

УДК 582.2:581.9 (571.6)

Н.А. БОНДАРЕНКО<sup>1</sup>, Л.А. ШУР<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический ин-т СО РАН,  
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия  
e-mail: nina@iin.irk.ru

<sup>2</sup>Ин-т вычислительного моделирования СО РАН,  
660036 Красноярск, академгородок, Россия

<sup>3</sup>НИИ рыбохозяйственных водосемов,  
660097 Красноярск, ул. Парижской Коммуны, 33, Россия  
e-mail: schure@ksc.krasn.ru

## СИАНОФУТА ПЛАНКТОНА НЕБОЛЬШИХ ВОДОЁМОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (РОССИЯ)

Приведены результаты исследования таксономического состава, численности, биомассы и продукции представителей *Cyanophyta* небольших водоёмов Восточной Сибири. Обследовались как мелкие, хорошо прогреваемые озёра и плёсовые расширения рек, так и горные озёра региона. Для выявления особенностей видового состава *Cyanophyta* разнотипных, естественных водоёмов использованы результаты, полученные при изучении фитопланктона Берёшского водохранилища. Анализ оригинальных и литературных данных позволил выделить два комплекса синезелёных водорослей: летний и зимний. Установлено, что в водоёмах Восточной Сибири интенсивное развитие *Cyanophyta* вызывает «цветение» воды и ухудшает её качество. Выявлены самые массовые виды сибирских водоёмов: *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *A. spiroides*, *Aphanothece clathrata*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cyanonephron styloides*, *Microcystis aeruginosa*, *M. pulverea*.

*Ключевые слова:* *Cyanophyta*, планктон, таксономический состав, биомасса, «цветение» водоёмов, Восточная Сибирь.

### Введение

В водоёмах Восточной Сибири, где годовая сумма температур воды низка, техногенное воздействие усиливается из-за сниженной способности экосистем к самоочищению. Продолжительность периода с температурой ниже 0 °С составляет здесь 215 дней, а выше 10 °С – только 80. Ледостав продолжается в среднем 200 суток. В настоящее время в регионе активно проводится освоение месторождений нефти и газа. Некоторые исследованные водоёмы (р. Большая Хета, оз. Делинге) находятся на территории Ванкорского нефтяного месторождения, часть горных озёр расположена на территориях, прилегающих к Ковыктинскому газоконденсатному месторождению. Базовая информация о современном состоянии биоресурсов многочисленных малых водоёмов Восточной Сибири, а особенно её севера и горных областей, отсутствует. Большинство из них слабо изучено или не изучалось вообще. Чтобы объективно оценить последствия антропогенного воздействия на водные биоценозы, такую информацию необходимо иметь. Исследуемые водоёмы заселены высокоценными в хозяйственном отношении рыбами – представителями семейств сиговых и лососевых.

Равновесие в водных экосистемах нарушают также тепловые и атомные электростанции, сбрасывающие в водоёмы использованную подогретую воду.

© Н.А. Бондаренко, Л.А. Шур, 2007

Несмотря на то, что проблема исследуется давно, влияние сброса тёплых вод на экосистемы, особенно в условиях Восточной Сибири, изучено недостаточно. Кроме нарушения биологического режима под влиянием тёплых вод наблюдается зарастание и «цветение» водоёмов-охладителей, вызываемое, в первую очередь, интенсивным развитием синезелёных водорослей.

Обладая высокой адаптационной способностью и интенсивно развиваясь, *Cyanophyta* способны вызвать «цветение» водоёмов (особенно небольших прудов и озёр). Большинство из них потенциально токсичны и представляют угрозу для людей и животных (Сиренко, Гавриленко, 1978; Briand et al., 2002; и др.). В связи с этим в последние десятилетия внимание к исследованию *Cyanophyta* повысилось. Было выделено несколько типов цианотоксинов, наиболее распространённые из них – микроцистины. Они продуцируются видами родов *Microcystis*, *Anabaena*, *Planktothrix* и *Oscillatoria* (Андреюк и др., 1990; Briand et al., 2002; Jann-Para, 2004; и др.).

Для выяснения особенностей видового состава *Cyanophyta* в естественных водоёмах мы использовали данные, полученные при изучении фитопланктона искусственного водоёма (Берёшского водохранилища).

Целью данной работы было исследование таксономического состава и количественных характеристик *Cyanophyta*, обитающих в планктоне небольших водоёмов, расположенных на территории Восточной Сибири и имеющих различное происхождение.

#### Материалы и методы

Объектами изучения были небольшие озёра, расположенные в прибрежье Байкала на территории Байкало-Ленского государственного заповедника. Исследовали горные и высокогорные озёра Прибайкалья, Забайкалья и юга Якутии, находящиеся в бассейнах рек Ангары и Лены, а также оз. Делингдэ и плёсовые расширения р. Б. Хета (север Красноярского края). Исследования проводили в 1997-2005 гг.

Прибрежные озёра Байкало-Ленского заповедника расположены на мысах по западному берегу оз. Байкал. Отделённые от озера береговым валом шириной от 15 до 150 м, они находятся с ним почти на одном уровне. Все озера небольшие по площади и достаточно мелководные (максимальная глубина 3-3,5 м). В летнее время вода в озёрах хорошо прогревается, достигая 20 °С. Минерализация воды составляет почти 100 мг/л, pH 8,0-8,4 (Шабурова и др., 2003).

Исследованные горные озёра Забайкалья и Прибайкалья расположены на абсолютной высоте от 350 до 1963 м. Это ультраолиготрофные водоёмы (минерализация воды 20-40 мг/л; pH 6,4-6,8), с относительно низкими температурами и высоким содержанием кислорода. Озёра покрыты льдом 8-9 месяцев в году. Вскрытие их от льда происходит чаще всего в первой-второй декадах июня, ледостав – в октябре. Температура воды повышается до конца первой – начала второй декады августа (максимальная около 15 °С), после чего наблюдается её устойчивое понижение. Исследовано более 50 озёр.

