

Разнообразие водорослей семейства Dinobryaceae (Chrysophyceae) в фитопланктоне Телецкого озера (Алтай, Россия)

Diversity of algae in the family Dinobryaceae (Chrysophyceae) in Lake Teletskoye phytoplankton (Altai, Russia)

Митрофанова Е. Ю.

Mitrofanova E. Yu.

Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия. E-mail: mitelena-09@mail.ru
Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

Реферат. В работе представлены результаты ревизии сем. Dinobryaceae (Chrysophyceae) в планктоне Телецкого озера (Россия, Алтай) с применением методов световой и сканирующей электронной микроскопии. Обобщены сведения о видовом разнообразии представителей родов *Dinobryon* Ehr., *Kephyrion* Pasch., *Pseudokephyrion* Pasch. emend. Schmid. и *Chrysococcus* Klebs. К настоящему времени для озера известно 25 видов (27 внутривидовых таксонов) золотистых водорослей из сем. Dinobryaceae. Виды *Dinobryon divergens* Imh. и *Kephyrion spirale* (Lack.) Conr. встречаются по всей акватории озера, как в пелагиали, литорали и придаточных водоемах, так и в различные сезоны года. Большинство представителей данного семейства отмечены мозаично в пространственном или эпизодически в сезонном аспектах. Повышенным разнообразием отличаются придаточные водоемы, находящиеся в заплесковой зоне на южной оконечности озера и соединяющиеся с основным водоемом в период половодья. В этих водоемах снижена ветро-волновая нагрузка, отчего возможно массовое развитие водорослей, в том числе золотистых сем. Dinobryaceae. Вместе с чешуйчатыми золотистыми водорослями представители сем. Dinobryaceae составляют важный компонент планктона Телецкого озера, вносящий значительную долю в его обилие особенно в периоды охлаждения водной толщи.

Ключевые слова. Западная Сибирь, золотистые водоросли, таксономический состав, Телецкое озеро, Dinobryaceae.

Summary. The paper presents the results of a revision of the family Dinobryaceae (Chrysophyceae) in Lake Teletskoye (Russia, Altai) plankton using light and scanning electron microscopy. Data on the species diversity of representatives of the genera *Dinobryon* Ehr., *Kephyrion* Pasch., *Pseudokephyrion* Pasch. emend. Schmid. и *Chrysococcus* Klebs. are summarized. According the study, 25 species (27 taxa) of chrysophycean algae from the family Dinobryaceae are known for the lake plankton. The species *Dinobryon divergens* Imh. and *Kephyrion spirale* (Lack.) Conr. are found throughout the lake, in the pelagic, littoral, and adjoining waters, as well as in different seasons of the year. Most representatives of this family occur in a spatial mosaic or episodically seasonal manner. The subsidiary water bodies located in the splash zone at the southern end of the lake and connected to the main body of water during the flood period are characterized by increased diversity. These water bodies experience reduced wind and wave loads, allowing for the widespread development of algae, including chrysophycean algae of the family Dinobryaceae. Along with chrysophycean silica-scaled algae, members of the family Dinobryaceae constitute an important component of Lake Teletskoye plankton, contributing significantly to its abundance, especially during periods of cooling.

Key words. Chrysophycean algae, family Dinobryaceae, Lake Teletskoye, taxonomic diversity, Western Siberia.

Введение. Золотистые, или хризофитовые водоросли – довольно разнообразная по составу группа протистов, распространенная во многих водоемах как в бореальном поясе, так и более южных регионах. Это преимущественно пресноводные жгутиковые организмы, которые обычно играют доминирующую или субдоминирующую роль в биомассе фитопланктона озер с низкой или средней продуктивностью, причем особенно они значимы в фиксации углерода в трофических цепях олиготрофных пресноводных водоемов (Chrysophyte algae, 1995). В отделе золотистых особая роль принадлежит сем. Dinobryaceae. Название семейства дано по распространенному во многих водоемах и разнообразному по составу роду *Dinobryon*. Виды данного рода образуют разветвленные колонии в виде кустиков из

