

УДК 582.2:581.9 (571.6)

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

<sup>1</sup>Лимнологический ин-т СО РАН,  
664033 Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3, Россия

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

<sup>3</sup>ФГНУ «НИИ рыбохозяйственных водоемов»,  
660097 Красноярск, ул. Парижской Коммуны, 33, Россия

## **CRYPTOPHYTA ВОДОЁМОВ И ВОДОТОКОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (РОССИЯ)**

Приведены результаты исследования таксономического состава, численности, биомассы и первичной продукции представителей *Cryptophyta* водоёмов и водотоков, расположенных в Красноярском крае, Иркутской и Читинской областях, Респуб. Бурятия и на юге Якутии. Обследованы реки Енисей, Ангара, верховье р. Лены, Красноярское и Берешское водохранилища, водоёмы севера Красноярского края, озеро Байкал, горные озера регионов и мелкие прибрежные байкальские озёра. Выявлено 23 вида криптофитовых водорослей, 12 из них оказались новыми для альгофлоры Восточной Сибири. Исследованы особенности биологии криптофитовых, их сезонная и межгодовая динамика. Виды *Cryptophyta* встречались в планктоне постоянно, но максимальные их количества отмечены в периоды, когда в исследованных водоёмах и водотоках было достаточное количество легкорастворимых органических веществ.

*Ключевые слова:* *Cryptophyta*, таксономический состав, численность, биомасса, первичная продукция, Восточная Сибирь.

### **Введение**

В современной системе низших растений, основанной на методах молекулярной биологии, *Cryptophyta* является самостоятельным отделом и входит в состав царства *Plantae* (Масюк, Костиков, 2002). Многие виды криптофитовых живут, с одной стороны, преимущественно в искусственных водоёмах – отстойниках, прудах, обычно с загрязнённой водой, где часто достигают массового развития, вызывая «цветение» воды, с другой – являются одной из доминирующих групп планктона в разных по трофическому статусу озёрах. Причём их количество повышается в олиготрофных условиях. В озёрах Скандинавии, Женевском, Верхнем, Мичигане и др., как правило, максимум биомассы криптофитовых приходится на весну и осень (Large Lakes, 1990). В озёрах Латгальской возвышенности и Карельского перешейка криптофитовые составляют типичный холодноводный комплекс, характерный для подледного и ранневесеннего планктона (Трифенова, 1979, 1990). Развитие некоторых из них продолжается после вскрытия водоёма, в мае и июне, после пика диатомовых. В озёрах Большеземельской тундры криптофитовые в течение года встречаются постоянно (Особенности ..., 1994).

© Н.А. Бондаренко, Л.А. Щур, 2008

В последние годы появились сообщения о возрастании роли криптофитовых в водохранилищах Волги (Корнева, 2001; и др.).

Специальные исследования видового состава и экологии криптофитовых водорослей в водоёмах и водотоках Восточной Сибири не проводили. Эти водоросли приводятся в видовых списках для небольшого количества рек, водохранилищ и озёр региона (Гидрохимические ..., 1986; Биология ..., 1987; Долгосрочное ..., 1988; Воробьева, 1995; Бочка, 2000; и др.), а история их обнаружения в планктоне Байкала, на наш взгляд, заслуживает особого внимания.

Известно, что характерной чертой фитопланктона оз. Байкал является его вегетация в подлёдный период, продолжающаяся до полного разрушения льда (Антипова, Кожов, 1953; Антипова, 1963; Поповская, 1987; Bondarenko et al., 1996; Евстафьев, Бондаренко, 2002; и др.). Интенсивность этой вегетации отличается от года к году: биомасса подлёдного фитопланктона изменяется в десятки раз, наблюдаются высоко- и малопродуктивные годы. В высокопродуктивные годы в планктоне развиваются крупные формы диатомовых и динофитовых водорослей. Считалось, что в малопродуктивные годы фитопланктон Байкала очень беден, в его составе присутствуют только единичные клетки водорослей, хотя величины первичной продукции, измеренные как кислородным, так и радиоуглеродным методом, не были низкими. В конце 1970-х годов, с изменением методики исследования – переходом от формалинового фиксатора на фиксирование проб раствором Люголя – в фитопланктоне озера были обнаружены представители отдела криптофитовых водорослей (Загоренко, Каплина, 1981). Оказалось, что именно эти водоросли являются основными первичными продуцентами планктона озера в малопродуктивные годы (Бондаренко и др., 1995).

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

### **Материалы и методы**

Объектами изучения были оз. Байкал, небольшие озёра, расположенные в его прибрежье, горные и высокогорные озёра Прибайкалья, Забайкалья и юга Якутии, находящиеся в бассейнах рек Ангары, Енисея и Лены, а также реки Ангара, Енисей и его притоки, Чулым, северный участок р. Таза, Красноярское и Берешское водохранилища. Исследования были проведены в 1997-2007 гг.

Прибрежные озёра, расположенные на мысах по западному берегу Байкала на территории Байкало-Ленского заповедника, отделены от Байкала береговым валом шириной от 15 до 150 м и находятся с ним почти на одном уровне. Они небольшие по площади, мелководны (максимальная глубина 3-3,5 м). В летнее время вода в озёрах хорошо прогревается, достигая 20 °С. Минерализация вод составляет около 100 мг·л<sup>-1</sup>, рН 8,0-8,4 (Шабурова и др., 2003), концентрация растворённого углерода составляет 3,22-7,69 мг·л<sup>-1</sup> (Коровякова и др., 2001).

Исследованные горные озёра Забайкалья и Прибайкалья расположены на абсолютной высоте от 330 до 1963 м. Это ультраолиготрофные водоёмы (минерализация воды 20-40 мг·л<sup>-1</sup>; рН 6,4-6,8), с относительно низкими температурами (до 15 °С) и высоким содержанием кислорода. Они покрыты льдом 8-9 месяцев в году. Вскрытие озёр ото льда происходит чаще всего в первой-второй декадах июня, ледостав – в октябре. Исследовано более 90 озёр.

