

СООБЩЕНИЯ

ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРΟΣЛИ ВОДОЕМОВ ЮЖНОГО УРАЛА.

I. РОД *CHRYSOSPHERELLA* (PARAPHYSOMONADACEAE)© 2019 г. Л. В. Снитыко^{1,*}, В. П. Снитыко¹, И. А. Блинов², Л. Н. Волошко³

¹ Ильменский государственный заповедник УрО РАН
г. Миасс, 456317 Челябинская обл., Россия

² Институт минералогии УрО РАН
г. Миасс, 456317 Челябинская обл., Россия

³ Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН
ул. Проф. Попова, 2, г. Санкт-Петербург, 197376, Россия

*e-mail: lvs223@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.03.2019 г.

После доработки 05.04.2019 г.

Принята к публикации 09.04.2019 г.

Выявлено распространение представителей рода *Chrysosphaerella* в водоемах различных физико-географических зон Южного Урала. Впервые на Урале отмечены виды *C. rotundata*, *C. coronacircumspina*, обнаружено местообитание редкой разновидности *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, описаны экологические условия. Выявлена высокая встречаемость *C. brevispina* в водоемах всех типов, обсуждено наличие внутривидовой морфологической изменчивости в водоемах степной зоны. Описания обнаруженных видов составлены с учетом современных номенклатурных ревизий и данных электронной микроскопии, дополнены оригинальными сведениями о местонахождениях, распространении и экологии в регионе исследования. Все виды иллюстрированы электронными микрофотографиями, включающими детали строения покровов клеток и стоматоцист. Полученные результаты дополняют сведения о флоре хризофитовых водорослей России и могут быть использованы в экологическом мониторинге водоемов.

Ключевые слова: Chrysophyceae, *Chrysosphaerella*, таксономия, распространение, экология, Южный Урал

DOI: 10.1134/S0006813619040094

Таксономия рода *Chrysosphaerella* Lauterborn семейства *Paraphysomonadaceae* (класс *Chrysophyceae*) основана на ультраструктуре чешуек и шипов клеток, определяемых при электронном микроскопировании. Чешуйки у представителей рода *Chrysosphaerella* имеют радиальную симметрию, а основное отличие от других представителей семейства в сложном устройстве шипа с основанием в виде двойного базального диска. Род *Chrysosphaerella* немногочисленный и насчитывает всего 7 видов и разновидностей (Takahashi, 1973; Starmach, 1985; Kristiansen et al., 1989, 1997, 2007; Siver, 1993; Škaloudova, Škaloud, 2013; Voloshko, 2012a,b, Voloshko, 2017). В состав рода входят как колониальные, так и одноклеточные виды. К колониальным представителям рода относятся наиболее распространенные виды *C. brevispina* Korschikov, *C. longispina* Lauterborn. Разновидности *C. coronacircumspina* Wujek et Kristiansen var. *coronacircumspina* и *C. coronacircumspina* var. *grandibasa* Balonov чаще встречаются одиночными клетками и могут соединяться в колонии от 2 до 6 клеток.

Молекулярно-генетические исследования позволили определить филогенетическое положение видов рода *Chrysophaerella* в кладе родов золотистых водорослей (Andersen, 2007; Škaloud et al., 2013). Также секвенирование морфологически сходных видов *C. brevispina* и *C. rotundata* Škaloudova et Škaloud, последний из которых отличается наличием трех типов чешуек (округлых и 2-х типов овальных), позволило предположить наличие скрытого разнообразия внутри рода *Chrysophaerella* (Škaloudova, Škaloud, 2013).

В работе представлены результаты флористических исследований, проведенных с применением электронной микроскопии, выполнена таксономическая ревизия рода *Chrysophaerella* в озерах, водохранилищах и реках Южного Урала в пределах различных физико-географических зон региона: лесной, лесостепной и степной. Описания выявленных видов составлены по оригинальным материалам и дополнены данными о распространении и типах местообитаний с экологическими характеристиками.

Первые сведения о золотистых водорослях Урала с применением методов электронной микроскопии (ЭМ) были получены для Полярного Урала, где в водоемах была выявлена достаточно разнообразная флора золотистых водорослей – 46 видов из 7 родов (Voloshko, 2007, 2009, 2010, 2012a, b, c, 2013; Voloshko et al., 2015). В более южных областях Урала, Среднем и Южном, специальные исследования хризофитовых начаты недавно (Snitko, et al., 2016; Snitko, Voloshko, 2017, 2018). Общий список видов хризофитовых водорослей (Chrysophyceae, Synurophyceae) Южного Урала после проведенной нами ревизии и инвентаризации составлял 16 видов из 4 родов *Chrysophaerella*, *Dinobryon*, *Mallomonas* и *Synura*. Из рода *Chrysophaerella* обнаружен 1 вид *C. brevispina* с обильным подледным развитием в пресноводном эвтрофном озере лесной зоны Южного Урала. Настоящим исследованием установлена встречаемость и границы распространения вида *C. brevispina* в пределах трех физико-географических зон Южного Урала, экологические условия развития вида и типы местообитаний в регионе.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом для настоящей работы послужили личные сборы авторов. Пробы планктона отбирались планктонной сетью с ячеей 14 мкм в диам. в 2015–2018 гг. в небольших озерах, водохранилищах и реках Южного Урала (табл.). Пробы отбирали круглогодично, большое внимание уделяли холодноводным периодам: зимнему и весеннему, сразу после таяния льда в апреле–мае. Собранные пробы фиксировались формалином (2%), часть проб доставляли в лабораторию живыми.

Изучение общей морфологии клеток золотистых водорослей, учет их численности в пробе и других сопутствующих видов фитопланктона производили в живых пробах с применением светового микроскопа Nikon Eclipse E600 с использованием объективов Nikon 60× и 40×. Изучение кремниевых чешуек и шипов, составляющих панцирь клетки, морфологии стоматоцист велись на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Tescan Vega 3Sbu при увеличении 2–20 × 10³. Для этого аликвоту стуженного планктона наносили на токопроводящий скотч и высушивали, напыление золотом производили с помощью ионно-плазменного напылителя Quorum Q150R ES. Кремниевый состав оболочки стоматоцист хризофитовых оценивали с помощью рентгено-спектрального микроанализатора Oxford Instruments X-act.

Обследованные водоемы расположены близ границ водоразделов трех крупнейших речных бассейнов: Обского или бассейна Северного ледовитого океана в части Исетского и Тобольского речных бассейнов, Волго-Камского и бассейна реки Урал. Обследованные озера и реки расположены на территории центральных водораздельных хребтов Южного Урала и в восточных предгорьях лесной, лесостепной и степной природных зон Южного Урала в пределах Челябинской и Оренбургской областей. Были обследованы небольшие, слабопроточные и мелководные озера и водохранилища,

пруды, реки. Ледостав на обследованных водоемах происходит в конце октября или начале ноября, сход льда отмечен в начале мая. В начальную часть ледостава и весной лед был слабо покрыт снегом, отмечались многочисленные открытые участки льда, что способствовало хорошей освещенности толщи воды. В местах сбора проб измеряли температуру воды, водородный показатель (рН), электропроводность (УЭП), также проводился отбор гидрохимических проб на отдельные показатели. Цветность воды колебалась в различные сезоны от 19° до 87° по Pt–Co шкале, значения рН изменялись в диапазоне 6.6–7.8, обследованные водоемы лесной зоны характеризовались более низкими показателями УЭП 55–369 мкСм см⁻¹. Водоемы степной зоны имели более высокие значения УЭП 180–708 мкСм см⁻¹ (табл.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В озерах, реках и водохранилищах Южного Урала идентифицированы 4 вида и разновидности хризифитовых водорослей из рода *Chryso-sphaerella*.