Водоём-охладитель Берёзовской ГРЭС-1 (Берёшское водохранилище) находится в Шарыповском районе Красноярского края. Он создан зарегулированием стока р. Берёш в районе впадения в нее рек Базыр и Кадат. Верхняя часть бассейна

р. Береш находится в юго-восточной части Кузнецкого Алатау, средняя и нижняя – на территории Енисейско-Чулымской котловины. Наполнение водохранилища началось в августе 1986 г. Водообмен водохранилища в маловодные годы происходит один раз в год. Это политрофный водоем с содержанием свободной углекислоты в пределах 0,4-11,0 мг/л, слабощелочной реакцией среды, pH 7,0-8,8 и общей минерализацией 261-598 мг/л.

Река Б. Хета – северный, левобережный приток Енисея, расположена на территории вечной мерзлоты. В бассейне реки находится большое количество озёр, её пойма заросшая и заболоченная. Вода интенсивно прогревается с начала июня, максимальная температура регистрируется в июле, иногда в августе. В начале октября максимальная ее температура поднимается выше 0,2 °С. В период отбора проб (первая декада августа) температура колебалась в пределах 15-18 °С. По химическому составу воды реки в основном гидрокарбонатно-кальциевые, слабominерализованные, от 105 до 161 мг/л. Реакция среды слабощелочная, pH колеблется от 7,2 до 7,4. Отмечается присутствие фенолов, обусловленное естественными причинами (сток с заболоченной местности, стволы деревьев в воде), и ионов меди, имеющих природное происхождение (Ежегодник ..., 2001). Озеро Делингдз также расположено в зоне лесотундры, является пойменным водоёмом, который соединяется с Енисеем через одноименную реку Делингдз, реки Лодочную и Б. Хету.

Отбирали батометрические и сетные пробы, которые затем фиксировали раствором Утермёля или адаптированным к длительному хранению раствором Люголя (Методики ..., 1975). Концентрировали отстойным либо фильтрационным методом на мембранных фильтрах Владипор № 9 (диаметр пор 0,90 мкм). При обработке материала применяли традиционные в гидробиологии методы (Киселёв, 1956). Концентрат просматривали в световом микроскопе «Peraval» в камере Нажотта при общем увеличении  $\times 400$ , для мелких форм –  $\times 1000$ , с использованием фазово-контрастной приставки. Идентификацию водорослей проводили по определителям (Голлербах и др., 1953; Комаренко, Васильева, 1975; Komarek, Anagnostidis, 1998). При составлении списка использована система, принятая в сводке: Голлербах и др., 1953. Виды в пределах рода расположены в алфавитном порядке.

Биомассу рассчитывали по среднему объёму, приравнивая форму клеток к близкой геометрической фигуре (Методики ..., 1975). За единицу учета объёма принята название «организм»: многоклеточные колониальные, ценобиальные и нитевидные водоросли (Михеева, 1998).

Первичную продукцию и деструкцию органического вещества определяли кислородным методом склянок (Киселев, 1969) с параллельным определением биомассы фитопланктона до и после инкубации. Расчеты удельной первичной продукции проводили через среднearифметические значения биомассы.

## Результаты

**Таксономический состав.** За время исследований в водоёмах Восточной Сибири нами зафиксировано 79 таксонов синезелёных водорослей рангом ниже рода из 3 классов, 4 порядков, 13 семейств, 24 родов (табл. 1). С точки зрения видового разнообразия заслуживают внимания 3 рода: *Anabaena* (18 видов), *Oscillatoria* (12 таксонов рангом ниже рода) и *Gloeocapsa* (8). На их долю приходится 48 % общего

Таблица 1. Видовой состав Суанопхита в планктоне небольших водоёмов Восточной Сибири

Таксон	1	2	3	4	5	Б. в.	Пр.	Г.	Б.Х.	Д.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Класс <i>Chroococcophyceae</i>										
Порядок <i>Chroococcales</i>										
Семейство <i>Coccolobastraceae</i>										
Род <i>Synechocystis</i> Sauv.										
<i>Synechocystis</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	+
<i>S. aquatilis</i> Sauv.	Л	к	И	-	β	+	-	-	-	-
<i>S. limnetica</i> Popovsk.	П	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>S. salina</i> Wisl.	П	к	-	-	β	+	-	-	+	+
Род <i>Synechococcus</i> Näg.										
<i>Synechococcus</i> sp.	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-
<i>S. cedrorum</i> Sauv.	П	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Род <i>Rhabdoderma</i> Schmidle et Laut.										
<i>Rhabdoderma lineare</i> (Schmidle et Laut.) Hollerb.	П	к	Ог	-	β	-	+	+	-	-
Род <i>Cyanonephron</i> Hickel										
<i>Cyanonephron styloides</i> Hickel	П	=	-	-	-	-	+	-	-	-
Род <i>Dactylococcopsis</i> Hansg.										
<i>Dactylococcopsis</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>D. irregularis</i> G.M. Smith	П	к	И	-	β	-	-	-	+	-
<i>D. rupestris</i> Hansg.	О	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>D. planctonica</i> Teil.	П	-	И	-	-	+	-	-	-	-
<i>D. scenedesmoides</i> Nyg.	П	б	-	-	-	-	+	-	-	-
Семейство <i>Holopediaceae</i> Elenk.										
Род <i>Holopedia</i> Lagerh.										
<i>H. geminata</i> Lagerh.	П	к	И	-	-	+	-	-	-	-
Семейство <i>Merismopediaceae</i> Elenk.										
Род <i>Merismopedia</i> (Meyen) Elenk.										
<i>M. glauca</i> (Ehr.) Näg.	О	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>M. punctata</i> Meyen	П	к	И	Ин	β	-	-	-	+	-
<i>M. tenuissima</i> Lemm.	П	к	Ог	Ин	β-α	+	+	+	-	-
Семейство <i>Microcystidaceae</i> Elenk.										
Род <i>Microcystis</i> (Kütz.) Elenk.										
<i>M. aeruginosa</i> Kütz. emend. Elenk.	П	к	Ог	Ал	β	+	-	-	-	-
<i>M. pulverea</i> (Wood) Forti emend. Elenk.	П	к	И	-	β	+	+	+	-	-