В пределах Красноярского края было обследовано 30 водоёмов и водотоков. В средней части бассейна р. Енисей исследованы реки: Агул, Б. Балчуг, Б. Бузим, Черная, Сым, Кемь, Подкаменная Тунгуска, Вельмо (с притоками Тея, Куромба, Иочимо, Енашимо, Огне, Безымянка, Дыдан, Севогликон). На территории Ванкорского нефтяного месторождения изучали водоёмы и водотоки бассейна р. Енисей: реки Большая и Малая Хета, Лодочная, Солёная, Делингде, Дудинка; озеро Делингде и карстовые правобережные озёра. Этот район имеет низкую годовую сумму температур воды. Продолжительность периода с температурой ниже 0 °С составляет 215 дней, ледостав – в среднем 200 суток. Кроме водоёмов бассейна Енисея исследован участок р. Таз, находящийся на территории Красноярского края (севернее 66 °N широты). Она протекает среди болот по северо-восточной части Западно-Сибирской равнины. По химическому составу воды обследованных объектов преимущественно гидрокарбонатно-кальциевые, по величине минерализации слабоминерализованные (от 105 до 161 мг·л<sup>-1</sup>), среднегодовая активная реакция среды слабощелочная (рН 7,2-7,4); бихроматная окисляемость высокая (28,0-55,0 мг·л<sup>-1</sup>), что обусловлено заболоченностью водосбора. Содержание легкоокисляемого органического вещества (БПК<sub>5</sub>) невелико (0,80-2,53 мг·л<sup>-1</sup> или 0,4-1,2 ПДК); количество минерального азота и фосфатов не превышает ПДК.

Из водотоков Красноярского края обследована также р. Чулым – правый приток р. Оби. Долина р. Чулым заболочена, основной источник питания – атмосферные осадки.

Водоём-охладитель Берёзовской ГРЭС-1 (Берешское водохранилище) создан зарегулированием стока р. Береш в районе впадения в нее рек Базыр и Кадат в 1986 г. Водообмен водохранилища в маловодные годы происходит один раз в год. В ложе водохранилища затоплено торфяное месторождение, поэтому в воде присутствуют растворённые гуминовые вещества. Это политрофный водоём с содержанием свободной углекислоты в пределах 0,4-2,9 мг·л<sup>-1</sup> летом и 6,4-11,0 мг·л<sup>-1</sup> зимой, слабощелочной реакцией среды, рН 7,0-8,8, общей минерализацией воды от 261 мг·л<sup>-1</sup> весной до 598 мг·л<sup>-1</sup> в зимний период; ХПК от 16 (весна-лето) до 45 (осень-зима).

Красноярское водохранилище относится к глубоководным водоёмам. На глубины до 10 м приходится 16 % всей площади, 10-30 м – 28, 30-40 м – 12, более 40 м – 44 %. Вода водохранилища слабоминерализованная (54-143 мг·л<sup>-1</sup>), гидрокарбонатного класса, рН 7,4-7,6. Водохранилище представляет собой ряд чётко выраженных плесовидных расширений и суженных участков (Подлипский, Широков, 1975; Андреева, Космаков, 1980; Водохранилища ..., 1986).

Отбирали как батометрические, так и сетяные пробы, которые фиксировали раствором Утермеля или адаптированным к длительному хранению раствором Люголя (Методики ..., 1975). Концентрировали их отстойным либо фильтрацион-

ным методом на мембранных фильтрах Владипор № 9 (диаметр пор 0,90 мкм). При обработке проб 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 (Киселёв, 1954; Матвієнко, Литвиненко, 1977). При составлении списка использовали систему, принятую в указанных сводках.

Биомассу рассчитывали по средним объёмам, приравнивая форму клеток к близкой геометрической фигуре (Методики ..., 1975). Значение отдельных видов в формировании водорослевого сообщества рассчитывали по частоте встречаемости (отношение числа проб, в которых вид присутствует, к общему числу проб, принимаемому за 100 %) и частоте доминирования (процент проб, в которых вид преобладает по биомассе) (Кожова, 1970).

Первичную продукцию и деструкцию органического вещества для большинства водоёмов определяли кислородным методом склянок (Киселёв, 1969) с параллельным определением биомассы фитопланктона. На оз. Байкал применяли более чувствительный радиоуглеродный метод (Сорокин, 1971).

### Результаты и обсуждение

Таксономический состав и экология. В исследованных водоёмах Восточной Сибири нами обнаружено 23 вида водорослей, относящихся к отряду *Cryptophyta*, классу *Cryptophyceae*, порядку *Cryptomonadales*, семействам *Cryptomonadaceae* и *Cryptochrysidaceae*, 4 родам: *Chroomonas*, *Cryptomonas*, *Rhodomonas*, *Cryptochrysis*. Двенадцать видов приводятся для альгофлоры региона впервые (табл. 1).

Среди них *Cryptomonas brevis* (Матвієнко, Литвиненко, 1977, с. 126-127, рис. 42, б) отличался от диагноза меньшими размерами клеток: 21-23 мкм дл., 15-17 мкм шир. (рис. 1). Горное озеро тектонического происхождения Орон, весна 2003 г., Забайкалье, бассейн р. Витим. В Берешском водохранилище отличий от диагноза не было.

В биогеографическом плане практически все найденные виды – широко распространённые в водоёмах мира; один бореальный – обитатель умеренных широт (*Cryptomonas borealis*) и один аркто-альпийский (*Rhodomonas lens*). Наибольшим числом видов представлен род *Cryptomonas* – 13. Род *Chroomonas* насчитывает 5 видов, *Rhodomonas* – 4, а род *Cryptochrysis* – 1. Пятнадцать найденных видов (65 % общего состава) – индикаторы сапробности, показатели органического загрязнения водоёмов. По отношению к солёности воды большинство найденных видов – индифференты (9 видов) и олигогалофы (5). Найдено только по одному представителю галофобов (*Cryptomonas borealis*), галофилов (*C. erosa*) и мезогалофов (*C. salina*).