домиков-бокальчиков («дендриты»), внутри которых сидит по одной жгутиковой клетке. Благодаря совместному движению всех жгутиков такой кустик плавает, одновременно вращаясь вокруг своей оси, что и дало повод к его названию «динобрион», т.е. «вращающийся мох» (Голлербах, 1951). При общей сложности идентификации многих видов золотистых водорослей ввиду наличия очень мелких кремнистых элементов и применения для этого электронной микроскопии, представители сем. *Dinobryonaceae* в большинстве своем хорошо различимы при световой микроскопии (Волошко, 2017). В Телецком озере еще первые исследователи планктона отмечали в его составе представителей данного семейства, а именно *Dinobryon divergens* и *D. stipitatum* sbsp. *eustipitatum* (Воронихин, 1940). Позднее нами из 29 видов золотистых водорослей, составлявших 8,6 % от общего состава фитопланктона и занимавших четвертое ранговое место после диатомовых, зеленых и цианобактерий (Митрофанова, 2000), было выявлено 15 видов, принадлежавших к сем. *Dinobryonaceae*. Среди крупнейших родов по числу видов в фитопланктоне озера роду *Dinobryon* принадлежало 11 место (7 видов, 2,1 %). В последние годы в связи с изучением водорослей планктона Телецкого озера в разные сезоны с помощью сканирующей электронной микроскопии состав этого семейства пополнился, поэтому возникла необходимость ревизии данной группы водорослей по архивным и современным оригинальным и литературным данным, что и явилось целью данной работы.

Материалы и методы. Телецкое озеро находится в узкой горной долине в горах Алтая на юге Западной Сибири (карта озера со станциями отбора проб приведена в работе: Митрофанова, 2025) – глубина 323,3 м, площадь водной поверхности 223 км², длина 78 км, максимальная ширина 5,2 км (Selegei et al., 2001). Отличительной особенностью водоема является большая площадь его водосборного бассейна (отношение площади озера к площади водосбора 1:91), что при высоте расположения водосборного бассейна (средняя величина – 1940 м над ур. м.) способствует ускоренному обновлению водных масс в озере (5,3–5,6 лет) и низкой температуре воды на протяжении всего года (средняя годовая температура воды в озере составляет 4,6 °C (Селегей, Селегей, 1978)).

Просмотрены пробы фитопланктона за 2009–2010, 2018–2025 гг. Сетка станций отбора проб фитопланктона в Телецком озере охватывала всю его акваторию в разные гидрологические сезоны. Пробы объемом 30–50 мл профильтровывали на мембранные фильтры «Владипор» диаметром 10 мм с размером пор около 0,8 мкм, затем фильтры промывали 10 мл 96%-го этанола, после высушивали на воздухе и инсталлировали на «столики» для электронной микроскопии с помощью двустороннего скотча, напыляли золото-палладиевой смесью и исследовали с помощью СЭМ Hitachi S-3400N (Центр коллективного пользования «Электронная микроскопия» Института водных и экологических проблем СО РАН).

Результаты и обсуждение. Состав золотистых водорослей в фитопланктоне и альгофлоре Телецкого озера разнообразный. В отделе золотистых выделено два класса, три порядка и шесть семейств, среди которых сем. *Dinobryonaceae* принадлежит особая роль, что было отмечено еще в начале XXI в. (Митрофанова, 2000). В таксономической структуре отдела семейство *Dinobryonaceae* преобладает по числу видов и составляет 33 % от общего числа видов отдела (рис. 1). Учитывая архивные, литературные и оригинальные данные, выявлено 25 видов (27 видов, разновидностей и форм, или 28 таксонов, включая неопределенные до вида особи) хризодитовых водорослей сем. *Dinobryonaceae* (табл. 1).

Таблица 1. Состав сем. *Dinobryonaceae* фитопланктона Телецкого озера по архивным, литературным и оригинальным данным

Таксон	Воронихин, 1940	Анисимова, Белякова, 1997	Митрофанова, 2000	Gusev, Martynenko, 2022	настоящее исследование
Класс Chrysophyceae Порядок Chromulinales Семейство Dinobryonaceae					
<i>Chrysococcus biporus</i> Skuja			+		
<i>Ch. klebsianus</i> Pasch.			+		
<i>Ch. ovoides</i> (Conr.) Bourr.			+		