продолжение табл. I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Род <i>Aphanothece</i> (Näg.) Elenk.										
<i>Aph. clathrata</i> W. et G.S. West	П	к	И	-	β	+	-	+	+	+
<i>Aphanothece elabens</i> (Bréb.) Elenk.	П	б	И	-	β	+	-	-	-	-
<i>Aph. stagnina</i> (Spreng.) B.-Petersen	П	к	И	Ин	о-β	-	+	-	-	-
Семейство <i>Gloeocapsaceae</i> Elenk. et Hollerb.										
Род <i>Gloeocapsa</i> (Kütz.) Hollerb.										
<i>Gloeocapsa</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>G. alpina</i> (Näg.) Brand	О	с-а	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>G. chroococcoides</i> Novacek	О	-	-	-	-	-	-	+	-	-
<i>G. minima</i> (Keissl.) Hollerb.	П, О	к	Гл	-	о	+	-	-	-	-
<i>G. minuta</i> (Kütz.) ampl. Hollerb.	П	к	Гл	-	о	-	-	+	+	-
<i>G. montana</i> Kütz. ampl. Hollerb.	Л	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>G. turgida</i> (Kütz.) Hollerb.	Л	к	Гл	-	о	+	-	+	-	-
<i>G. vacuolata</i> (Skuja) Hollerb.	Л	б	И	-	-	+	-	-	-	-
Семейство <i>Coelosphaeriaceae</i> Elenk.										
Род <i>Coelosphaerium</i> (Näg.) Elenk.										
<i>C. pusillum</i> van Goor	П	к	И	-	-	+	-	-	-	-
Семейство <i>Gomphosphaeriaceae</i> Elenk.										
Род <i>Gomphosphaeria</i> Kütz.										
<i>G. lacustris</i> Chod.	П	к	И	Ин	о-β	+	-	-	+	-
<i>G. lacustris</i> Chod. f. <i>compacta</i> (Lemm.) Elenk.	П	к	И	Ин	о-β	+	-	-	-	-
Род <i>Snowella</i> Elenk.										
<i>S. atomus</i> Komarek et Hindak	П	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Семейство <i>Woronichiniaceae</i> Elenk.										
Род <i>Woronichinia</i> Elenk.										
<i>W. nägeliana</i> (Ung.) Elenk.	П	к	И	Ин	β	+	-	-	-	-
Класс <i>Chamaesiphonophyceae</i>										
Порядок <i>Pleurocapsales</i>										
Семейство <i>Pleurocapsaceae</i>										
Род <i>Xenococcus</i> Thur.										
<i>X. kernerii</i> Hansg.	О-П	к	Ог	-	-	-	-	+	-	-
Класс <i>Hormogoniophyceae</i>										
Порядок <i>Nostocales</i>										
Семейство <i>Anabaenaceae</i> Elenk.										
Род <i>Anabaena</i> Bory										
<i>Anabaena</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+

продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Anabaena affinis</i> Lemm.	П	к	И	-	β	-	-	-	+	-
<i>A. augstumalis</i> Schmidle	П	б	И	-	β	-	-	-	+	+
<i>A. circinalis</i> (Kütz.) Hansg.	П	к	И	-	о-β	+	-	-	+	+
<i>A. constricta</i> (Szaf.) Geitl.	Л	-	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>Anabaena contorta</i> Bachm.	П	к	И	-	-	+	-	-	+	+
<i>A. flos-aquae</i> (Lyngb.) Bréb.	П	к	И	-	β	+	-	+	-	-
<i>A. inaequalis</i> (Kütz.) Born. et Flah.	О-П	к	-	-	-	-	-	-	-	+
<i>A. jacutica</i> Kissel.	П, Л	о-а	-	-	-	-	-	-	+	-
<i>A. lemmermannii</i> P. Richt.	П	к	И	-	β	-	+	-	+	-
<i>A. macrospora</i> Kleb.	П	к	И	-	о-β	+	-	-	-	-
<i>A. scheremetievi</i> Elenk.	П	к	И	-	β	+	+	-	-	-
<i>A. sedovii</i> Kossinsk.	П, Л	о-а	-	-	-	-	-	-	+	+
<i>A. sibirica</i> (Popova et Degter.) Elenk.	П	к	И	-	-	+	-	-	-	-
<i>A. spiroides</i> Kleb.	П	к	И	Ал	β	+	-	-	+	+
<i>A. variabilis</i> Kütz.	Л	к	И	-	β	-	-	-	+	-
<i>A. verrucosa</i> B.-Peters.	П	-	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>A. viguieri</i> Denis et Fremy	-	=	-	-	-	+	-	-	-	+
Род <i>Anabaenopsis</i> (Wolosz.) Miller										
<i>Anabaenopsis elenkinii</i> V. Miller	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Семейство <i>Arhanizomenonaceae</i> Elenk.										
Род <i>Arhanizomenon</i> Mott.										
<i>Aph. flos-aquae</i> (L.) Ralfs	П, О	к	Ог	-	β	+	-	-	+	+
<i>Aph. flos-aquae</i> f. <i>klebahnii</i> Elenk.	П	к	И	-	-	+	-	-	-	-
<i>Aph. elenkinii</i> Kissel.	П	-	-	-	-	-	-	+	-	-
Порядок <i>Oscillatoriales</i>										
Семейство <i>Oscillatoriaceae</i> (Kirchn.) Elenk. s. str.										
Род <i>Oscillatoria</i> Vauch.										
<i>Oscillatoria</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	+	+	+
<i>O. amphibia</i> Ag.	Л	к	-	-	β	+	-	-	-	-
<i>O. angustissima</i> W. et G.S. West	П	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>O. geminata</i> (Menegh.) Gom.	П	к	Ог	Ин	-	-	-	+	-	-
<i>O. granulata</i> Gardn.	П	б	И	-	-	+	-	-	-	-
<i>O. granulata</i> f. <i>sibirica</i> (Popova) V. Poljansk.	П	к	И	-	-	+	-	-	-	-
<i>O. kisselevii</i> Anissim.	Б	-	Гл	Ал	-	-	+	-	-	-
<i>O. lacustris</i> (Kleb.) Geitl.	П	к	И	-	-	-	-	+	-	-
<i>O. ornata</i> (Kütz.) Gom.	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-

окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Oscillatoria planctonica</i> Wolosz.	П	к	И	-	-	+	-	+	+	-
<i>O. subtilissima</i> Kütz.	О-Б	=	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>O. tenuis</i> Ag.	Л	к	Ог	-	α	-	+	+	-	-
Род <i>Spirulina</i> Turp.										
<i>S. flavovirens</i> Wisl.	О	к	-	-	-	+	-	-	-	-
<i>S. laxa</i> Smith.	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
<i>Spirulina subtilissima</i> Kütz.	Л	к	Гл	Ал	-	+	-	-	-	-
Род <i>Phormidium</i> Kütz.										
<i>Phormidium</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	+	-
<i>Ph. ambiguum</i> Gom.	П	к	Ог	Ин	β	+	-	-	+	-
<i>Ph. mucicola</i> Hub.-Pest. et Naum.	Э	к	И	-	о-β	+	-	-	-	-
Род <i>Lyngbya</i> Ag.										
<i>L. limnetica</i> Lemm.	П	к	Ог	Ин	β-α	-	+	+	-	-
<i>Lyngbya</i> sp.	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Семейство <i>Hammatoidaeaceae</i> Elenk.										
Род <i>Raphidiopsis</i> F.E. Fritsch										
<i>R. mediterranea</i> Skuja	П	-	-	-	-	+	-	-	-	-
Обозначения. 1 – местообитание: П – планктонный вид, О – обитатель обрастаний, Б – бентосный, Л – литоральный, Э – эпибентный; 2 – распространение: к – космополитный, с-а – северо-альпийский, б – бореальный, = – вид малоизученный в биогеографическом отношении; 3 – галобность: Ог – олигогалоб, И – индифферент, Гл – галофил; 4 – отношение к рН: Ал – алкафил + алкабионт, Ин – индифферент; 5 – показатель сапробности (s): о-сапробность, β-мезосапробность, α-мезосапробность; «-» – информация отсутствует. Б. в. – Берешское водохранилище; ПР – прибрежные озера; Г – горные озера; Б.Х. – р. Большая Хета; Д – оз. Делингдэ.										

состава флоры *Cyanophyta*. Остальные (21 род) – маловидовые. Отмеченная тенденция позволяет предположить, что в формировании исследуемой флоры доминировал аллохтонный путь развития. Усиленное автохтонное развитие обогатило видами только три перечисленных рода.

В фитопланктоне Берешского водохранилища в 2002-2005 гг. определено 46 таксонов *Cyanophyta* рангом ниже рода из 2 классов, 3 порядков, 12 семейств, 19 родов. Наиболее богато представлен род *Anabaena* – 10 видов.

В оз. Делингдэ обнаружено 13 таксонов *Cyanophyta* рангом ниже рода из 2 классов, 3 порядков, 5 семейств, 5 родов; в плёсовых расширениях р. Б. Хета – 19 видов из 2 классов, 3 порядков, 7 семейств, 9 родов. Здесь, как и в водохранилище, самый представительный род – *Anabaena*, 8 и 11 видов соответственно. Виды рода *Anabaena* обычны в эвтрофных водоёмах, но в то же время он – один из самых богатых в видовом плане родов в ультраолиготрофном оз. Байкал (Бондаренко, 1995). Его представители часто вызывают «цветение» воды, доминируют в озёрах умеренных и северных широт Большеземельской тундры, Карельского перешейка, тундровых озёр Канады (Гусева, 1958; Lund, 1962; Трифонова, 1979, 1990; Moore,

1981; Особенности ..., 1994; и др.). Массовое развитие большинства видов рода, имеющих гетероцисты, обусловлено их способностью к азотфиксации.

В прибрежных озёрах Байкала отдел *Cyanophyta* был представлен относительно разнообразно – 15 таксонов рангом ниже рода. Все 11 родов маловидовые. В некоторых озёрах отмечалось массовое развитие синезелёных водорослей при доминировании *Anabaena lemmermannii*, *Cyanonephron styloides* и *Microcystis pulvereae*.

Несмотря на то, что синезеленые водоросли – обычные обитатели мелких, тёплых, спокойных, эвтрофных водоёмов, в исследованных горных озёрах Прибайкалья, Забайкалья и юга Якутии они были представлены также разнообразно (21 вид), особенно два рода – *Oscillatoria* (6 видов) и *Gloeocapsa* (4 вида). Присутствовавшие в планктоне почти всех водоёмов *G. chroococcoides* и *O. geminata* – обитатели и других высокогорных озёр Восточной Сибири, исследованных нами ранее (Оглы, 1998). Оба рода являются ведущими и в водотоках Горного Крыма (Царенко, Вассер, 2000). Большое разнообразие и обилие *Cyanophyta* характерно также для разнотипных озёр Якутии, расположенных в бассейне р. Лены (Комаренко, Васильева, 1975), Кольского п-ва (Никулина, 1975), Таймыра (Ермолаев, 1974), других озёр Крайнего Севера (Особенности ..., 1994).