Наименьшее количество видов обнаружено в реках Таз и Чулым, а также в оз. Байкал. Наибольшее видовое богатство *Cryptophyta* отмечено в Берешском водохранилище (19).

Таблица 1. Видовой состав криптофитовых водорослей, найденных в планктоне водоёмов Восточной Сибири, их галобность (Г) и индекс сапробности (s)

Таксон	Г	s	Фитогеографическая и экологическая характеристики	Распространение в исследованных водоёмах (оригинальные данные)
Род <i>Chroomonas</i> Hansg.				
<i>Ch. acuta</i> Uterm.	И	$\beta$ - $\alpha$	Широко распространенный вид. В планктоне прудов, озер (в т.ч. альпийских) и вдхр., р. Ангара (Киселев, 1954; Матвієнко, Литвиненко, 1977; Долгосрочное ..., 1988; Воробьева, 1995)	Во всех исследованных водоёмах и водотоках, в течение года (1997-2007 гг.)
<i>Ch. breviciliata</i> Nyg.*	-	-	В прудах и озерах Дании (Киселев, 1954)	Берешское вдхр. (июль, август 2006 г., май 2007 г.), р. Енашино (август 2000 г.)
<i>Ch. caudata</i> Geitl. *	И	$\beta$	В оранжерейном бассейне (Австрия), Горьковское вдхр. (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	Берешское вдхр. (август 2006 г.), р. Севогликон (август 2000 г.)
<i>Ch. minima</i> Czosnowski*	-	-	В болотах, Горьковское вдхр. (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	р. Кан (сентябрь 2004 г.)
<i>Ch. nordstedtii</i> f. <i>minor</i> Nyg. *	И	$\alpha$ - $\beta$	В водоёмах со стоячей водой, в прудах, луговых канавах и др., нередко в массе (Киселев, 1954)	Берешское вдхр. (октябрь 2007 г.), Красноярское вдхр. (июль 2004 г.)
Род <i>Cryptochrysis</i> Pasch.				
<i>C. minor</i> Nyg. *	Ог	$\beta$ - $\alpha$	В прудах и озерах (Дания), Ивановское вдхр. (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	Берешское вдхр. (январь 2007 г.)
Род <i>Cryptomonas</i> Ehr.				
<i>C. brevis</i> Schill.*	Ог	-	Широко распространенный вид (Киселев, 1954; Матвієнко, Литвиненко, 1977)	Оз. Орон (весна 2003 г.), Берешское вдхр. (апрель 2004 г.)

<i>Cryptomonas borealis</i> Skuja	Гб	-	Бореальный вид. В планктоне прудов, озёр, рек, болот, стариц, канав, сфагнов. болот (Матвіснко, Литвиненко, 1977; Бочка, 2000)	Прибрежные байкальские озёра, оз. Озёрное (лето-осень 1998-2005 гг.)
<i>C. caudata</i> Schill.	Ог	о-β	В рыбоводных прудах и старицах рек. В р. Дунае и прудах у Вены зимой. В водохранилищах волжского каскада (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	р. Ангара (зима-осень 1999 г., октябрь 2002 г.), Берешское вдхр. (сентябрь 2003 и 2006 гг.)
<i>C. curvata</i> Ehr.	Ог	о-β	Широко распространенный вид. В планктоне, перифитоне и бентосе прудов, озёр, рек, болот, стариц, канав, вдхр. (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Корнева, Генкал, 2000)	оз. Байкал, Орон, Гольцовое, Леприндо, Каларский Даватчан, Аглан, Ирбо, Камканда, Илокалуйское, Светлинское, Озёрное, Балан-Тамур, Ильчир, прибрежные байкальские озёра, Очки, Кривое, р. Ангара, Берешское вдхр (зима-осень 1997-2007 гг.)
<i>C. erosa</i> Ehr.	Гл	β-α	Широко распространенный вид. В планктоне прудов, озёр, рек, болот, стариц, канав (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Корнева, Генкал, 2000)	Оз. Байкал, Окинское, Фролиха, Соли, Орон, Читканда, прибрежные байкальские озёра (зима-осень 1997-2007 гг.) Берешское вдхр (январь-ноябрь 2002-2007 гг.), бассейны рек Ангара (август, октябрь 2002 г.), Енисей (сентябрь 2004, 2006 гг.), Красноярское вдхр. (июнь-август 2001, 2006 гг.)
<i>C. gracilis</i> Skuja	Ог	о-β	В планктоне прудов, озёр, рек, болот, стариц, канав, водохранилищ. Широко распространенный вид (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Бочка, 2000; Корнева, Генкал, 2000)	оз. Байкал, Орон, Амудиса, Верхнее Бутуинское, Чининское-3, Чепя, Амалык-1, Ничатка, прибрежные байкальские озёра (зима-осень 1997-2007 гг.), Берешское вдхр. (март-май 2007 г.)
<i>C. lucens</i> Skuja*	-	-	В литорали озер, Куйбышевское вдхр. (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	р. Соленая ( июль 2005 г.)
<i>C. marssonii</i> Skuja	И	о-β	Широко распространенный вид (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Корнева, Генкал, 2000)	Во всех исследованных водоемах и водотоках, в течение года (1997-2007 гг.)
<i>C. ovata</i> Ehr.	И	р	В планктоне прудов, озёр, рек, болот, стариц, канав. Широко распространенный вид (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Корнева, Генкал, 2000)	Озёра Байкал, Окинское, Номама, Читканда, Чининское-4, прибрежные байкальские озёра (зима-осень 1997-2007 гг.), Берешское вдхр. (январь-сентябрь 2004-2007 гг.), бассейн р. Ангара (август, октябрь 2002 г.), р. Б. Хета (июль 2005 г.)