Продолжение табл. 1

Таксон	Воронихин, 1940	Анисимова, Белякова, 1997	Митрофанова, 2000	Gusev, Martynenko, 2022	настоящее исследование
<i>Ch. rufescens</i> Klebs			+		
<i>Kephyrion boreale</i> Skuja			+		+
<i>K. cupuliforme</i> Conrad					+
<i>K. gracile</i> (Milliard) Starmach			+		
<i>K. litorale</i> Lund					+
<i>K. planctonicum</i> Hilliard			+		
<i>K. rubri-claustri</i> Conr.					+
<i>K. spirale</i> (Lack.) Conr.			+		+
<i>K. tubiforme</i> Fott					+
<i>Dinobryon bavaricum</i> Imh.			+		
<i>D. divergens</i> Imh.	+	+	+		+
<i>D. mucicolum</i> (Balogh.) Bourr.			+		
<i>D. petiolatum</i> Willen			+		
<i>D. sertularia</i> Ehr.			+		+
<i>D. sociale</i> Ehr.		+	+		
<i>D. sociale</i> var. <i>stipitatum</i> (Stein) Lemm.		+			
<i>D. stipitatum</i> sbsp. <i>eustipitatum</i> Pasch.	+				
<i>D. suecicum</i> var. <i>suecicum</i> Lemm.			+		+
<i>D. suecicum</i> var. <i>longispinum</i> Lemm.					+
<i>Dinobryon</i> sp.			+		
<i>Pseudokephyrion ellipsoideum</i> (Pasch.) Schmid			+		+
<i>P. cylindricum</i> (Lackey) Bourr.					+
<i>P. entzii</i> Conrad					+
<i>Pseudokephyrion minutissimum</i> Conr.					+
<i>P. tatricum</i> (Juriš)					+

В планктоне озера из сем. Dinobryonaceae отмечены представители четырех родов – *Dinobryon* (8 видов), *Kephyrion* (8), *Pseudokephyrion* (5) и *Chrysococcus* (4 вида). Наиболее распространенными видами являются лишь несколько. В роде *Dinobryon* это *D. divergens*, который встречается по акватории всего озера и во все сезоны. И если в пелагиали чаще отмечены его одиночные домики или колонии, состоящие из нескольких домиков, то в литорали и, особенно, в затишной ее части или придаточных водоемах – большие кустистые колонии, которые хорошо развиваются при снижении волно-ветрового перемешивания водной толщи, характерного для открытой пелагиали. Так, например, в придаточном водоеме на юге озера в урочище Кырсай (левый берег р. Чулышман при впадении в озеро) в июне 2025 г. было отмечено массовое развитие данного вида (рис. 1).

Намного меньше распространен по озеру *D. suecicum* var. *suecicum* и его разновидность *D. suecicum* var. *longispinum*, причем они всегда встречаются в виде отдельных клеток (рис. 2а, б). Такое же как у р. *Dinobryon* разнообразие выявлено и в р. *Kephyrion*, среди представителей которого самым распространенным по акватории и сезонам подобно *D. divergens* является *K. spirale* (рис. 2в, справа), а также *K. rubri-claustri* (рис. 2в, слева). Часто встречаются представители *K. boreale* р. *Pseudokephyrion*. Разнообразие этого рода за последние 20 лет значительно увеличилось. Если ранее в планктоне озера был отмечен только *P. ellipsoideum* (Сафонова, Митрофанова, 1998) (рис. 3в), что отмечено было и при ревизии рода в водных объектах Западной Сибири (Науменко, 2022), то наше исследование планктонных проб озера показало развитие в данном водоеме таких видов, как *P. cylindricum* (рис. 3а), *P. entzii*

Conr. (рис. 3в), *P. minutissimum* (рис. 3г). Род *Chrysococcus* менее разнообразен по составу среди родов данного семейства. При электронно-микроскопическом исследовании проб планктона кроме широко распространенного *Ch. rufescens* часто встречались сферические домики *Ch. biporus* с двумя порами, причем одна могла быть закупорена (рис. 3е).

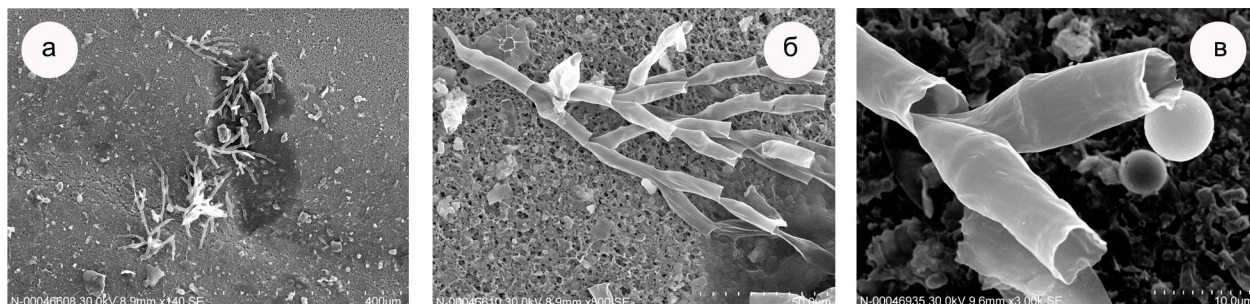


Рис. 1. Колонии *Dinobryon divergens* Imh. в фитопланктоне придаточного водоема на юге Телецкого озера, июнь 2025 г.

