицированных озер с аноксическим придонным слоем (гиполимнионом). В зависимости от условий, в таких водоемах доминируют представители одной из трех групп: зеленых серных бактерий (Chlorobiaceae), пурпурных серных бактерий (Chromatiaceae) или нитчатых аноксигенных фототрофов (Chloroflexales) [10].

Наши исследования озер Среднего Поволжья показали, что особенности гидрохимического и светового режима приводят к доминированию в большинстве из них зеленых серных бактерий [2]. В лесной зоне наряду с ними обнаружены случаи массового развития *Chloronema giganteum* (Chloroflexales). Представители Chromatiaceae, в исследованных ранее озерах региона занимают, как правило, сопутствующее положение, лишь иногда образующими значительную биомассу, и представлены мелкоклеточными колониальными видами, регулирующими свою плавучесть с помощью газовых вакуолей [1, 2, 4, 8].

Вместе с тем, в литературе описаны многочисленные случаи доминирования в планктоне хемоклина пресных водоемов крупноклеточных подвижных видов Chromatiaceae, и, в частности, одного из наиболее крупных — *Chromatium okenii* [3, 5-7, 9, 12,13 и др.]. В Среднем Поволжье этот

вид, однако, приурочен почти исключительно к бентосу и цианобактериальным матам серных озер, и никогда до этого не обнаруживался в планктоне обычных озер [2, 11].

В связи с этим представляет большой интерес обнаруженное в 2014 г. массовое развитие *Chromatium okenii* в одном из небольших пригородных озер г. Тольятти (Самарская обл.).

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оз. Дачное (53°30'6.89" с.ш.; 49°30'10.01" в.д.) представляет собой небольшой водоем неправильно округлой формы, площадью 7681 м<sup>2</sup> (0,77 га), длина береговой линии – около 370 м, максимальная глубина 4,3 м. Гиполимнион в озере аноксический, с содержанием сульфидов в нем до 27 мг/л.

Отбор проб проводили тонкослойным пробоотборником от поверхности до дна с вертикальным разрешением в области редоксклина 10 см. с мая по сентябрь 2014 г. Одновременно с отбором определяли физикохимические параметры и содержание растворенных газов. Фотосинтетические пигменты определяли в ацетоновых экстрактах [1]. Численность пурпурных серных бактерий определяли на нитроцеллюлозных мембранных фильтрах (Владисарт, Владимир) без окрашивания и на черных ядерных фильтрах (Трекпор технолоджи, Дубна) после окрашивания DAPI на микроскопе Leica DM 5500B. Видовую принадлежность аноксигенных фототрофных бактерий определяли по морфологическим признакам [9].

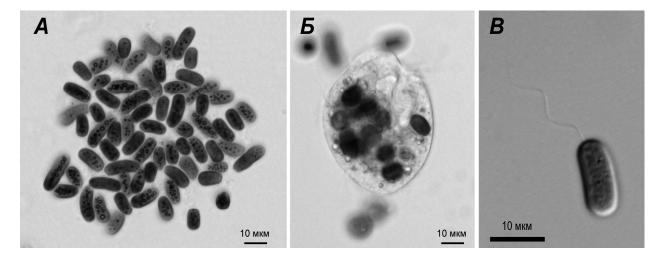
Горбунов Михаил Юрьевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, myugor@pochta.ru; Уманская Марина Викторовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, mvu@fromru.com

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

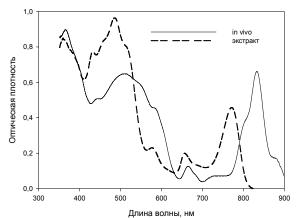
При отборе проб в июле 2014 г. в оз. Дачное мы неожиданно обнаружили максимум развития пурпурных серных бактерий на глубине 240 см. Вода, отобранная с этой глубины тонкослойным отборником, имела отчетливо пурпурный цвет, хотя на глубинах 230 и 250 см она была почти не окрашенной. Доминирующим организмом, развивающимся в этом максимуме («бактериальной пластине»), по данным микроскопического анализа, являлся *Chromatium okenii* (Ehrb. 1838) Perty 1852 (рис. 1), который до этого никогда не обнаруживался нами в планктонных пробах из других озер Самарской области.