<i>Cryptomonas ozolinii</i> Skuja*	-	о-β	В озерах, лужах и др. водоемах Латвии (Киселев, 1954)	Берешское вдхр. (сентябрь 2006 г.)
<i>C. parapyrenoidifera</i> Skuja*	-	-	В озерах Швеции (Киселев, 1954)	Берешское вдхр. (январь 2007 г.)
<i>C. reflexa</i> (Marss.) Skuja	И	о-β	Широко распространенный вид (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Корнева, Генкал, 2000)	Во всех исследованных водоемах и водотоках, в течение года (1997-2007 гг.)
<i>C. salina</i> Wisl.*	Мг	-	В соленых озерах и грязах. Крым, Таманский п-ов, Горьковское вдхр. (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	реки Чулым (май 2004 г.) и Таз (август 2005 г.)
Род <i>Rhodomonas</i> Karst.				
<i>Rh. lacustris</i> Pasch. et Ruttn. *	И	о-β	В планктоне озер и прудов, по всей глубине, Куйбышевское вдхр. (Киселев, 1954; Корнева, Генкал, 2000)	Берешское вдхр. (январь 2007 г.)
<i>Rh. lens</i> Pasch.	И	о-β	В планктоне альпийских озер и озер Швеции (Киселев, 1954; Матвієнко, Литвиненко, 1977)	Оз. Ирбо (лето 2003 г.), реки Б. Балчуг (август 2004 г.), Дудинка (август 2005 г.), Соленая (август 2005 г.), Турама (лето), Берешское вдхр. (апрель, май, сентябрь, октябрь 2004-2007 гг.)
<i>Rh. ovalis</i> Nyg. *	-	-	В планктоне эвтрофных озер (Дания) (Киселев, 1954)	Берешское вдхр. (март, июнь 2006 и 2007 гг.)
<i>Rh. pusilla</i> (Bachm.) Jav. var. <i>pusilla</i>	И	о-β	Широко распространенный вид (Киселев, 1954; Воробьева, 1995; Корнева, Генкал, 2000)	Во всех исследованных водоемах и водотоках, в течение года (1997-2007 гг.)

П р и м е ч а н и е : Г – галобность: Гл – галофил; Гб – галофоб; И – индифферент, Мг – мезогалоб; Ог – олигогалоб.

s – показатель сапробности: о-β – олиго-бетамезосапробионт, β – бета-мезосапробионт, β-α – бета-альфамезосапробионт, р – полисапробионт; «-» отсутствие информации.

\* – вид впервые приводится для Восточной Сибири.

Максимальное разнообразие наблюдалось в осенне-зимние месяцы (сентябрь-январь – 9-11 внутривидовых таксонов, включая типовые) с преобладанием рода *Cryptomonas* (10 видов). Частота встречаемости видов криптофитовых водорослей в исследованных водоёмах различна. В средней части р. Енисей этот показатель для видов сем. *Cryptomonadaceae* составляет 87 %; в северной части – 100 %; в реках Таз, Чулым, Ангара и всех исследованных озёрах – 100 %; в бассейне р. Вельмо – 10 %; Подкаменной Тунгуске – 50 %. В Красноярском водохранилище минимальное значение частоты встречаемости видов сем. *Cryptomonadaceae* наблюдалось в 2000 и 2001 гг. (10 и 21 % соответственно), в 2002-2006 гг. этот показатель составлял от 33 (2004 г.) до 52 % (2003 г.). В Берешском водохранилище частота встречаемости видов сем. *Cryptomonadaceae* изменялась от 64 (2004 г.) до 100 % (2003 г., 2005 – январь 2007 гг.). Часто встречаемыми видами (частота встречаемости более 50 %) были *Cryptomonas marssonii*, *C. curvata* и *C. reflexa*, *Rhodomonas pusilla*. Они присутствовали в большинстве водных объектов во все периоды исследования. К редко и единично встречаемым видам отнесены *Cryptochrysis minor*, *Rhodomonas lacustris*, *Rh. ovalis*, *Chroomonas caudata*, *Ch. minima*, *Ch. nordstedtii* var. *minor*, *Cryptomonas brevis*, *C. caudata*, *C. parpyreanoidifera*, *C. ozolinii*, *C. lucens* и *C. salina*. Эти виды отмечены в 1-2 водоёмах (реже в нескольких) в определённый период года.

Видовое богатство *Cryptophyta* в основных исследованных водоёмах представлено на рис. 2. В данные о р. Енисей включены все притоки, указанные в разделе «Материалы и методы» с выделением только р. Ангары.

Для определения степени сходства видового состава криптофитовых водорослей в обследованных водоёмах и водотоках был рассчитан коэффициент флористического сходства (КФС) по Серенсену (Sørensen, 1948). В качестве основного сравниваемого водоёма взято Берешское водохранилище как водоём с наибольшим количеством таксонов. Наиболее близки по составу криптофитовых водорослей оз. Байкал и прибрежные байкальские озёра (КФС 0,84), оз. Байкал и реки Чулым (КФС 0,75) и Таз (КФС 0,62), Берешское водохранилище и весь комплекс водоёмов и рек бассейна Енисея (КФС 0,69).

Минимальные показатели флористического схода получены для Берешского водохранилища и рек Таз (КФС 0,36) и Чулым (КФС 0,42). Видовой состав криптофитовых водорослей менялся довольно сильно в одном и том же водоёме в разные годы исследования, например в Берешском водохранилище (табл. 2).

Сезонная динамика и количественные показатели. После синезелёных криптофитовые водоросли – самые многочисленные представители планктона во всех исследованных нами водных объектах, их максимальная численность колебалась в пределах 100 тыс. кл.л<sup>-1</sup>– 1 млн кл.л<sup>-1</sup>.