Большинство найденных водорослей являются космополитами. Встречались и довольно редкие, например, считавшийся эндемиком Байкала *Synechocystis limnetica*, *Raphidiopsis mediterranea*, *Cyanonephron styloides* и др. *Raphidiopsis mediterranea* присутствовал по всей акватории Берешского водохранилища в августе 2005 г. при температуре воды 23–28 °С. В то же время, для водоёмов Якутии имеются данные (Комаренко, Васильева, 1975) о присутствии этого вида в бентосе озёр при температуре воды 11–20 °С. *Cyanonephron styloides* – один из массовых обитателей мелких, эвтрофных, прибрежных байкальских озёр. Вид приводится для региона впервые. Найдено 5 видов – обитателей умеренных широт, бореальных организмов,

Для определения сходства видового состава *Cyanophyta* был рассчитан коэффициент флористического сходства (КФС) по Серенсену (Sørensen, 1948). КФС имел низкие значения (табл. 2). Наиболее близки по видовому составу *Cyanophyta* Берешское водохранилище и исследованные нами озёра, а также прибрежные озёра Байкала и горные озёра Прибайкалья и Забайкалья, коэффициент общности по Серенсену составил 40 и 33 % соответственно. Коэффициент Серенсена между флорой синезелёных, присутствовавших в планктоне Берешского водохранилища в разные годы (2002–2005 гг.), также был низок и колебался в пределах 0,22–0,54 (см. табл. 2).

**Экология.** Большая часть водорослей, зарегистрированных нами в планктонных пробах, – истинно планктонные виды. Некоторые являются представителями бентоса и обитателями обрастаний. Они, понав в толщу воды, способны развиваться здесь длительное время. По отношению к солёности воды большинство найденных видов – олигогалобы и индифференты, по отношению к pH – индифференты и алкафилы.

Среди найденных нами синезелёных водорослей – 33 вида-индикатора сапробности (Унифицированные ..., 1977). Большинство из них относится к β-мезосапробам (21 вид). Есть показатели чистых вод – олигосапробы (3 вида).



Таблица 2. Коэффициенты флористического сходства (КФС) разных водоёмов и Берешского водохранилища в разные годы исследований

Сравнимые выборки по водоёмам	КФС по Серенсену
Берешское водохранилище – оз. Делингдэ	0.32
Берешское водохранилище – прибрежные озера	0.13
Берешское водохранилище – горные озера	0.27
оз. Делингдэ – прибрежные озера	0.00
оз. Делингдэ – горные озера	0.18
прибрежные озера – горные озера	0.33
Берешское водохранилище – все исследованные озера	0.40
2002-2003 гг.	0.46
2002-2004 гг.	0.35
2002-2005 гг.	0.22
2003-2004 гг.	0.54
2003-2005 гг.	0.39
2004-2005 гг.	0.46

Одним из основных факторов среды, влияющих на интенсивное развитие синезелёных, считается высокая температура. Действительно, в Берешском водохранилище концентрации *Cyanophyta* зависели не только от сезонного прогресса воды, но и от сброса тёплых вод ГРЭС. В 2004 г., когда ГРЭС не работала, в июне и июле представители отдела не доминировали, и только в августе их биомасса достигла 76% общей биомассы водорослей. В 2003 и 2005 гг. при действующей ГРЭС *Cyanophyta* доминировали в планктоне с июня по август (рис. 1).

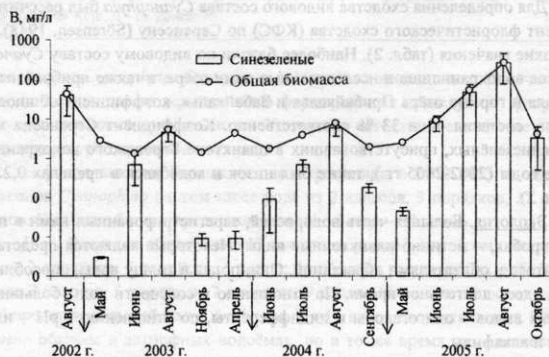


Рис. 1. Межгодовая и сезонная динамика биомассы синезелёных водорослей и общей биомассы фитопланктона в Берешском водохранилище.

Вспышка развития *Merismopedia tenuissima* в маломинерализованных горных и высокогорных озёрах при прогреве поверхностных слоёв воды летом – также убедительное доказательство влияния температуры среды на размножение *Cyanophyta*.

В прибрежных озёрах Байкала снижение их количества было приурочено к понижению температуры воды в конце августа (до 15 °С). Но в то же время, самые высокие годовые значения биомассы отмечены в сентябре-октябре, когда температура снижалась до 6 °С (рис. 2). Интенсивная зимняя вегетация *Cyanophyta* в прибрежных озёрах вокруг Байкала свидетельствует о том, что температура воды в водоёме – важный, но не единственный фактор, влияющий на их количественные характеристики.



Рис. 2. Динамика биомассы синезеленых водорослей и общей биомассы фитопланктона в оз. Северном летом-осенью 2005 г.

«Цветение» воды в мелководных хорошо прогреваемых водоёмах, вызванное синезелёными водорослями, связывают, как правило, с достаточно высоким содержанием в воде азота и фосфора. Это подтверждается и ситуацией в одном из исследованных нами прибрежных озёр, возникшей после подлёдного замора рыбы. В горных озёрах Восточной Сибири эта группа организмов хотя и достаточно разнообразна, но не развивается в заметном количестве, т.к. водоёмы не только плохогреваются, но и слабо минерализованы.

Кроме того, колониальные синезелёные (именно такие формы доминировали в исследованных нами водоёмах) чувствительны к механическому воздействию – волновому режиму, взмучиванию и т.д. Они хорошо развиваются в период штелей, со снижением количества тихих дней снижается численность *Cyanophyta* (Гусева, 1958). Такая ситуация наблюдалась и у нас: после сильных ветров в планктоне снижалось количество колониальных форм *Cyanophyta*, а в пробах увеличивалось количество их фрагментов.