*Chr. okenii*, типовой вид р. Chromatium – очень крупный вид прокариот с характерным внешним обликом клеток: прямых или слегка искривлен-

ных палочек размером 8-16×4.5-6.0 мкм, с уплощенными концами [9], подвижных при помощи пучка перитрихиальных жгутиков, видимых в световом микроскопе как единственный жгутик (рис. 1в). В оптимальных условиях клетки одиночные, активно подвижные, содержат многочисленные внутриклеточные капли серы (рис. 1а, в); в неблагоприятных утрачивают подвижность, выделяют слизь и образуют крупные седиментирующие агрегаты (рис. 1а). Средние размеры клеток из зоны развития в оз. Дачное после высушивания и окраски DAPI 10.7×4.9 мкм, что, с учетом уменьшения размеров при высушивании, соответствует диагнозу вида. Содержит бактериохлорофилл «а» и специфический каротиноид — окенон.



**Рис. 1.** Микрофотографии живых клеток *Chromatium okenii* (Ehrb. 1838) Perty 1852 из слоя воды 2,4 м (июль). А – скопление клеток, видны внутриклеточные гранулы серы в некоторых клетках, светлое поле; Б – инфузория с клетками *Chr. okenii* внутри пищеварительных вакуолей, светлое поле; В – клетка *Chr. okenii* с четко видимым жгутиком, DIC



**Рис. 2.** Нативный спектр и спектр эстракта в 90% ацетоне проб сестона оз. Дачное с глубины 2,4 м (июль 2014 г.)

Нативные спектры и спектры пигментных экстрактов (рис. 2) подтверждают, что на глубине

240 см в оз. Дачное доминируют представители Chromatiaceae, синтезирующие бактериохлорофилл «а» (пики при 362, 800-820 нм и плечо при 870 нм in vivo; Soret, Q<sub>x</sub> и Q<sub>v</sub>-максимумы при 360, 580 и 772 нм, соответственно - в экстракте) и большое количество окенона (широкий максимум при ~500 нм in vivo, и характерный спектр поглощения в области 460-560 нм в экстракте). В относительно небольшом количестве присутствовали оксигенные фототрофы и зеленые серные бактерии, синтезирующие бактериохлорофиллы «с»-«е». На их присутствие указывают слабые максимумы в пигментном экстракте при 430 и 655-663 нм, соответствующие перекрывающимся максимумам поглощения хлорофилла «а» и бактериохлорофиллов «с»-«d».

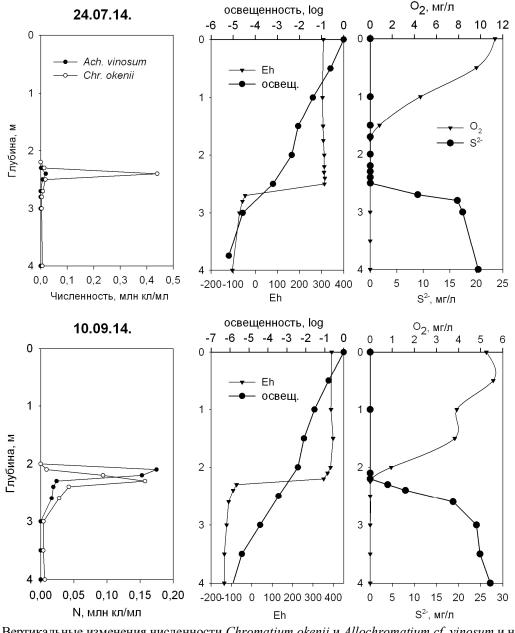
Анализ сезонного развития пурпурных бактерий в оз. Дачное показал, что в мае 2014 г. в микроаэробных и анаэробных слоях воды озера доминировали зеленые серные бактерии. В качестве

сопутствующих видов развивались типичные для региона колониальние виды Chromatiaceae, среди которых преобладала *Thiopedia rosea*, в еще более низких количествах были зарегистрированы небольшие по размеру подвижные жгутиковые виды *Allochromatium cf. vinosum* (Ehrenberg 1838) Imhoff et al. 1998 и *Chr. weissei* Perty 1852. В июне наряду к этим двум подвижным видам добавился *Chr. okenii*, однако суммарная численность и

биомасса этих трех видов во всем столбе воды (из расчета под 1 м²) все еще составляли 0,6% общей численности и 8,2-18,6% от общей биомассы Chromatiaceae, основной вклад в которые продолжала вносить *Тра. rosea.* (табл.). Зоны развития Chromatiaceae в оба месяца были широкими, и они встречались во всей области, где отсутствовал кислород.