Род *CHRYSO-SPHAERELLA* Lauterborn 1896

Chryso-sphaerella brevispina Korschikov (*Chryso-sphaerella rhodei* Skuja) (рис. 1).

Колонии шаровидные, до 35 мкм в диаметре, в колонию входит до 10 клеток, встречаются колонии из 14 клеток. Клетки грушевидные, с двумя мелкими хлоропластами. Чешуйки овальные, двух типов: крупные, 2.9–4.0 мкм длиной и 1.4–2.5 мкм шириной, и мелкие, 1.7–1.8 мкм длиной и до 0.8–0.9 мкм шириной. В южноуральских популяциях *C. brevispina* размеры чешуек входят в указанные для вида диапазоны: крупные 3.1–3.6 мкм длиной и 2.2–2.4 мкм шириной, мелкие чешуйки 1.8–2.0 мкм длиной и 0.9–1.0 мкм шириной, встречаются более вытянутые чешуйки 4.0 мкм длиной и 2.1 мкм шириной. По краю чешуйки проходит утолщенная кромка, 0.25 мкм шириной, внутренний край которой с мелкачнейшим орнаментом, соединяется ближе к центру и ограничивает центральную бесструктурную область овальной формы. На клетке было расположено 10–12 прямых шипов, 19–22 мкм длиной, что входит в верхний диапазон, указанный для вида (11–24 мкм). Базальные пластинки у шипов расположены близко друг к другу, на расстоянии около 1 мкм. В степных водоемах южноуральских популяций *C. brevispina* отмечено более широкое расстояние между базальными пластинками шипа у некоторых встреченных особей, которое часто составляло 1.3–1.5 мкм, что было характерной особенностью степных южноуральских популяций вида. Длинный жгутик в 1.5 раза превышает длину клетки, короткий жгутик в 5 раз меньше длинного жгутика. Обнаруженные стоматоцисты *C. brevispina* в диаметре составляли 15 мкм (рис. 1).

Вид *C. brevispina* широко распространенный, космополит, часто встречается в планктоне пресных водоемов: в реках, озерах, водохранилищах, в сфагновых болотах, олиго-альфамезосапробный организм. На Севере России вид *C. brevispina* встречен в Ладожском озере и впадающих в него реках, Невской губе, Карелии, Верхней Волге, Вологодской области, Большеземельской тундре, Полярном Урале, на Таймыре, Чукотке, низовьях р. Енисей и бассейне р. Колыма. Условия обитания популяций вида Севера России: температура воды 11–22°C, рН 5.9–7.0, УЭП 19–107 мкСм см⁻¹, цветность 30–32° по Pt–Co шкале, фосфор минеральный 20–160 мкг л⁻¹.

В южных областях Урала вид *C. brevispina* имеет значительное распространение в широтном диапазоне от 51° до 57° северной широты. В азиатской части в лесной зоне восточных предгорий в водоемах Обского бассейна вид обнаружен: оз. Таватуй, речках Киалим, Сак-Елга, Сыростан, Тьелга и прудах р. Тьелга, Киалимском водохранилище, озерах бассейна реки Миасс – Ильменское, дериватах оз. Тургояк и оз. Миассово, оз. Кошкуль и Б. Таткуль. Вид *C. brevispina* обнаружен в водоемах горно-лесного пояса водораздельных хребтов Урал-тау и Таганай: в реке Ай, в водохранилищах Верхнейском, Златоустовском городском, Тесьминском, Малотесьминском (Волго-

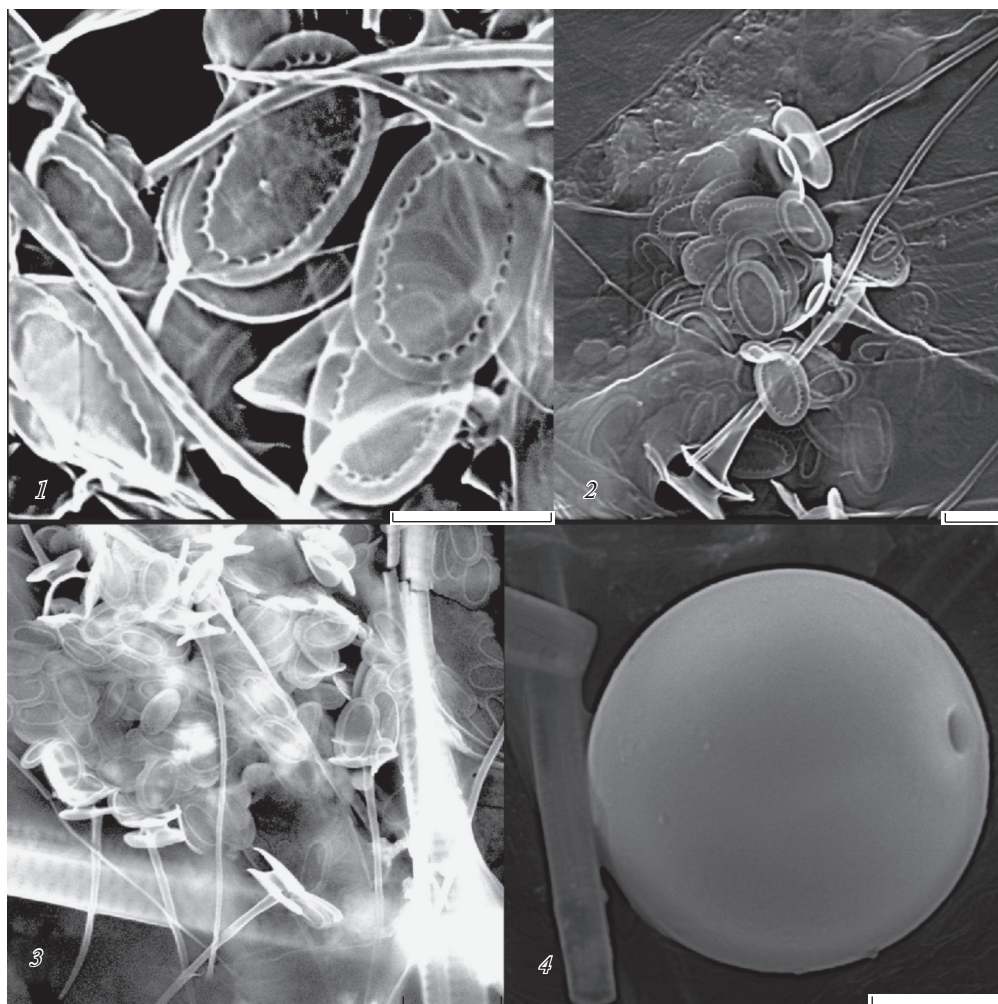


Рис. 1. *Chrysosphaerella brevispina* (СЭМ). 1 – чешуйки двух типов: мелкие овальные и крупные овальные с утолщенной кромкой и мелкочаеистым орнаментом. 2 – шипы с двойным базальным диском и чешуйки. 3 – шипы с двойным базальным диском различной длины, скопление чешуек. 4 – стоматоциста *C. brevispina*. Масштабные линейки: 1, 2 – 2 мкм; 3, 4 – 5 мкм.