*Cyanophyta* были обильно представлены (особенно род *Oscillatoria*) и в зимнем планктоне прибрежных озёр. Их интенсивное развитие отмечено при неблагоприятных для фотосинтеза световых условиях: ледяной покров достигал 80 см и более, снежный – 15-20 см. Основная причина подлёдного, январско-февральского «цветения» водоёмов – отмирающие макрофиты, разложение кото-

рых способствовало увеличению легко усвояемой низкомолекулярной органической пищи для миксотрофных видов водорослей.

Подобное явление описано для Телецкого озера (Горный Алтай), где в некоторые годы в феврале-марте происходит интенсивное развитие *Cyanophyta* (Митрофанова, 1999), а также для некоторых продуктивных озёр Латгальской возвышенности (Трифорова, 1990). В одном из них подо льдом развитие *Oscillatoria agardhii* даже вызывало «цветение» воды. В эвтрофных озёрах Северной Германии *O. redekei* (*Limnothrix redekei*) начинал расти в феврале – марте, достигая максимальной плотности между маем – июнем (Hickel, 1988). Для видов рода *Oscillatoria* характерен гетеротрофный рост, они адаптированы к низкой температуре и низкой интенсивности света (Трифорова, 1990).

**Количественные показатели.** Численность синезелёных водорослей в горных озёрах низкая – от нескольких сотен клеток до 1-5 тыс. кл/л. Исключение составляет *Merismopedia tenuissima* – самый массовый представитель отдела многих горных озёр региона, где его численность в летний период превышает 1 млн кл/л. Доминирующими по численности видами в р. Б. Хета были виды рода *Anabaena* (до 54 %), *Aphanothece clathrata* (68 %), *Snowella atomus* (44 %); по биомассе – виды рода *Anabaena* (до 36 %), *Phormidium ambiguum* (14 %). В среднем доля представителей *Cyanophyta* в общей численности таксонов водорослей в р. Б. Хета и оз. Делингдэ составляла 59 % и 37 % – в общей биомассе (табл. 3). В оз. Делингдэ на отдельных станциях по численности доминировала *A. clathrata* (до 92 %).

Таблица 3. Доля синезелёных водорослей в исследованных водоёмах

Место отбора проб	<i>N</i> , %	<i>B</i> , %	<i>N</i> , млн кл/л	<i>B</i> , мг/л	<i>n</i>	<i>n</i> <sub>с-3</sub>
Река Б. Хета	59±5	37±9	1.98±0.15	0.26±0.05	61	19
оз. Делингдэ	63±15	12±3	2.05±0.65	0.11±0.02	41	13

Обозначения. Численность (*N*) и биомасса (*B*) *Cyanophyta*; общее количество таксонов водорослей в исследованных водоёмах (*n*) и количество представителей *Cyanophyta* (*n*<sub>с-3</sub>).

В некоторых изученных нами водоёмах *Cyanophyta* развивались в значительных количествах и вызывали «цветение» воды. Один из таких водоёмов – Берешское водохранилище. Здесь летом во время работы ГРЭС доминировали *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa* и *Aphanizomenon flos-aquae*. Именно они составляли общую биомассу фитопланктона в это время (см. рис. 1). В июле 2004 г., при отсутствии спуска теплых вод ГРЭС, во всей акватории преобладали диатомовые. Наибольшее значение биомассы (2000 мг/л), при доминировании видов рода *Microcystis* (99 % общей биомассы), наблюдали в августе 2005 г. в районе плотины.

Значения первичной продукции в Берешском водохранилище в летний период 2003-2005 гг. достоверных различий не имели, в отличие от удельной продукции, где достоверное отличие наблюдалось между 2003 г. и 2004-2005 гг. ( $t_{ст} = 2,45-2,65$  против  $t_{ст}(\text{табл.}) = 2,11$ ), при максимальном значении удельной первичной продукции в 2003 г. (табл. 4).

В сезонной динамике от июня к августу наблюдали увеличение биомассы и величин первичной продукции. Хотя абсолютные значения первичной продукции возрастали, значения удельной продукции уменьшались (см. рис. 3). При этом наблюдалось увеличение не только биомассы синезеленых водорослей, но и объема их колоний. Известно, что величина удельной первичной продукции имеет обратную степенную зависимость от объема клетки (Апонасенко и др., 2000). В нашем случае между удельной первичной продукцией и объемом «организма» синезеленых, а также удельной продукцией и общим объемом «организма» водорослей определена обратная степенная зависимость с коэффициентами корреляции  $r = -0.58$  и  $-0.70$  соответственно. В 2003 г. объем «организма» синезеленых составлял 230, в 2004 г. – 170, в 2005 г. – 9000 мкм<sup>3</sup>. В августе 2005 г. отмечена самая низкая величина удельной продукции (0,38 против 2,29 и 1,37 сут<sup>-1</sup> в 2003 и 2004 гг.) и самые крупные колонии.

Таблица 4. Величины первичной (ПП) и удельной первичной (P/V) продукции фитопланктона в Берешском водохранилище

Параметры	ПП, мгО <sub>2</sub> /л, сут <sup>-1</sup>			P/V <sub>ср.ариф.</sub> сут <sup>-1</sup>		
	2003 г.	2004 г.	2005 г.	2003 г.	2004 г.	2005 г.
Среднеарифметическое значение	3,38	2,52	4,74	4,42	1,70	1,29
Среднеквадратичное отклонение	2,38	1,90	3,51	3,06	1,08	1,29
Количество измерений	7	12	8	7	12	8

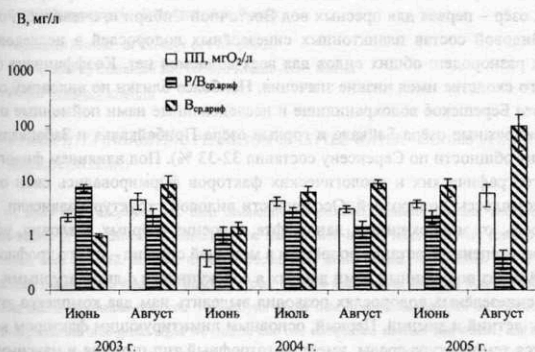


Рис. 3. Динамика первичной (ПП), удельной первичной (P/V<sub>ср.ариф.</sub>) продукции и среднеарифметических значений биомассы (V<sub>ср.ариф.</sub>) фитопланктона в Берешском водохранилище в 2003–2005 гг.