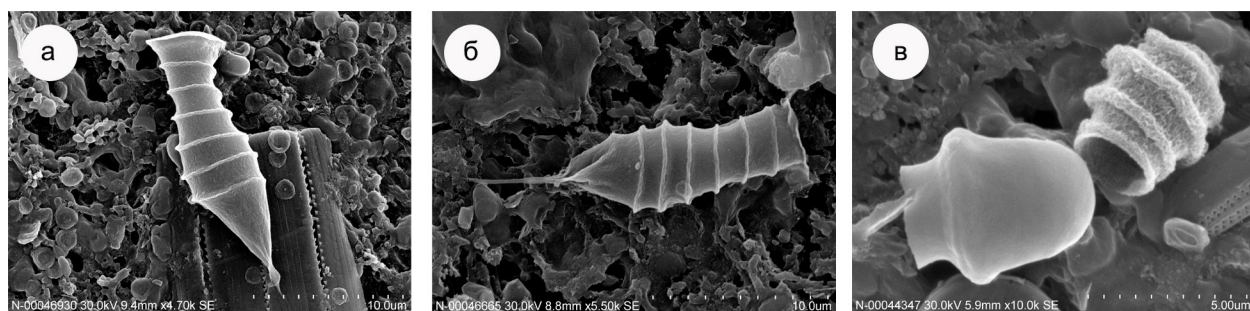


Рис. 2. Домики *Dinobryon suecicum* var. *suecicum* Lemm. (а) и *D. suecicum* var. *longispinum* Lemm. (б), *Kephyrion spirale* (Lack.) Conr. и *K. rubri-claustri* Conr. (в) в фитопланктоне Телецкого озера, июнь 2025 г.

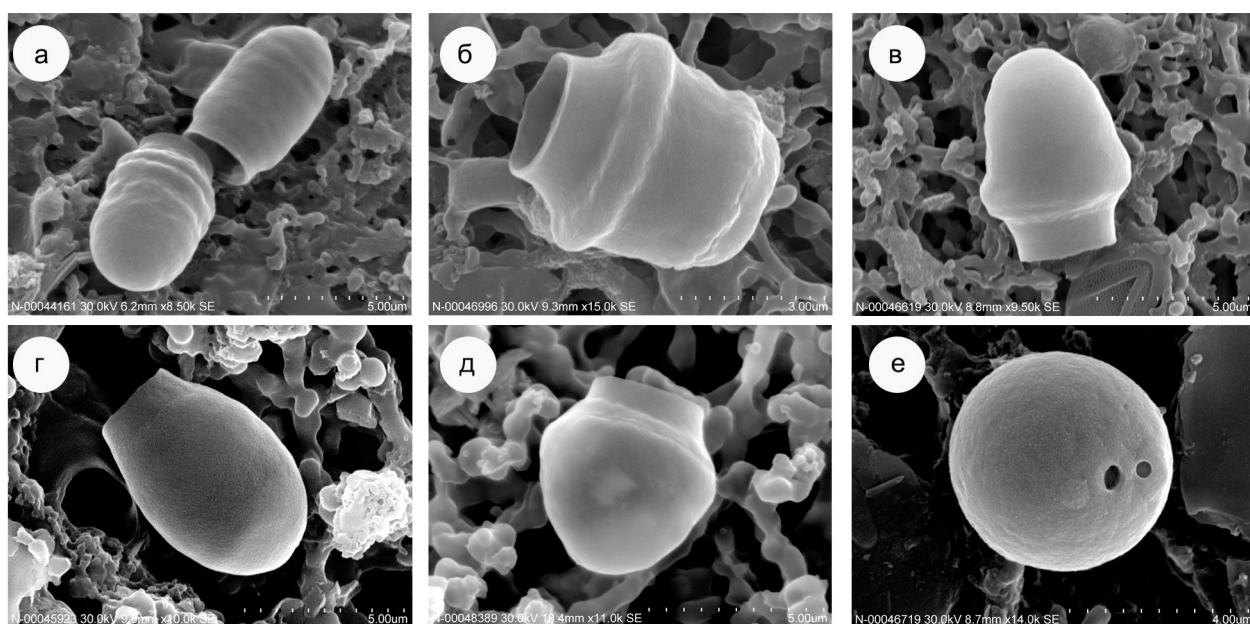


Рис. 3. Домики *Kephyrion boreale* Skuja (а), *Pseudokephyrion cylindricum* (Lackey) Bourr. (б), *P. entzii* Conr. (Pasch.) Schmid (в), *P. ellipsoideum* (г), *P. minutissimum* Conr. (д), *Chrysococcus biporus* Skuja (е).