Fig. 1. *Chrysosphaerella brevispina* (SEM). 1 – scales of two types: small oval scales and large oval scales with a thickened edge and finely cellular ornamentation. 2 – spines with double basal disc and scales. 3 – spines with double basal disc of different length, accumulation of scales. 4 – stomatocyst of *C. brevispina*. Scale bars: 1, 2 – 2 μm .; 3, 4 – 5 μm .

Камский бассейн). Вид *C. brevispina* обнаружен и в водоемах степной зоны Южного Урала Тобольского (Обского) речного бассейна: в пруду на притоке р. Синташта у пос. Бреды, в Чесменском пруду на р. Боровой, в пруду верхнего течения р. Камысты-Аят. В степной зоне вид обнаружен только весной после таяния снега в верховьях мелких речек, вытекающих из лесных колков, поскольку ниже по течению и в летний период происходит засоление и обмеление водотоков и прудов. В степных предгорьях Оренбуржья вид *C. brevispina* обнаружен в водотоках бассейна реки Урал: в истоках реки Орь – р. Кумак, р. Ушкота и Ушкотинском (Домбаровском) водохранилище (рис. 2).

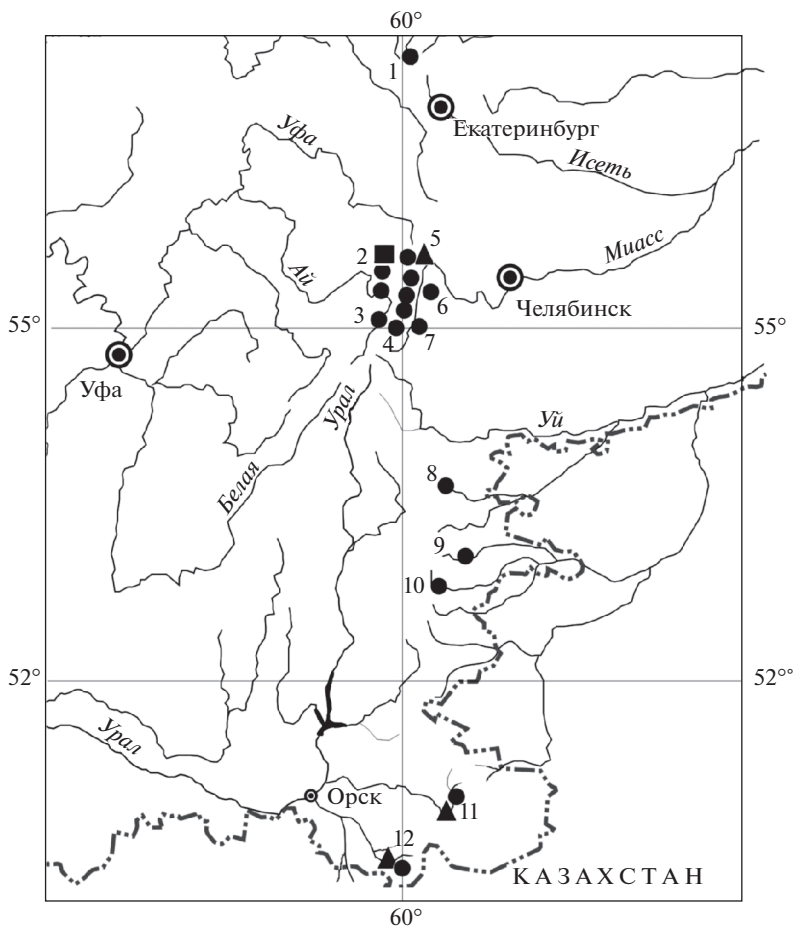


Рис. 2. Схема распространения видов рода *Chrysosphaerella* на Южном Урале.

● – *C. brevispina*; ▲ – *C. rotundata*; ■ – *C. coronacircumspina*.

1 – оз. Таватуй; 2 – вдхр. Тесьминское, вдхр. Малотесьминское; 3 – Златоустовский городской пруд, вдхр. Айское; 4–5 – водоемы восточных предгорий в бассейне р. Миасс: р. Сыростан, р. Сак-Елга, р. Тылга, пруд Тылга, р. Киалим, вдхр. Киалимское, оз. Кошкуль, дериваты оз. Тургойак; 6 – оз. Миассово, оз. Б. Таткуль; 7 – оз. Ильменское; 8 – Чесменский пруд на р. Боровая; 9 – пруд р. Камыстыаят; 10 – пруд р. Синтасшта; 11 – р. Кумак; 12 – р. Ушкота, вдхр. Ушкотинское.

Fig. 2. Distribution scheme of the genus *Chrysosphaerella* species in the South Urals.

● – *C. brevispina*; ▲ – *C. rotundata*; ■ – *C. coronacircumspina*.

1 – Tavatuy Lake; 2 – Tesminskoye and Malotesminskoye Reservoirs; 3 – Zlatoust city pond, Verkhneaiskoye Reservoir; 4–5 – waterbodies of the eastern foothills in the basin of the Miass River: Syrostan, Sak-Elga and Tyelga Rivers, Tyelga Pond, Kialim River and Reservoir, Koshkul Lake, derivatives of Turgoyak Lake; 6 – Miassovo Lake, Bolshoi Tatkul Lake; 7 – Ilmenskoye Lake; 8 – Chesmenskii Pond; 9 – pond of the Kamysty-Aayat River; 10 – pond of the Sintashta River; 11 – Kumak River; 12 – Uscota River, Ushkotynskoye Reservoir.

Экологические условия развития популяций вида *C. brevispina* на Южном Урале отличаются более широким диапазоном электропроводности воды, в отличие от местобитаний вида на севере России: УЭП 55–708 мкСм см⁻¹. Vegetация происходила при

температуре воды 2.4–17.0°C, pH 6.6–7.8, цветность воды менялась в диапазоне 19–87° по Pt–Co шкале, фосфор минеральный 14–140 мкг л⁻¹ (табл.).

Представители рода *Chryso-sphaerella* (*C. brevispina*) могут формировать популяции с высокой численностью в пресных озерах, прудах и водохранилищах Южного Урала. Отмечено обильное развитие *C. brevispina* подо льдом в малых лесных озерах: оз. Ильменское зимой 2014–2015 г. (численность до 117 тыс. кл./дм³ с максимумом в декабре в заболоченном заливе), оз. Кошкуль – 2015–2016, 2016–2017 гг. (численность 24–45 тыс. кл./дм³) при температуре воды 2.5–3.9°C. Вместе с *C. brevispina* в подледный период в этих водоемах с высоким обилием вегетировали другие представители золотистых водорослей с чешуйчатым панцирем из рода *Mallomonas*.