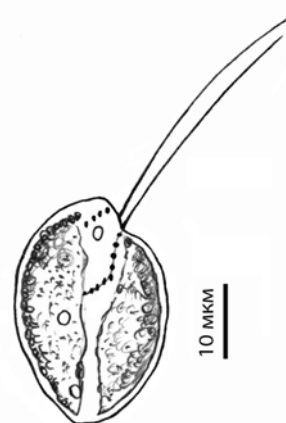


Рис. 1. *Cryptomonas brevis* Schill.



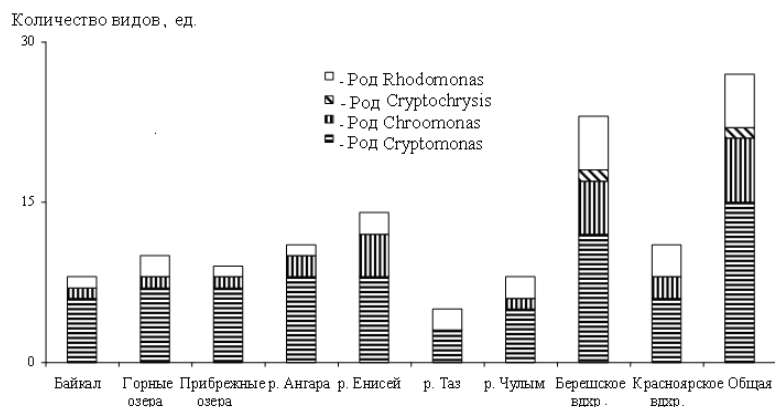


Рис. 2. Видовое богатство *Cryptophyta* в исследуемых водоемах и водотоках Восточной Сибири

В оз. Байкал криптофитовые водоросли – постоянный компонент планктона. Их небольшие количества находили в декабре-январе, а уже с февраля их количество возрастало. В пелагиали оз. Байкал концентрация растворённого органического вещества составляла только 1,24-1,25 мг·С·л<sup>-1</sup> (Башенхаева, 2006), поэтому численность видов *Cryptomonas* была низкой (100-3000 кл·л<sup>-1</sup>), доминировали представители рода *Rhodomonas* (100-300 тыс. кл·л<sup>-1</sup>). Как большинству растительных обитателей пелагиали Байкала им свойственны межгодовые колебания численности. Сезонная и межгодовая динамика численности криптофитовых в Байкале в 1998-2000 гг. показана на рис. 3. Эти водоросли в малопродуктивные годы (1998-1999 гг.) имели три пика численности: весенний, летний и резко выраженный осенний, в высокопродуктивные – два чётких пика в период открытой воды: в мае или июле и осенний.

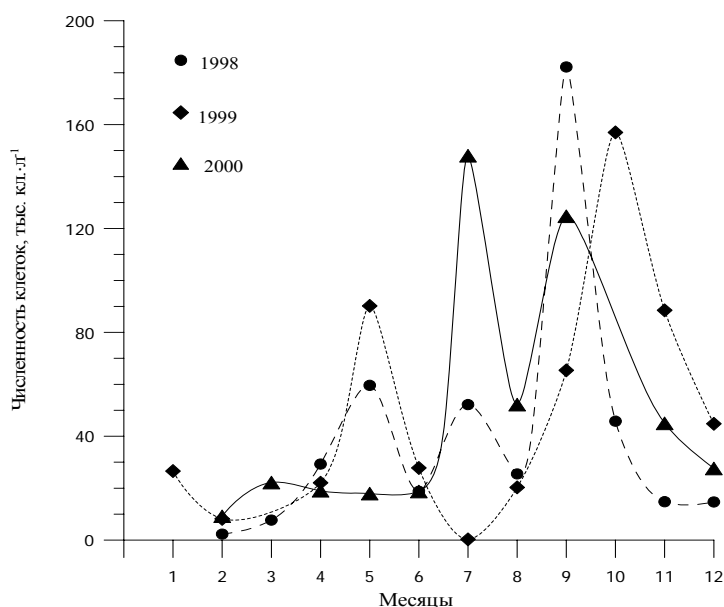


Рис. 3. Сезонная динамика численности криптофитовых водорослей в оз. Байкал в 1998-2000 гг.

На примере высокопродуктивного 2000 г. отчётливо видно, что, когда в планктоне происходит интенсивная вегетация крупных диатомовых водорослей, подлёдного максимума криптофитовых не бывает, их максимальные количества (более 100 тыс. кл·л<sup>-1</sup>) наблюдали только в период открытой воды.

Таблица 2. Коэффициенты флористического сходства (КФС) разных водоёмов

Водоём	КФС по Серенсену
Берешское вдхр. – оз. Байкал	0,59
Берешское вдхр. – бассейн р. Енисей	0,69
Берешское вдхр. – прибрежные озёра Байкало-Ленского запов.	0,67
Берешское вдхр. – Красноярское вдхр.	0,57
Берешское вдхр. – р. Чулым	0,42
Берешское вдхр. – р. Таз	0,36
Оз. Байкал – р. Енисей	0,67
Оз. Байкал – р. Таз	0,62
Оз. Байкал – Красноярское вдхр.	0,71
Оз. Байкал – р. Чулым	0,75
Оз. Байкал – прибрежные озёра Байкало-Ленского запов.	0,84
Берешское водохранилище	
2003-2004 гг.	0,75
2003-2005 гг.	0,62
2003-2006 гг.	0,53
2003-2007 гг.	0,40
2004-2005 гг.	0,82
2004-2006 гг.	0,70
2004-2007 гг.	0,58
2005-2006 гг.	0,70
2005-2007 гг.	0,67
2006-2007 гг.	0,74