Таблица. Пурпурные серные бактерии в планктоне оз. Дачное в 2014 г.

	Allochromatium cf. vinosum + Chr.weissei	Chromatium okenii	Thiopedia rosea	Allochromatium cf. vinosum + Chr.weissei	Chromatium okenii	Thiopedia rosea
	Численность, 10 <sup>6</sup> кл./м <sup>2</sup>			Биомасса, мг/м <sup>2</sup>		
20.05.14	0,574	0,000	95,062	31,08	0,00	346,53
17.06.14	0,211	1,344	242,743	2,83	199,57	884,88
24.07.14	3,167	55,556	285,534	42,59	8247,17	1040,87
10.09.14	43,093	46,266	153,731	552,35	6879,33	555,47



**Рис. 3.** Вертикальные изменения численности *Chromatium okenii* и *Allochromatium cf. vinosum* и некоторых абиотических факторов в июле и сентябре 2014 г. в оз. Дачное

В отличие от предшествующих месяцев, в июле был зарегистрирован узкий (10-ти сантиметровый) максимум пурпурных бактерий, располагавшийся на глубине 240 см. На этой глубине численность *Chr. okenii* достигала  $0,44 \times 10^6$  кл/мл, а биомасса - 65,3 мг/л. Здесь же отмечалось и наибольшее развитие Ach. cf. vinosum  $(0.02 \times 10^6)$ кл/мл, 0,26 мг/л). В слоях воды выше и ниже максимума эти виды практически отсутствовали (рис. 3). В сентябре слой наибольшего развития подвижных видов Chromatiaceae был обнаружен чуть выше (220-230 см), причем он заметно расширился, до около 30 см (рис. 3). Зоны максимального развития обоих видов разделились - Chr. okenii на глубине 230 см, а Ach. cf. vinosum - на 210 см. При этом, в отличие от июля, заметные количества этих бактерий наблюдались и в слоях ниже максимумов, до глубины 3 м. В целом численность Ach. cf. vinosum увеличилась, а Chr. okenii несколько уменьшилась. Несмотря на это, как в июле, так и в сентябре по биомассе доминировал Chr. okenii, формируя 98,9% (июль) и 97% (сент.) суммарной биомассы Chromatiaceae в области максимума. Единичные клетки Chr. weissei отмечались в большинстве проб, однако в течение всего периода наблюдений этот вид имел крайне низкую численность.

Клетки *Chr. okenii* в это время, видимо, являлись хорошим источником пищи для инфузорий, также развивающихся на нижней границе кислородной водной массы (рис. 1).

В целом, в оба месяца массовое развитие подвижных видов пурпурных серных бактерий наблюдалось на верхней, достаточно хорошо освещенной границе редоксклина, при полном отсутствии кислорода и низких концентрациях сульфидов (рис. 3). При этом, экологически пластичный Ach. cf. vinosum развивался выше, чем Chr. okenii, имеющий более строгие требования к восстановительным условиям среды. В отличие от этих видов, колонии Thiopedia rosea были распределены по всей анаэробной водной толще, без выраженных максимумов на какой-то глубине.

В зоне хемоклина значение рН было слабощелочным, и с мая по сентябрь увеличивался с 7,3 до 7,6. Эти величины благоприятны для развития пурпурных серных бактерий, а Chlorobiaceae предпочитают несколько более низкие величины рН. Поэтому вспышка развития Chromatiaceae, происшедшая, как только уровень хемоклина поднялся с 2,8-3 до 2,4 м, вполне объяснима. Однако причины доминирования в данном озере активно подвижных видов Chromatiaceae пока не вполне ясны и будут уточняться по мере завер-