Chryso-sphaerella rotundata Škaloudova et Škaloud

Морфология недавно описанного вида (Škaloudova et Škaloud, 2013) отличается от таковой *C. brevispina* наличием трех типов чешуек: помимо крупных и мелких овальных чешуек, *C. rotundata* обладает третьим типом чешуек, характеризующимся округлым или почти округлым очертанием. Поскольку в первоначальном описании вида *C. brevispina* (Коршиков, 1942; Harris & Bradley, 1958) присутствуют только овальные формы чешуек, наличие круглых чешуек позволяют признать *C. brevispina* и *C. rotundata* в качестве двух отдельных видов. Существование *C. rotundata* подтверждается значительными генетическими различиями: секвенирование выявило заметное отличие генных последовательностей ITS rDNA штаммов *C. rotundata* и *C. brevispina* (Škaloudova, Škaloud, 2013). За последние десятилетия ITS rDNA стал единственным наиболее часто используемым маркером ДНК для оценки видового разнообразия в различных группах микроводорослей, включая хризофитовые водоросли (Wee et al. 2001, Kynčlová et al. 2010, Boo et al. 2010, Škaloud et al. 2012). Наблюдаемая дивергенция последовательностей как ITS1 rDNA (15.5%), так и ITS2 (12.5%) значительно выше или сопоставима с различиями, наблюдаемыми среди недавно описанных видов в комплексе *S. petersenii* Korschikov (Škaloud et al. 2012; Škaloudova, Škaloud, 2013). Скрытые виды могут существенно отличаться своей экологической нишей (Amato et al., 2007, Pfandl et al. 2009). Поэтому характеристика таких организмов во вновь обнаруженных местобитаниях, отделение от представителей вида в широком понимании, чрезвычайно важны, поскольку могут дать ключ к правильной интерпретации распределения, численности и биологии планктонных организмов.

Вид *C. rotundata* описан из озер Финляндии, обнаружен в водоемах Чешской Республики. В России вид отмечен в Восточной Сибири: в Байкальском регионе, озерах бассейна нижнего Енисея, Богучанском водохранилище, крупных озерах Якутии (Firsova et al., 2015; Bessudova et al., 2016; Bessudova et al., 2017; Bessudova, 2018).

Клетки сгруппированы в сферические колонии, отдельные клетки почти сферические 12–13 мкм в длину и 11 мкм в ширину, с 2 жгутиками. Клетки покрыты многочисленными чешуйками и шипами. Отчетливо выделяются три типа чешуек: крупные овальные, мелкие овальные, округлые крупные. Как крупные округлые, так и овальные чешуйки оснащены серией коротких гребней, образующих мелкоячеистый орнамент, который ограничивает центральную бесструктурную область. Наблюдается непрерывный переход в размерах чешуек: большинство чешуек крупные овальные по очертанию 2.9–4.0 × 1.4–2.5 мкм, а средний размер меньших овальных 1.5–1.7 × 1.2 мкм, что согласуется с размерами у *C. brevispina*. При общем морфологическом сходстве овальных чешуек обоих видов у *C. rotundata* они немного короче и шире. Крупные округлые чешуйки встречаются нечасто на поверхности клетки, но являются характерным признаком вида: их размеры 3.0–3.5 × 2.2–3.1 мкм. По оригинальным снимкам первоописаний вида (Škaloudova, Škaloud, 2013, fig. 5, p. 36) базальные пластинки у шипов расположены на расстоянии свыше 1 мкм: до 1.5 мкм. Также в первоописа-

нии отмечено наличие изменений толщины шипов, которое видно на наших снимках вида (рис. 3).

На Южном Урале вид отмечен в восточных предгорьях в лесной зоне в Киалимском водохранилище, а также в степной зоне в верховьях бассейна реки Урал: р. Кумак и Ушкотинском водохранилище (рис. 2).

Размеры чешуек найденных экземпляров следующие: крупные овальные $2.9\text{--}3.5 \times 1.4\text{--}2.3$ мкм, малые овальные $1.6\text{--}1.7 \times 1.1$ мкм, округлые чешуйки $2.6\text{--}2.7 \times 2.5$ мкм и $2.9\text{--}3.0 \times 3.2$ мкм; базальные пластинки у шипов расположены на расстоянии $1.4\text{--}1.6$ мкм, отмечена неравномерная толщина шипов (рис. 3).

Экологические условия развития популяций вида *C. rotundata* на Южном Урале были следующие: температура воды $12.0\text{--}15.0^\circ\text{C}$, pH $7.3\text{--}7.5$, УЭП $79\text{--}400$ мкСм см^{-1} (Табл.).

Chrysophaerella coronacircumspina et Kristiansen *Spiniferomonas coronacircumspina* (Wujek et Kristiansen) Nicholls).

Chrysophaerella coronacircumspina Wujek et Kristiansen var. *coronacircumspina*.

Клетки одиночные, широкоовальные, реже грушевидные, могут соединяться в небольшие колонии из 2–6 клеток. Чешуйки овальные, 2–3.5 мкм длиной, 1.5–2.5 мкм шириной, по краю чешуйки утолщенная бесструктурная кромка, на внутренней стороне кромки короткие ребра. Шипы прямые, на вершине раздвоенные, 10–16 мкм длиной, базальный диск шипа выпуклый, до 6 мкм в диаметре, основание шипа на выпуклой стороне базального диска окружает широкая складка.

Широко распространенная разновидность, но встречается не часто: в Европе, в Северной и Южной Америке, в Африке, Австралии, Новой Гвинее. В северной части России разновидность отмечена в Ладожском и Онежском озерах, Невской губе, в Карелии, Вологодской области, Большеземельской тундре, низовьях реки Енисей, полуострове Таймыр. Характеристика сапробности – олиго-бетамезосапробионт.

На Южном Урале разновидность обнаружена в водоемах Волго-Камского речного бассейна: р. Тесьма, Тесьминском и Малотесьминском водохранилищах, расположенных в горно-лесном поясе водораздельных хребтов Урал-тау и Таганай (рис. 2).

Представители разновидности имели одиночные клетки около 9 мкм в диаметре, широкоовальные; чешуйки овальные, $2.1\text{--}2.7 \times 1.3\text{--}1.6$ мкм, по краю чешуйки расположена утолщенная бесструктурная кромка, на внутренней стороне кромки короткие ребра. Шипы прямые, 10–11 мкм длиной, базальный диск шипа выпуклый, 3–4 мкм в диаметре (рис. 4).

Экологические условия развития популяций разновидности *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina* в Тесьминском и Малотесьминском водохранилищах на Южном Урале были следующие: температура воды $2.4\text{--}4.0^\circ\text{C}$, pH $7.4\text{--}7.5$, УЭП $55\text{--}57$ мкСм см^{-1} , цветность 19° по Pt–Co шкале, фосфор минеральный $14\text{--}17$ мкг л^{-1} (табл.).

Chrysophaerella coronacircumspina var. *grandibasa* Balonov 1979.

Клетки обычно одиночные, реже могут соединяться в небольшие колонии из 2–4 обратнойцевидных клеток, 6–9.3 мкм длиной, 8–12.5 мкм шириной. Чешуйки от овальных до почти округлых, 2.3–2.6 мкм длиной, 1.5–2.2 мкм шириной, с тонкой кромкой, короткими ребрами, которые ближе к центру ограничивают центральную бесструктурную область. На каждой клетке 4–7 конических шипов с раздвоенными концами, 4.2–7.8 мкм длиной, у основания шипа расположена крупная пора. Базальный диск, 3.8–5.9 мкм в диаметре, с широкой складкой на выпуклой стороне. Стоматисты шаровидные, 12.3–14.8 мкм в диаметре.

Редкая разновидность, на Севере России отмечена в планктоне озер Карелии, Ленинградской и Вологодской областей (Balonov, 1979; Safronova, 2012; Safronova, Voloshko, 2013).