В мелких озёрах региона, особенно с высоким уровнем развития прибрежных макрофитов, численность криптофитовых значительно выше, чем в Байкале, например в оз. Ильчир более 1 млн кл·л<sup>-1</sup> (рис. 4). Самое интересное явление, наблюдаемое нами, – массовая вспышка криптофитовых подо льдом, в февралемарте, в условиях неблагоприятных для фотосинтеза – при полной заснеженности льда. Основная причина этого развития, по нашему мнению, – достаточное количество легко усвояемой низкомолекулярной органической пищи для миксотрофных видов криптофитовых, образующейся при разложении отмирающих макрофитов. Гидрохимический анализ показал, что в период массового развития криптофитовых концентрация растворённого углерода в воде исследованных нами мелких озёр снижается (Коровякова и др., 2001). Наше утверждение согласуется с ли-

тературными данными о том, что такие виды криптофитовых способны потреблять растворённую органику при низких температурах и плохих световых условиях (Maeda, Ichimura, 1973). Обычно криптофитовые обильны в озёрах с большим содержанием веществ гумусовой природы (Argvola, 1984; Smolander, Argvola, 1988; Корнева, 2000). В литературе есть также сведения о том, что для вертикальных миграций криптофитовых наибольшее значение имеет не пища в виде бактериальных скоплений, а световые условия и доступность биогенов (Argvola et al., 1991).

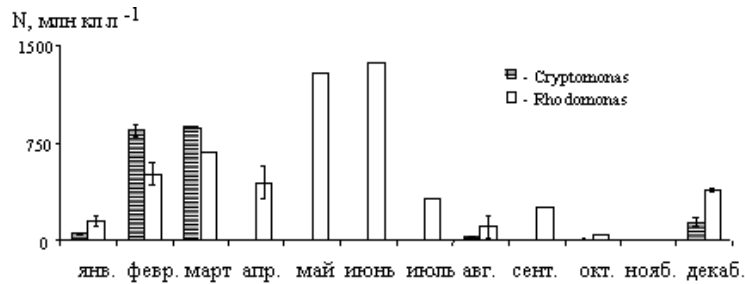


Рис. 4. Сезонная динамика численности криптофитовых водорослей в альпийском озере Ильчир в 1999 г.

Таким образом, поскольку большинство криптофитовых не являются активными потребителями бактерий, в отсутствие света при низких температурах они утилизируют растворённую органику. По мере истощения пищевого ресурса концентрация этих жгутиковых уменьшается. Зимой наиболее обильны виды рода *Cryptomonas* (до 800 тыс. кл.л<sup>-1</sup>). Весной доминируют представители рода *Rhodomonas* (более 1 млн кл.л<sup>-1</sup>). В период открытой воды численность криптофитовых уменьшалась, в октябре перед замерзанием водоёмов она была минимальной. В декабре их количество возрастало.

Аналогичная картина распределения криптофитовых водорослей по сезонам наблюдалась и в Берешском водохранилище. Здесь накопление растворенного органического вещества происходило за счет летнего развития синезелёных водорослей. Наиболее обильны криптофитовые (до 70 % общей биомассы фитопланктона) в осенне-зимний период (рис. 5). Количественные характеристики (численность и биомасса) в основном формировались за счёт видов рода *Cryptomonas*. Представители рода *Rhodomonas* преобладали по численности (уступая первенство в биомассе роду *Cryptomonas*) в апреле, мае, июле и январе 2004-2007 гг. В период с апреля по август при меньших концентрациях растворенного органического вещества (см. рис. 5) значение криптофитовых в общей биомассе фитопланктона было значительно ниже (5-35 %).

Преобладание в Байкале, также как и в горных озёрах с низким содержанием в воде биогенных элементов и органического вещества, видов рода *Rhodomonas* (в первую очередь *Rh. pusilla* и *Rh. lens*) подтверждает, с одной стороны, существующее мнение (Трифенова, 1990) о них как о показателях олиготрофных

условий, с другой – массовое развитие этих же видов в Берешском водохранилище ставит под сомнение данный постулат. Скорее всего, эти водоросли обладают широкой экологической пластичностью. Вклад криптофитовых водорослей в общую величину первичной продукции на Байкале также резко меняется в зависимости от года и сезона (рис. 6). Весной в высокопродуктивные годы основной вклад в создание органического вещества в Байкале (на примере 1990 г.) вносили крупные формы диатомовых водорослей – более 90 %, в неурожайные (1987 г.) – фитонанопланктон, представленный криптофитовыми (до 60 %).

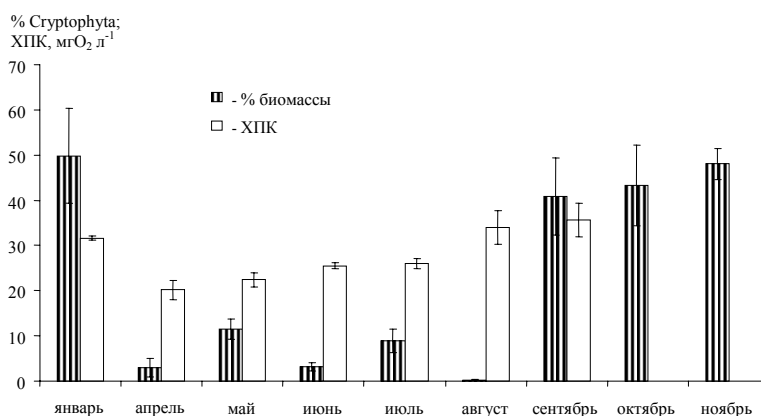


Рис. 5. Вклад представителей отдела *Cryptophyta* в биомассу фитопланктона и динамика химического потребления кислорода в Берешском водохранилище (усреднённые данные за 2003-2007 гг.)

Летом, в пору расцвета пикофитопланктона, синтезирующего более 70 % общей величины первичной продукции, вклад криптофитовых составлял 15-25 %. Осенью доли участников всех трёх размерных градаций были почти равны, с небольшим преобладанием крупного планктона, который создавал до 40 % суммарной величины первичной продукции, криптофитовые – 30 %, пикофитопланктон – 30 %.