Количественные характеристики фитопланктона мелких прибайкальских озёр, определяемые развитием синезелёных, летом и осенью были очень высокими, присущими высокотрофным водам. В оз. Северное, которое было заливом Байкала, но со временем отделилось от него галечной косой, их вегетация достигала даже степени «цветения». В 2005 г. это явление было устойчивым и наблюдалось с июня до конца октября (см. рис. 2). Категория трофности воды оз. Северное, определенная по среднему значению биомассы фитопланктона за летне-осенний период исследования ( $305 \pm 62$  мг/л), относится к предельно высокой градации, гипертрофному разряду, гипертрофному классу. Согласно классификации развития водорослей (Сиренко, Гавриленко, 1978), в озере наблюдалась умеренная или 3-я степень «цветения» (при биомассе 50-500 мг/л).

Категория трофности воды Берешского водохранилища за период июль-август 2002, 2003, 2005 гг., определенная по среднему значению биомассы фитопланктона ( $156 \pm 96$  мг/л), относится к очень высокой градации, гипертрофная. Согласно классификации развития водорослей, в Берешском водохранилище в 2002-2005 гг. наблюдалась 3-я степень «цветения».

#### Заключение

В водоёмах Восточной Сибири нами обнаружено 79 таксонов представителей *Cyanophyta* рангом ниже рода из 3 классов, 4 порядков, 13 семейств, 24 родов. Наиболее богат видами род *Anabaena* – 18. Большинство найденных водорослей являются космополитами, но встречаются и довольно редкие таксоны, в частности считавшийся эндемиком Байкала *Synechocystis limnetica*, *Raphidiopsis mediterranea*, *Cyanonephron styloides* и др. В регионе *R. mediterranea* раньше приводился только для водоёмов Якутии (Комаренко, Васильева, 1975). Наша находка *Cyanonephron styloides* – одного из массовых обитателей мелких прибрежных байкальских озёр – первая для пресных вод Восточной Сибири и, очевидно, России в целом. Видовой состав планктонных синезелёных водорослей в исследованных водоёмах разнороден: общих видов для всех водоёмов нет. Коэффициент флористического сходства имел низкие значения. Наиболее близки по видовому составу *Cyanophyta* Берешское водохранилище и исследованные нами пойменные озёра, а также прибрежные озёра Байкала и горные озёра Прибайкалья и Забайкалья (коэффициент общности по Серенсену составил 32-33 %). Под влиянием филогенетических, географических и экологических факторов формировались свои определенные комплексы водорослей. Особенности видовой структуры зависели, в первую очередь, от микроклимата, ландшафта, строения озёрных котловин, условий водосбора, степени зарастания водоёма и в меньшей степени – от его трофности.

Анализ полученных нами данных в совокупности с литературными сведениями о синезелёных водорослях позволил выделить нам два комплекса этих организмов: летний и зимний. Первый, основным лимитирующим фактором которого является температура среды, имеет фототрофный тип питания и максимум развития в тёплое время года (июль–сентябрь). Второй вегетирует преимущественно зимой, подо льдом, в условиях слабой освещенности и низкой температуры. Имеет гетеротрофный тип питания. Его развитие ограничивается наличием в воде растворенных органических веществ. Перечисленные факты свидетельствуют о высокой экологической пластичности представителей *Cyanophyta*.

В водоёмах Восточной Сибири интенсивное развитие синезелёных водорослей вызывает «цветение» воды и ухудшает её качество. Самыми массовыми в обследованных нами водоёмах были виды *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *A. spiroides*, *Aphanothece clathrata*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cyanonephron styloides*, *Microcystis aeruginosa*, *M. pulvereae*. Максимальная биомасса их зафиксирована в Берешском водохранилище (до 2000 мг/л). В мелководных прибайкальских озёрах она меньше (до 700 мг/л). В естественных водоёмах (на примере оз. Северное) максимальные показатели биомассы отмечены в осенний период ( $487 \pm 95$ ), летом они более низкие ( $175 \pm 36$  мг/л). В Берешском водохранилище при подогреве воды максимальные показатели биомассы наблюдали в июле и августе –  $51 \pm 26$  и  $237 \pm 158$  мг/л соответственно, при резком уменьшении к осени:  $3,06 \pm 1,68$  мг/л (2002, 2003 и 2005 гг.). Такое распределение биомассы указывает на зависимость развития синезелёных водорослей не только от температурного фактора, но и от возможности поступления питательных элементов в период вегетации.

#### Благодарности

Работа частично финансирована Программой СО РАН «Динамика генофонда и биоразнообразия ...».

N.A. Bondarenko<sup>1</sup>, L.A. Schure<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Limnological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,

P.O. Box 4199, Irkutsk 664033, Russia

e-mail: nina@lin.irk.ru

<sup>2</sup>Institute of Computational Modeling of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences

660036 Krasnoyarsk, akademgorodok, Russia

<sup>3</sup>Research Institute of Ecology of Fish-ponds,

33, Parizhskoy Communi str., 660036 Krasnoyarsk, Russia

e-mail: schure@krasn.ru

#### CYANOPHYTA INHABITING PLANKTON OF LITTLE WATER – BODIES IN EAST SIBERIA (RUSSIA)

A study of Cyanophyta, viz. their taxonomic composition, number, biomass, and production in small water-bodies of East Siberia is presented. The shallow well-heated lakes and river reaches as well as mountain lakes were sampled. In order to reveal peculiarities in the species composition of the blue-green algae inhabiting natural water-bodies of different types, we have used results obtained from phytoplankton of the manmade Berezhsokoe water-reservoir. An analysis of our data in combination with the literature data allowed us to separate the blue-green algae we studied into two complexes, summer and winter, and to complete a list of most massive species in the Siberian water-bodies, namely *Anabaena flos-aquae*, *A. lemmermannii*, *A. spiroides*, *Aphanothece clathrata*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Cyanonephron styloides*, *Microcystis aeruginosa*, *M. pulvereae*. Also we showed that intensively developing blue-green algae cause the "water bloom" phenomenon and so make worse the water purity.