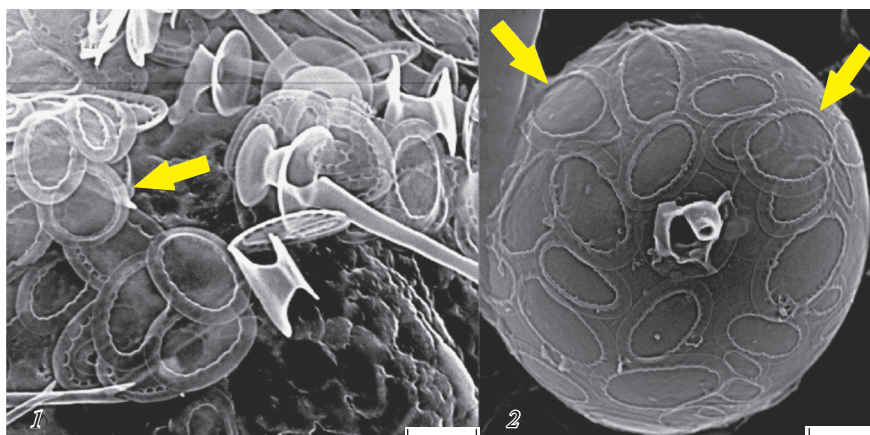


Рис. 3. *Chryso-sphaerella rotundata* (СЭМ). 1 – чешуйки трех типов: мелкие овальные, крупные овальные, круглая с утолщенной кромкой и мелкоячеистым орнаментом, шипы с двойным базальным диском и раздвоенным концом; 2 – клетка, покрытая чешуйками трех типов: мелкие овальные, крупные овальные, круглые; стрелкой указаны круглые и округлые чешуйки.

Масштабная линейка – 2 мкм.

Fig. 3. *Chryso-sphaerella rotundata* (SEM). 1 – scales of three types: small oval scales, large oval scales, circular scale with a thickened edge and finely cellular ornamentation, spines with double basal disc and bifurcated end; 2 – cell covered with scales of three types: small oval, large oval, circular; arrow shows circular scales.

Scale bar – 2 µm.

На Южном Урале разновидность также встречается редко: обнаружена в водоеме Волго-Камского речного бассейна Тесьминском водохранилище, расположенном в горно-лесном поясе водораздельных хребтов Урал-тау и Таганай; отмечена дважды (в период открытой воды и подо льдом).

Представители данной разновидности встречались одиночными клетками размером 9–10 мкм в диаметре; чешуйки овальные, размером 2.1–2.4 × 1.3–1.5 мкм, по

Рис. 4. Разновидности *Chryso-sphaerella coronacircumspina* (СЭМ).

1 – *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, клетка с девятью коническими короткими шипами; 2 – *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, клетка, покрытая овальными чешуйками и коническими шипами; масштабные линейки – 5 мкм.

3 – и 4 – *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, шипы с выпуклым двойным базальным диском и крупной порой у основания; стрелками указана крупная поры у основания диска. Масштабная линейка – 1 мкм.

5 – *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina*, шипы с двойным выпуклым базальным диском; масштабная линейка – 5 мкм;

6 – *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina*, овальные чешуйки.

Масштабная линейка – 2 мкм.

Fig. 4. Varieties of the species *Chryso-sphaerella coronacircumspina* (SEM).

1 – *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, cell with 9 short conical spines; 2 – *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, cell covered with oval scales and conical spines. Scale bars – 5 µm.

3, 4 – *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, spine with a convex double basal disc and a large hole at the base; the arrow shows the large hole at the base of the disc. Scale bar – 1 µm.

5 – *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina*, spine with a double convex basal disc. Scale bar – 5 µm.

6 – *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina*, oval scales.

Scale bar – 2 µm.

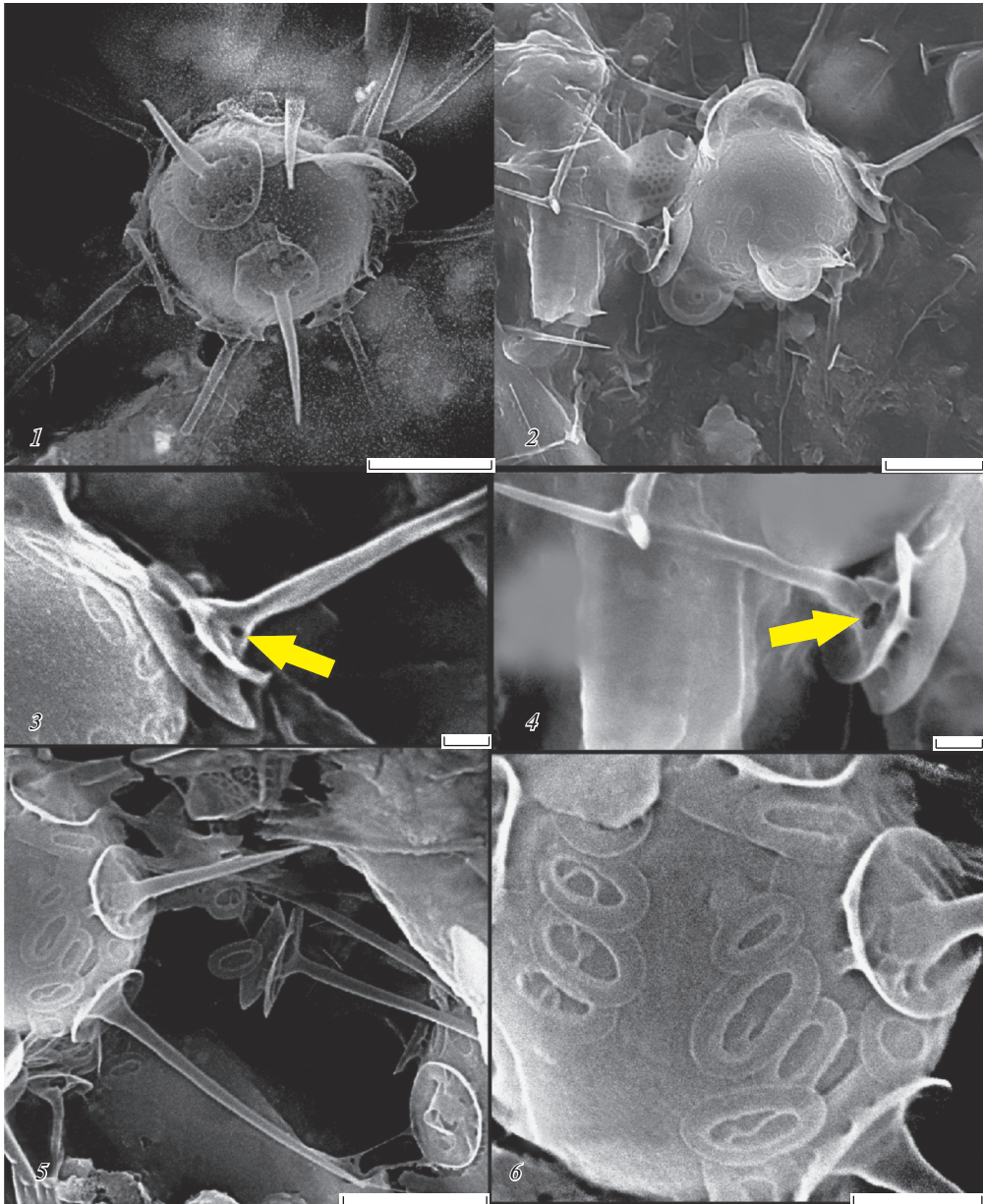


Таблица 1. Значения некоторых физико-химических показателей в водоемах Южного Урала
Table 1. The values of some physical and chemical parameters in the waterbodies of the South Urals