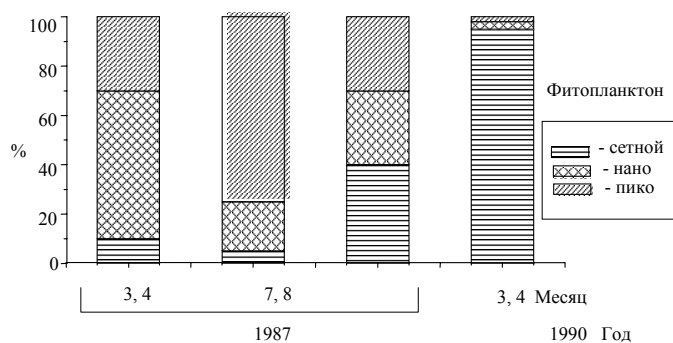


Рис. 6. Вклад разноразмерных групп фитопланктона (сетной – крупноклеточные диатомовые; нано – криптофитовые; пико – автотрофный пикопланктон) в общую биомассу первичной продукции в оз. Байкал в 1987 и 1990 гг.

## Выводы

В водоёмах Восточной Сибири обнаружено 23 вида криптофитовых водорослей из 4 родов (*Chroomonas*, *Cryptomonas*, *Rhodomonas* и *Cryptochrysis*), относящихся к классу *Cryptophyceae*, пор. *Cryptomonadales*, сем. *Cryptomonadaceae* и *Cryptochrysidaceae*. Для альгофлоры Восточной Сибири 12 видов приведено впервые. 91 % (21 вид) выявленного состава – виды с широким географическим распространением; один бореальный (*Cryptomonas borealis*) и один аркто-альпийский (*Rhodomonas lens*). Наибольшим числом видов представлен род *Cryptomonas* (13). 15 видов (65 % состава *Cryptophyta*) – индикаторы сапробности, преобладают олиго-бета-мезосапробионты (10 видов). По отношению к солёности воды большинство найденных видов (14) – индифференты и олигогалобы. Общих видов для всех исследованных водоёмов и водотоков 4: *Rhodomonas pusilla*, *Chroomonas acuta*, *Cryptomonas marssonii* и *C. reflexa*. Наиболее близки по видовому составу *Cryptophyta* оз. Байкал и его прибрежные озёра (КФС 0,84).

Количественные характеристики представителей *Cryptophyta*, их сезонная и межгодовая динамика в разных типах исследованных водных объектов варьируют. Они встречаются постоянно, но максимальные показатели, в первую очередь видов рода *Cryptomonas*, приурочены к периодам, когда в водоёмах бывает достаточное количество легкорастворимых органических веществ. В условиях, неблагоприятных для фотосинтеза, миксотрофные виды *Cryptophyta* способны утилизировать растворённое в воде органическое вещество (РОВ). Именно этой особенностью биологии объясняются их большие количества в водоёмах с повышенным содержанием РОВ, например в Берёшском водохранилище и мелких прибрежных байкальских озёрах, где в периоды максимумов их численность достигает более 1 млн кл·л<sup>-1</sup>.

## Благодарности

Работа частично финансирована Программой РАН «Биоразнообразие и динамика генофондов».

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, 664033 Irkutsk, Russia, e-mail: [nina@lin.irk.ru](mailto:nina@lin.irk.ru)

<sup>2</sup>Institute of Computational Modeling of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
660036 Krasnoyarsk, Akademgorodok, Russia, e-mail: [schure@krasn.ru](mailto:schure@krasn.ru);

<sup>3</sup>Research Institute of Ecology of Fish-ponds,  
33, Paris Commune str., 660036 Krasnoyarsk, Russia

## CRYPTOPHYTA IN EAST-SIBERIAN WATER BODIES (RUSSIA)

The paper presents a study on the taxonomic composition, number, biomass, and primary production of *Cryptophyta* algae in East-Siberia water-bodies. The rivers Enisey and Angara, the water-reservoirs Krasnoyarskoe and Berezhscoe, water-bodies in the north part of the Krasnoyarsk province, Lake Baikal, East-

Siberian mountain lakes, and near-Baikal small lakes have been studied. There have been revealed 23 species, 12 of them being new in the algal flora of East Siberia. There were examined features of the *Cryptophyta* biology, their seasonal and inter-annual dynamics in planktonic communities. *Cryptophyta* species were found to be a permanent component in plankton, reaching their maximal abundance while the studied water-bodies and water-flows abounded in soluble organic compounds.

*Keywords*: *Cryptophyta*, taxonomic composition, number, biomass, primary production, East Siberia.