шения анализа физико-химических характеристик водоема. Возможно, условия в озере были не оптимальными для развития их потенциального конкурента — *Thiocapsa rosea*, которая является наиболее массовым видом среди Chromatiaceae в большинстве водоемов нашего региона, однако в данном озере представлена единичными колониями.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Горбунов М.Ю. Вертикальное распределение бактериохлорофиллов в гумозных озёрах Волжско-Камского заповедника (Республика Татарстан) // Поволжск. Экол. Журн. 2011. № 3. С. 280-293.
- Горбунов М.Ю., Уманская М.В. Аутэкология аноксигенных фототрофных бактерий в водоемах Самарской области // Изв. СНЦ РАН. 2010. Т. 12, № 1(4). С. 934-940.
- Егорова А.А. Микробиологические исследования оз. Беловодь // Микробиология. 1951. Т. 20, В. 2. С. 103-112
- Краснова Е.С., Уманская М.В., Горбунов М.Ю. Фототрофные бактерии в стратифицируемых озерах среднего течения р. Ик Изв. ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. С. 528-534.
- Ляликова Н.Н. Изучение процесса усвоения свободной углекислоты пурпурными сербактериями в озере Беловодь // Микробиология, 1957. Т. 26, В. 1. С. 92-98.
- 6. Fischer C., Wiggli M., Schanz F., Hanselmann K.W., Bachofen R. Light environment and synthesis of bacterio-chlorophyll by populations of *Chromatium okenii* under natural environmental conditions // FEMS Microb. Ecol. 1996. V. 21. P. 1-9.
- Gervais F. Diel vertical migration of Cryptomonas and Chromatium in the deep chlorophyll maximum of a eutrophic lake // Journal of Plankton Research. 1997. V. 19. No. 5. C. 533-550.
- Gorbunov M.Y., Umanskaya M.V. Anoxygenic phototrophic bacteria in small lakes of forest-steppe region of Volga basin (European Russia) // Proceedings of Taal 2007: The 12th World Lake Conference. 2007. P. 435-443
- Imhoff J.F. The Family Chromatiaceae. // The Prokaryotes Gammaproteobacteria. E. Rosenberg et al. (eds.) Springer, 2014. P. 151-178.
- Overmann J., Garcia-Pichel F. The phototrophic way of life // The Prokaryotes. Springer Berlin Heidelberg, 2013. C. 203-257.
- 11. *Umanskaya M.V., Gorbunov M.Y.* Macro- and microscopic diversity of microbial mats in the cold sulfur springs (Samara area, Russia) // Natura Montenegrina 2013. V. 12, N. 3-4. P. 813-824.
- Vila X., Abella C.A., Figueras J.B., Hurley J.P. Vertical models of phototrophic bacterial distribution in the metalimnetic microbial communities of several freshwater North-American kettle lakes // FEMS Microbiology Ecology 1998. V. 25, N. 3. P. 287-299.
- Zvikas A. Structure of microorganism communities and peculiarities of their activities in gypsum karst lakes of northern Lithuania. PhD Thesis. Vilnius: Institute of Botany, 2005.

## MASS DEVELOPMENT OF PURPLE SULFUR BACTERIA *CHROMATIUM OKENII* (EHRB. 1838) PERTY 1852 IN A SMALL TOWN LAKE DACHNOE (TOGLIATTI, SAMARA REGION)

© 2014 M.Yu. Gorbunov, M.V. Umanskaya

Institute of Ecology of Volga Basin RAS, Togliatti

We have previously shown that in stratified lakes with anoxic hypolimnion in the forest-steppe zone of the Middle Volga basin the colonial species with small cells lacking flagella and regulating their buoyancy by gas vacuoles usually dominate among planktonic Chromatiaceae. However, mass development of large-celled mobile purple sulfur bacteria *Chromatium okenii* (Ehrb. 1838) Perty 1852 in the plankton of lakes of the region was found for the first time in the summer of 2014. In small lake Dachnoe (Vasilyevsky system of lakes, Togliatti, Samara region) *Chromatium okenii* forms a narrow peak at a depth of 2.4 (July) - 2.3 m (September). The maximal abundance of *Chr. okenii* was 0.44×10<sup>6</sup> cells/ml (69,7-74,2% of the total cell number of purple sulfur bacteria), biomass – 65.3 mg/l (97-98,9% of their total biomass). *Chr. okenii* was accompanied by another two motile species of Chromatiaceae, *Allochromatium cf. vinosum* (Ehrenberg 1838) Imhoff et al. 1998 and *Chr. weissei* Perty 1852, and colonial species with gas vacuoles, *Thiopedia rosea*.

Key words: Chromatium okenii, stratified lakes, forest-steppe zone, Middle Volga

Gorbunov Mikhail Yurievich, Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher, myugor@pochta.ru; Umanskaya Marina Viktorovna, Cand. Sc. (Biology), Senior Researcher, mvu@fromru.com

-