№	Озера, водохранилища, пруды и реки Lakes, reservoirs, ponds and rivers	Площадь, Area, km ²	Глубина Depth middle/ max, m	УЭП, Conduc- tivity, µS cm ⁻¹	рН	Фосфор ми- неральный Mineral phosphorus mg dm ⁻¹	Координаты Coordinates	
							N	E
Водоемы горно-лесной зоны Волго-Камского бассейна Waterbodies of the mountain forest zone of the Volga-Kama basin								
1	Верхнейское вдхр. Verkhneaiskoye Reservoir	1.3	3/10	195.6	7.4	30	55°04'32.5"	59°40'00.0"
2	Златоустовское вдхр. Zlatoustovskoye Reservoir	4.1	2/9	242.4	7.5	35	55°10'51.0"	59°41'57.5"
3	Тесьминское вдхр. Tesminskoye Reservoir	0.9	5/14	55.0	7.5	14	55°12'56.3"	59°45'53.4"
4	Малотесьминское вдхр. Malotesminskoye Reservoir	0.4	2/6	57.5	7.4	17	55°11'38.2"	59°45'22.0"
Водоемы восточных предгорий лесной зоны/Waterbodies of the eastern foothills of the forest zone								
5	Озеро Таватуй Tavatui Lake	21.2	6/9	215.0	7.5	—	57°09'51.3"	60°11'25.2"
6	Киалимское вдхр. Kialimskoye Reservoir	0.8	8/12	79.3	7.5	42	55°24'28.4"	60°08'02.0"
7	Река Киалим Kialim River	—	1/1	85.0	7.5	40	55°24'00.0"	60°09'07.2"
8	Река Сак-Елга Sak-Elga River	—	0.5/0.5	156.0	7.3	52	55°26'55.4"	60°10'11.0"
9	Река Тьелга Tuelga River	—	1/1	320.1	7.4	50	55°19'06.9"	60°10'33.1"
10	Пруд Тьелга Tuelga Pond	0.1	3/10	354.3	7.4	75	55°20'10.8"	60°11'40.3"
11	Озеро Тургойак дериват Turgoyak Lake derivatives	26.4	19/34	140.0	7.5	10–45	55°09'48.5"	60°00'30.0"
12	Озеро Кошкуль Koshkul Lake	0.3	2/4	190.0	7.2	45	55°01'00.0"	60°02'07.0"
13	Река Сыростан Syrostan River	—	0.3/0.5	185.2	7.4	71	55°07'06.0"	59°50'10.8"
14	Озеро Большой Таткуль Bolshoi Tatkul Lake	2.5	2/6	279.4	6.6	140–110	55°11'32.9"	60°17'11.0"
15	Озеро Миассово Miassovo Lake	22.5	3/25	220.0	7.8	25–90	55°09'00.5"	60°18'05.3"
16	Озеро Ильменское Ilmenskoye Lake	4.6	3/6	278.0– 369.1	7.4	49–98	55°00'31.6"	60°08'45.5"
Водоемы степной зоны/Waterbodies of the steppe zone								
17	Пруд Чесменский Chesmenskii Pond	0.2	1/1.5	640.5	7.1	—	53°48'02.2"	60°36'47.3"
18	Пруд р. Камысты-Аят Pond of the Kamysty-Ayat River	2.8	1/3	708.0	7.1	—	52°39'24.8"	60°25'23.4"
19	Пруд реки Синташта Pond of the Sintashta River	0.7	1/2	180.5	7.5	—	52°27'00.1"	60°18'24.0"
20	Река Кумак Kumak River	—	1/ 1.5	400.0	7.4	—	51°05'14.5"	60°08'19.0"
21	Ушкотинское вдхр. Ushkotynskoye Reservoir	1.9	1.5/2.5	370.5	7.3	—	50°43'44.3"	59°35'26.0"

краю чешуйки проходит тонкая кромка с короткими ребрами, кромка ограничивает центральную бесструктурную область чешуйки. На клетках прикреплены 7–10 конических шипов длиной 4.5–7.1 мкм длиной, у основания шипов расположена крупная пора. Базальный диск шипа выпуклый, 4.1–5.1 мкм в диаметре, с широкой складкой (рис. 4). Стоматоцисты не обнаружены.

Экологические условия развития популяций разновидности *C. coronacircumspina* var. *grandibasa* в Тесьминском водохранилище на Южном Урале были следующие: температура воды 2.4–2.7°C, pH 7.5, УЭП 55 мкСм см⁻¹, цветность 19° по Pt–Co шкале, фосфор минеральный 14 мкг л⁻¹ (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенными исследованиями установлено, что вид хризофитовых водорослей *C. brevispina* широко распространен в южноуральском регионе в различных физико-географических зонах, в водоемах и водотоках разного типа: в малых горных речках, прудах и водохранилищах, озерах малых мелких и средних, относительно глубоких, лесной и горно-лесной зоны, степных реках и прудах. Популяции вида *C. brevispina* на Южном Урале развивались в условиях более низких значений УЭП (55–369 мкСм см⁻¹) в водоемах лесной зоны и при более высоких показателях УЭП – в степной зоне (до 708 мкСм см⁻¹). В популяциях *C. brevispina* из степных водоемов наблюдали более широкое расстояние между базальными пластинами шипов 1.3–1.5 мкм. Вид был отмечен при температуре воды 2.4–17.0°C, pH 6.6–7.8, однако большего обилия достигал при низких температурах 2.4–3.9°C. Представители рода *Chrysosphaerella* могут формировать популяции с высоким обилием в пресных водоемах Южного Урала в подледный период.

Широко распространенный вид *C. longispina* не был обнаружен при настоящем исследовании в водоемах южноуральского региона.

Разновидность *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina* отмечена зимой в двух водохранилищах в верховьях горных рек, текущих с водораздельных хребтов Южного Урала, в условиях особо охраняемой природной территории горно-лесной зоны.

Редкая разновидность *C. coronacircumspina* var. *grandibasa*, обнаруженная ранее только в озерах Карелии и Ленинградской области, была отмечена дважды в одном горно-лесном водоеме вместе с типичной формой в подледный период, а также в период открытой воды в конце весны.

Обе разновидности *C. coronacircumspina* были обнаружены в олиготрофных условиях, которые сохраняются в данных водоемах круглогодично, при низкой цветности 19° по Pt–Co шкале, низкой УЭП 55 мкСм см⁻¹, нейтральном водородном показателе pH 7.4–7.5.