- Андреева Т.Г., Космаков И.В.* Гидрохимическая характеристика Красноярского водохранилища за 1975-1977 гг. // Биологические процессы и самоочищение Красноярского водохранилища. – Красноярск: КрасГУ, 1980. – С. 32-37.
- Антипова Н.Л.* Сезонные и годовые изменения фитопланктона в озере Байкал // Исследования по микрофлоре и зоопланктону Байкала. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 12-28.
- Антипова Н.Л., Кожов М.М.* Материалы по сезонным и годовым колебаниям руководящих форм фитопланктона озера Байкал // Тр. ИГУ. – 1953. – Т. 7. Сер. биол., вып. 1/2. – С. 63-68.
- Башенхаева Н.В.* Растворённое органическое вещество воды оз. Байкал // Тез. междунар. конф. «Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем», Ростов-на-Дону, 9-12 октября 2006 г. – Ростов-на-Дону, 2006. – С. 10-11.
- Биология* Усть-Илимского водохранилища. – Новосибирск: Наука, 1987. – 261 с.
- Бондаренко Н.А., Оболкина Л.А., Мельник Н.Г. и др.* Межвидовые связи и структура планктонных сообществ // Атлас и определитель пелагиобиев Байкала с краткими очерками по их экологии. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 58-72.
- Бочка А.Б.* Водоросли. Флора и фауна водоёмов и водотоков Баргузинского заповедника. (Сер. Флора и фауна заповедников). – М.: Изд-во комиссии РАН по заповед. делу, 2000. – Вып. 91. – С. 8-123.
- Водохранилища и их воздействие на окружающую среду.* – М.: Наука, 1986. – 367 с.
- Воробьева С.С.* Фитопланктон водоемов Ангары. – Новосибирск: Наука СИФ РАН, 1995. – 126 с.
- Гидрохимические и гидробиологические исследования Хантайского водохранилища.* – Новосибирск: Наука, 1986. – 120 с.
- Долгосрочное прогнозирование состояния экосистем.* – Новосибирск: Наука, 1988. – 238 с.
- Евстафьев В.К., Бондаренко Н.А.* Природа явления «мелозирных лет» в озере Байкал // Гидробиол. журн. – 2002. – № 1. – С. 3-12.
- Загоренко Г.Ф., Каплина Г.С.* Современное состояние фитопланктона Байкала // Круговорот вещества и энергии в водоемах: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. лимнологов. Вып. 1: Элементы биотического круговорота. – Иркутск, 1981. – С. 63-65.
- Киселёв И.А.* Определитель пресноводных водорослей СССР. Пиррофитовые водоросли. Вып. 6. – М: Сов. наука, 1954. – 212 с.
- Киселёв И.А.* Методы исследования планктона // Жизнь пресных вод. – М.; Л., 1956. – Т. 4, ч. 1. – С. 140-416.
- Киселёв И.А.* Планктон морей и континентальных водоемов. – Л.: Наука, 1969. – Т. 1. – 658 с.
- Кожова О.М.* Формирование фитопланктона // Формирование природных условий и жизни Братского водохранилища. – М.: Наука, 1970. – С. 27-160.
- Корнева Л.Г.* Разнообразие и структура фитопланктона некоторых слабоминерализованных разнотипных озёр Вологодской области // Тр. междунар. конф. «Озёра холодных регионов», вып. 2. – Якутск, 2000. – С. 94-106.
- Корнева Л.Г.* Закономерности изменения структурной организации фитопланктона при эвтрофикации и ацидификации пресных вод // Тез. докл. VIII съезда Гидробиол. об-ва РАН. Т. 1. – Калининград, 2001. – С. 167-168.

- Корнева Л.Г., Генгал С.И. Таксономический состав и эколого-географическая характеристика фитопланктона волжских водохранилищ // Каталог растений и животных водоемов бассейна Волги. – Ярославль: ЯГТУ, 2000. – С. 5-112.
- Коровякова И.В., Чубаров М.П., Шабурова Н.И. Гидрохимический анализ прибрежных озёр Байкало-Ленского заповедника // Тр. Байкало-Ленск. заповед. (Иркутск). – 2001. – Вып. 2. – С. 42-47.
- Масюк Н.П., Костилов И.Ю. Современные взгляды на положение водорослей в системе органического мира // Альгология. – 2002. – 12, № 2. – С. 151-182.
- Матвієнко О.М., Литвиненко Р.М. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. III. Ч. 2. Пірофітові водорості – *Pyrrophyta*. – К.: Наук. думка, 1977. – 385 с.
- Методики изучения биогеоценозов внутренних водоёмов / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. – М.: Наука, 1975. – 240 с.
- Особенности структуры экосистем озёр Крайнего Севера. – СПб: Наука, 1994. – 259 с.
- Подлипский Ю.И., Широков В.М. Гидрологический режим и формирование берегов Красноярского водохранилища в 1967-1970 гг. // Биологические исследования Красноярского водохранилища. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 4-36.
- Поповская Г.И. Морской и пресноводный планктон // Тр. Зоол. ин-та. (Ленинград). – 1987. – 172. – С. 107-115.
- Сорокин Ю.И. Количественная оценка роли бактериопланктона в биологической продуктивности тропических вод Тихого океана // Функционирование пелагических сообществ тропических районов океана. – М.: Наука, 1971. – С. 92-122.
- Трифонова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озёр Карельского перешейка. – Л.: Наука, 1979. – 168 с.
- Трифонова И.С. Экология и сукцессия озёрного фитопланктона. – Л.: Наука, 1990. – 180 с.
- Шабурова Н.И., Бондаренко Н.А., Шевелёва Н.Г. Планктон прибрежных озер государственного природного заповедника «Байкало-Ленский» // Тр. гос. природ. запов. «Байкало-Ленский» (Иркутск). – 2003. – Вып. 3. – С. 46-57.
- Arvola L. Diel variation in primary production and the vertical distribution of phytoplankton in a polyhumic lake // Arch. Hydrobiol. – 1984. – 101. – P. 503-519.
- Arvola L., Ojala A., Barbosa F., Heaney S.I. Migration behaviour of three cryptophytes in relation to environmental gradients: an experimental approach // Brit. Phycol. J. – 1991. – 26. – P. 361-373.
- Bondarenko N.A., Gusebnikova N.E., Logacheva N.F., Pomazkina G.V. Spatial distribution of phytoplankton in Baikal, spring 1991 // Freshwat. Biol. – 1996. – 35, N 3. – P. 517-523
- Large Lakes: Ecological structure and function / Ed. M. Tilzer, C. Serruya. – Leipzig: Springer-Verlag, 1990. – 691 p.
- Maeda O., Ichimura S. On the high density of a phytoplankton population found in a lake under ice // Int. Rev. Ges Hydrobiol. – 1973. – 58, N 5. – P. 673-685.
- Smolander U., Arvola L. Seasonal variation in the diel vertical distribution of the migratory alga *Chryptomonas marssonii* (Cryptophyceae) in a small, highly humic lake // Hydrobiologia. – 1988. – 161. – P. 89-98.
- Sorensen 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. Skrift. – 1948. – N 5. – P. 1-34.

Получена 23.05.07

Подписала в печать Н.П. Масюк