Таким образом, за последние несколько десятилетий состав золотистых водорослей сем. *Dinobryaceae* (*Chrysophyceae*) в планктоне Телецкого озера (Россия, Алтай) значительно расширился. В настоящее время при применении световой и сканирующей электронной микроскопии в семействе выявлено 25 видов (27 внутривидовых таксонов) из родов *Dinobryon*, *Kephyrion*, *Pseudokephyrion* и *Chrysococcus*. Виды *Dinobryon divergens* и *Kephyrion spirale* встречаются по всей акватории озера, как в пелагиали, литорали и придаточных водоемах, так и в различные сезоны года. Большинство представителей данного семейства отмечены мозаично в пространственном или эпизодически в сезонном аспектах. Вместе с чешуйчатыми золотистыми водорослями представители сем. *Dinobryaceae* составляют важный компонент планктона Телецкого озера, вносящий значительную долю в его обилие особенно в периоды охлаждения водной толщи.

Благодарности. Автор выражает благодарность сотрудникам лаборатории гидрологии и геоинформатики ИВЭП СО РАН А. В. Дьяченко и А. А. Коломейцеву, а также экипажу НИС 209, базирующемуся на Телецком озере, за помощь при отборе проб фитопланктона. Работа выполнена в рамках госбюджетного проекта № FUFZ-2026-0005 с использованием научного оборудования ЦКП научно-исслед. судами и электронной микроскопии ИВЭП СО РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- Анисимова О. В., Белякова Г. А.** Альгофлора Телецкого озера и стоячих водоемов его бассейна на территории Алтайского государственного заповедника // Тр. Центрально-черноземного государственного заповедника. – М.: Изд-во КМК, 1997. – Вып. 15. – С. 191–203.
- Волошко Л. Н.** Золотистые водоросли водоемов Севера России. – СПб: Реноме, 2017. – 380 с.
- Воронихин Н. Н.** Фитопланктон Телецкого озера // Спорные растения: Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. 2. – Л.: Изд-во АН СССР, 1940. – Вып. 4. – С. 223–235.
- Голлербах М. М.** Водоросли, их строение, жизнь и значение // Среди природы, 1951. – Вып. 34. – М.: Изд-во Московского об-ва испытателей природы. – 176 с.
- Митрофанова Е. Ю.** Фитопланктон Телецкого озера: автореф. ... канд. биол. наук. – М.: МГУ, 2000. – 21 с.
- Митрофанова Е. Ю.** Род *Mallomonas* Perty (*Chrysophyceae*) в фитопланктоне Телецкого озера: разнообразие и распространение // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии, 2025. – Т. 24, № 1. – С. 128–132. <https://doi.org/10.14258/pbssm.2025026>
- Науменко Ю. В.** Род *Pseudokephyrion* Pascher в водных объектах Западной Сибири // Раст. мир Азиатской России, 2022. – Т. 15, № 3. – С. 230–236. <https://doi.org/10.15372/RMAR20220305>
- Сафонова Т. А., Митрофанова Е. Ю.** Материалы к составу водорослей озера Телецкое (Горный Алтай, Россия) // Альгология, 1998. – Т. 8, № 1. – С. 3–10.
- Селегей В. В., Селегей Т. С.** Телецкое озеро. – Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 148 с.
- Chrysophyte algae. Distribution, Phylogeny and Development* / Ed. By C. D. Sandgren, J. P. Smol, J. Kristiansen. – New York: Cambridge University Press, 1995. – 399 p.
- Gusev E., Martynenko N.** Silica-Scaled Chrysophytes of Teletskoye Lake and Adjacent Area with a Description of a New Species from the Genus *Mallomonas* // Diversity, 2022. – Vol. 14, № 1040. – P. 1–13. <https://doi.org/10.3390/d14121040>
- Selegei V., Dehandschutter B., Klerks J., Vysotsky A.** Physical and geological environment of Lake Teletskoye // Ann. Sci. Geol., 2001. – Vol. 105. – P. 1–310.