Среди представителей рода были отмечены индикаторы слабого загрязнения вод – олиго-альфамезосапробионт *C. brevispina*, олиго-бетамезосапробионт *C. coronacircumspina* var. *coronacircumspina*. Полученные результаты дополняют сведения о флоре хризофитовых водорослей Южного Урала и могут использоваться в экологическом мониторинге водоемов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статья выполнена в рамках государственного задания по плановой теме лаб. Альгологии БИН РАН: АААА–А18–118030790036–0 и в рамках плановой темы биологического отдела Ильменского государственного заповедника УрО РАН № 0432–2019–0001.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Amato A., Kooistra W.H.C.F., Ghiron J.H.L., Mann D.G., Pröschold T., Montresor M. (2007) Reproductive isolation among sympatric cryptic species in marine diatoms. — *Protist*. 158: 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2006.10.001>
- Andersen R.A. 2007. Molecular systematics of the *Chrysophyceae* and *Synurophyceae*. In: Unraveling the algae, the past, present, and future of algal systematics. London, New York. P. 285–314.
- [Balonov] Баллонов И.М. 1979. Золотистые водоросли семейства *Synuraceae* Lemm. водоемов Карелии. — Труды инст. Биол. внутр. вод АН СССР. 42 (45): 3–26.
- Boo S.M., Kim H.S., Shin W., Boo G.H. et al. 2010. Complex phylogeographic patterns in the freshwater alga *Synura* provide new insights into ubiquity vs endemism in microbial Eukaryotes. — *Mol. Ecol.* 19: 4328–4338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04813.x>
- [Bessudova, Firsova, Sorokovikova, Tomberg] Бессудова А. Ю., Фирсова А. Д., Сороковикова И.В., Томберг И.В. 2016. Чешуйчатые золотистые водоросли бассейна Нижнего Енисея и залива Карского моря с элементами аутоэкологии. Иркутск. 110 с.
- Firsova A.D., Bessudova A.Iu., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Likhoshway Ye.V. 2015. The diversity of chrysophycean algae in an arctic zone of river and sea water mixing, Russia. — *American Journ. of Plant Sciences*. 6: 2439–2452 (In Eng.). <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.615246>
- Bessudova A.Iu., Domysheva V.M., Firsova A.D., Likhoshway Y.V. 2017. Silica-scaled chrysophytes of Lake Baikal. — *Acta Biologica Sibirica*. 3 (3): 47–56 (In Eng.). <https://doi.org/10.14258/abs.v3i4.3637>
- [Bessudova] Бессудова А.Ю. 2018. Чешуйчатые хризофитовые в разнотипных водоемах Восточной Сибири: Автореф. ... канд. биол. наук. Томск. 21 с.
- Harris K. & Bradley D.E. 1958. Some unusual Chrysophyceae studied in the electron microscope. — *Journ. of General Microbiology*. 18: 71–83 (In Eng.).
- Korshikov A.Å. 1942. On some new or little known Flagellates. — *Archiv Protistenkunde*. 95 (1): 22–44 (In Eng.).
- Kristiansen J., Preisig H.R. 2007. Chrysophyceae and Haptophyceae. Т. 2. Synurophyceae. — В кн.: *Susswasserflora von Mitteleuropa*. V. 1/2. Copenhagen, Denmark. 121 p.
- Kristiansen J., Tong. D. 1989. *Chrysosphaerella annulata* n. sp., a new scale-bearing Chrysophyte. — *Nordic Journ. of Botany*. 9: 329–332.
- Kristiansen J., Düwel L., Wegeberg S. 1997. Silica-scaled chrysophytes from the Taymyr Peninsula, Northern Siberia. — *Nova Hedwigia*. 65: 337–351.
- Kynčlová A. Škaloud P., Škaloudova M. 2010. Unveiling hidden diversity in the *Synura petersenii* species complex (Synurophyceae, Heterokontophyta). — *Nova Hedwigia*. 136: 283–298. <https://doi.org/10.1127/1438-9134/2010/0136-0283>
- Pfandl K., Chatzinotas A., Dyal P., Boenigk J. (2009) SSU rRNA gene variation resolves population heterogeneity and ecophysiological differentiation within a morphospecies (Stramenopiles, Chrysophyceae). — *Limnology and Oceanography*. 54: 171–181.
- [Safronova] Сафронова Т.В. 2012. Новые для флоры Ленинградской области и России виды Chrysophyta. — *Новости сист. низш. раст.* 46: 60–67.
- Safronova T.V., Voloshko L.N. 2013. Silica-scaled chrysophytes in the waterbodies of protected areas of the North-West of Russia. — *Nova Hedwigia, Beih.* 142: 97–116 (In Eng.).
- Siver P.A. 1993. Morphological and ecological characteristics of *Chrysosphaerella longispina* and *C. brevispina* (Chrysophyceae). — *Nordic Journ. of Botany*. 13: 343–351 (In Eng.).
- Škaloudova M., Škaloudov P. 2013. A new species of *Chrysosphaerella* (Chrysophyceae: Chromulinales), *Chrysosphaerella rotundata* sp. nov., from Finland. — *Phytotaxa*. 130 (1): 34–42. (In Eng.). <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.130.1.4>
- Škaloud P., Kynčlová A., Behada O., Kofronová O., Škaloudova M. 2012. Toward a revision of the genus *Synura*, section *Petersenianae* (Synurophyceae, Heterokontophyta): morphological characterization of six pseudo-cryptic species. — *Phycologia*. 51: 303–329. <https://doi.org/10.2216/11-20.1>
- Škaloud P., Kristiansen J., Škaloudova M. 2013. Developments in the taxonomy of silica-scaled chrysophytes – from morphological and ultrastructural to molecular approaches. — *Nordic Journ. of Botany*. 31: 385–402. (In Eng.). <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2013.00119.x>
- [Snitko, Snitko, Blinov, Voloshko] Снитько Л.В., Снитько В.П., Блинов И.А., Волошко Л.Н. 2016. Золотистые водоросли (Chrysophyceae, Synurophyceae) в водоемах Восточных предгорий Южного и Среднего Урала. — *Бот. журн.* 101 (12): 1361–1378.
- [Snitko, Voloshko] Снитько Л.В., Волошко Л.Н. 2017. Золотистые водоросли (Chrysophyceae, Synurophyceae) в подледном планктоне озер восточных предгорий Южного Урала. — В сб.: *Материалы III Междунар. конф. “Биоиндикация в мониторинге пресноводных экосистем”*. СПб. С. 301–304.

[Snitko, Voloshko] Снитко Л.В., Волошко Л.Н. 2018. О находках стоматоцист золотистых водорослей (Chrysophyceae, Synurophyceae) на Южном Урале. — В сб.: Материалы IV Всерос. конф. “Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге”. С.-Петербург. С. 422–426.

Starmach K. 1985. Chrysophyceae und Haptophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart. 515 p. (In Germ.).

Takahashi E. 1973. Studies on genera *Mallomonas* and *Synura*, and other plankton in freshwater with the electron microscope. VII. New genus *Spiniferomonas* of the Synuraceae (Chrysophyceae). — The Bot. Magazine Tokyo Journ. 86: 75–88.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2007. Золотистые водоросли. — В кн.: Биоразнообразие экосистем полярного Урала. Сыктывкар. С. 57–69.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2009. Новые таксоны рода *Mallomonas* (Chrysophyta, Synurophyceae) в озерах Полярного Урала. — Бот. журн. 94 (7): 1068–1076.

Voloshko L.N. 2010. The chrysophycean algae from glacial lakes of Polar Ural (Russia). — Nova Hedwigia, Beih. 136: 191–212 (In Eng.).

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2012а. Хризофитовые (Chrysophyceae, Synurophyceae) водоемов Севера России: Автореф. ... докт. биол. наук. СПб. 43 с.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2012б. Хризофитовые (Chrysophyceae, Synurophyceae) водоемов Севера России: Дис. ... докт. биол. наук. СПб. 373 с.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2012с. Новые таксоны рода *Mallomonas* (Chrysophyta, Synurophyceae) в Воркутинской тундре. — Бот. журн. 97 (9): 1090–1098.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2013. Виды рода *Spiniferomonas* (Chrysophyceae, Paraphysomonada-ceae) в водоемах Севера России. — Бот. журн. 98 (7): 848–858.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2016. Золотистые водоросли водоемов Севера России. Род *Chryso-sphaerella*. — Бот. журн. 101 (7): 753–776.