**Keywords:** Cyanophyta, plankton, taxonomic composition, biomass, water-bloom, East Siberia.

- Андреев Е.И., Коптева Ж.П., Замина В.В. Цианобактерии. – Киев: Наук. думка, 1990. – 200 с.
- Анонасенко А.Д., Шур Л.А., Лопатин В.Н. Роль удельной поверхности клеток в продуктивности фитопланктона // ДАН. – 2000. – 375, № 3. – С. 415-417.
- Бондаренко Н.А. Список планктонных водорослей Байкала // Атлас и определитель пелагиобонтов Байкала с краткими очерками по их экологии. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 621-630.
- Голлербах М.М., Косинская Е.К., Полянская В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. Синезелёные водоросли. Вып. 2. – М.: Сов. наука, 1953. – 652 с.
- Гусева К.А. Влияние режима уровня Рыбинского водохранилища на развитие фитопланктона // Тр. биол. ст. Борок. – 1958. – Вып. 3. – С. 112-124.
- Ежегодник качества поверхностных вод суши по территории деятельности Среднесибирского УГМС за 2000 г. / Тр. Красноярского территориального управления по гидрометеорологии и мониторингу О.С. – Красноярск, 2001. – 87 с.
- Ермолаев В.И. Водоросли водоёмов Таймыра // Биологические проблемы Севера: Тез. докл. VI симп. – Якутск, 1974. – Вып. 4. – С. 8-12.
- Киселёв И.А. Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод. – М.; Л., 1956. – Т. 4, ч. 1. – С. 140-416.
- Киселев И.А. Планктон морей и континентальных водоёмов. – Л.: Наука, 1969. – Т. 1. – 658 с.
- Комаренко Л.Е., Васильева И.И. Пресноводные диатомовые и синезелёные водоросли водоёмов Якутии. – М.: Наука, 1975. – 424 с.
- Методики изучения биогеоценозов внутренних водоёмов / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
- Митрофанова Е.Ю. Фитопланктон Телецкого озера: Автореф. дис... канд. – Барнаул, 1999. – 18 с.
- Михеева Т.М. Степень колониальности и размерно-весовые характеристики фитопланктонных сообществ водных экосистем Беларуси // Гидробиол. журн. – 1998. – 43, № 2. – С. 9-19.
- Никулина В.Н. Фитопланктон // Биологическая продуктивность северных озёр. Ч. 2. Озёра Зеленецкое и Акулькино. – Л., 1977. – С. 37-52.
- Озлы З.П. Видовое разнообразие и структура фитопланктона горных озёр Большое и Малое Леприндо (Северное Забайкалье) // Видовая структура гидробиоценозов озёр и рек горных территорий. – Новосибирск: Изд-во РАН, 1998. – С. 21-57.
- Особенности структуры экосистем озёр Крайнего Севера. – СПб: Наука, 1994. – 260 с.
- Сиренко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и евтрофирование (Методы его ограничения и использование сестона). – Киев: Наук. думка, 1978. – 232 с.
- Трифорова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озёр Карельского перешейка. – Л.: Наука, 1979. – 168 с.
- Трифорова И.С. Экология и сукцессия озёрного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 180 с.
- Унифицированные методы исследования качества вод. Ч. III. Методы биологического анализа вод. 3-е изд. Прилож. 1. Индикаторы сапробности. – М.: СЭВ, 1977. – С. 3-43; Прилож. 2. Атлас сапробных организмов. – С. 42-141.
- Царенко П.М., Вассер С.П. Краткий анализ альгофлоры Украины // Альгология. 2000. – 10, № 4. – С. 6-10.
- Шабурова Н.И., Бондаренко Н.А., Шевелёва Н.Г. Планктон прибрежных озёр государственного природного заповедника «Байкало-Ленский» // Тр. гос. природ. запов. «Байкало-Ленский» (Иркутск). – 2003. – Вып. 3. – С. 46-57.
- Briand J.F., Robillot C., Quiblier-Lloberas C, Humbert J.F., Coute A., Bernard C. Environmental context of *Cylindrospermopsis raciborskii* (Cyanobacteria) blooms in a shallow pond in France // Water Res. – 2002. – 36. – P. 3183-3192.

- Hickel B. Unexpected disappearance of cyanophyte blooms in Plubsee (North Germany) // Arch. Hydrobiol. Suppl. (Algol. Stud. 50-53). – 1988. – 80, N 1-4. – P. 545-554.
- Jann-Para G., Schwob I., Feuillade M. Occurrence of toxic *Planktothrix rubescens* blooms in lake Nantua, France // Toxicon. – 2004. – 43. – P. 279-285.
- Komárek J., Anagnostidis K. Cyanoprokaryota. 1. Chlorococcales // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Bd. 19/1. – Heidelberg: Berlin: Spektrum, Akad. Verlag, 1998. – 548 p.
- Lund J.W.G. Phytoplankton from some lakes in northern Saskatchewan and from Great Slave Lake // Can. J. Bot. – 1962. – 40. – P. 1500-1514.
- Moore J.W. Influence of temperature, photoperiod and trophic conditions on the seasonal cycles of phytoplankton and zooplankton in two deep subarctic lakes of Northern Canada // Int. Rev. Ges Hydrobiol. – 1981. – 66, N 5. – P. 745-770.
- Sörensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content and its application to analysis of the vegetation on Danish commons // Biol. Skrifter. – 1948. – № 5. – P. 1-34.

Получена 13.03.06

Подписала в печать Л.А. Сиренко