[Voloshko] Волошко Л.Н. 2017. Золотистые водоросли водоемов Севера России. СПб. 380 с.

[Voloshko, Safronova, Shadrina] Волошко Л.Н., Сафронова Т.В., Шадрина С.Н. 2015. Виды рода *Ochromonas* (Chrysophyta, Chromulinaceae) в водоемах Ленинградской области. — Бот. журн. 100 (5): 452–459.

Wee J.L., Fasone L.D., Sattler A., Starks W.W., Hurley D.L. 2001. ITS/5.8S DNA sequence variation in 15 isolates of *Synura petersenii* Korshikov (Synurophyceae). — Nova Hedwigia, Beih. 122: 245–258.

CHRYSOPHYCEAN ALGAE IN WATERBODIES OF THE SOUTH URALS. GENUS *CHRYSOSPHAERELLA* (PARAPHYSOMONADACEAE)

L. V. Snitko^{a, #}, V. P. Snitko^a, I. A. Blinov^b, and L. N. Voloshko^c

^a Ilmen State Reserve

Miass, Chelyabinsk region, 456317, Russia

^b Institute of Mineralogy, Ural Branch RAS

Miass, Chelyabinsk region, 456317, Russia

^c Komarov Botanical Institute RAS

Prof. Popov Str. 2, St. Petersburg, 197376, Russia

[#]e-mail: lvs223@yandex.ru

The distribution of taxa of the genus *Chryso-sphaerella* Lauterborn in the waterbodies of different physiographical zones of the South Urals is revealed. The species *C. rotundata* and *C. coronacircumspina* are first recorded in the Urals; a rare variety *C. coronacircumspina* var. *grandibasa* Balonov is found, and its environmental conditions are described. The high occurrence of *C. brevispina* in all types of the waterbodies was revealed, the presence of its intraspecific morphological variability in steppe habitats is discussed. The descriptions of the detected species are based on original descriptions and the results of subsequent revisions, taking into account the electron microscopy data, and supplemented with original information about their localities, distribution and ecology in the study region. All the species are illustrated by electronic microphotographs, including details of the structure of cells and stomatocysts. The obtained results add to information about the flora of the chrysophycean algae of Russia, and can be used in botanical and ecological monitoring of waterbodies.

Keywords: Chrysophyceae, *Chryso-sphaerella*, taxonomy, distribution, ecology, South Urals

ACKNOWLEDGEMENTS

The article is made within the framework of the institutional research project of the Laboratory of Algology of the Komarov Botanical Institute RAS № AAA 18-118030790036-0, and the planned theme of Biological division of Ilmen State Reserve № 0432-2019-0001.

REFERENCES

- Amato A., Kooistra W.H.C.F., Ghiron J.H.L., Mann D.G., Pröschold T., Montresor M. 2007. Reproductive isolation among sympatric cryptic species in marine diatoms. — *Protist*. 158: 193–207. <https://doi.org/10.1016/j.protis.2006.10.001>
- Andersen R.A. 2007. Molecular systematics of the Chrysophyceae and Synurophyceae. — In: *Unravelling the algae, the past, present, and future of algal systematics*. London, New York. P. 285–314.
- Balonov I.M. 1979. Chrysophycean algae family Synuraceae Lemm. in water bodies of Karelia. — *Trudy inst. biol. vnurtr. vod.* 42 (45): 3–26.
- Boo S.M., Kim H.S., Shin W., Boo G.H. et al. 2010. Complex phylogeographic patterns in the freshwater alga *Synura* provide new insights into ubiquity vs endemism in microbial Eukaryotes. — *Mol. Ecol.* 19: 4328–4338. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2010.04813.x>
- Bessudova A.Iu., Firsova A.D., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V. 2016. Silica-scaled chrysophytes of the Lower Yenisei basin and the Kara sea bays with elements of autoecology. Irkutsk. 110 p. (In Russ.).
- Firsova A.D., Bessudova A.Iu., Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Likhoshway Ye.V. 2015. The diversity of chrysophycean algae in an arctic zone of river and sea water mixing, Russia. — *American Journ. of Plant Sciences*. 6: 2439–2452. <https://doi.org/10.4236/ajps.2015.615246>
- Bessudova A.Iu., Domysheva V.M., Firsova A. D., Likhoshway Y.V. 2017. Silica-scaled chrysophytes of Lake Baikal. — *Acta Biologica Sibirica*. 3 (3): 47–56. <https://doi.org/10.14258/abs.v3i4.3637>
- Bessudova A.Iu. 2018. Silica-scaled Chrysophytes in the different types of reservoirs in Eastern Siberia: Abstr. ... Diss. Doct. Sci. Tomsk. 21 p. (In Russ.).
- Harris K., Bradley D.E. 1958. Some unusual Chrysophyceae studied in the electron microscope. — *Journal of General Microbiology*. 18: 71–83.
- Korshikov A.Ä. 1942. On some new or little-known Flagellates. — *Archiv Protistenkunde*. 95 (1): 22–44.
- Kristiansen J., Preisig H.R. 2007. Chrysophyceae and Haptophyceae. T. 2. Synurophyceae. — In: *Susswasserflora von Mitteleuropa*. V. 1/2. Copenhagen, Denmark. 121 p.
- Kristiansen J., Tong. D. 1989. *Chryso-sphaerella annulata* n. sp., a new scale-bearing chrysophyte. — *Nordic Journal of Botany*. 9: 329–332.
- Kristiansen J., Düwel L., Wegeberg S. 1997. Silica-scaled chrysophytes from the Taymyr Peninsula, Northern Siberia. — *Nova Hedwigia*. 65: 337–351.
- Kynčlová A., Škaloud P., Škaloudova M. 2010. Unveiling hidden diversity in the *Synura petersenii* species complex (Synurophyceae, Heterokontophyta). — *Nova Hedwigia*. 136: 283–298. <https://doi.org/10.1127/1438-9134/2010/0136-0283>
- Pfandl K., Chatzinotas A., Dyal P., Boenigk J. 2009. SSU rRNA gene variation resolves population heterogeneity and ecophysiological differentiation within a morphospecies (Stramenopiles, Chrysophyceae). — *Limnology and Oceanography*. 54: 171–181. <https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.1.0171>
- Safronova T.V. 2012. New species of Chrysophyta for the flora of the Leningrad region and Russia. — *Novosti syst. nizsh. rast.* 46: 60–67 (In Russ.).
- Safronova T.V., Voloshko L.N. 2013. Silica-scaled chrysophytes in the waterbodies of protected areas of the North-West of Russia. — *Nova Hedwigia, Beih.* 142: 97–116.
- Siver P.A. 1993. Morphological and ecological characteristics of *Chryso-sphaerella longispina* and *C. brevispina* (Chrysophyceae). — *Nordic Journal of Botany*. 13: 343–351.

Škaloudova M., Škaloud P. 2013. A new species of *Chryso-sphaerella* (Chryso-phyceae: Chromulinales), *Chryso-sphaerella rotundata* sp. nov., from Finland. — *Phytotaxa*. 130 (1): 34–42 (In Eng.). <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.130.1.4>

Škaloud P., Kynčlová A., Behada O., Kofronová O., Škaloudova M. 2012. Toward a revision of the genus *Synura*, section *Petersenianae* (Synurophyceae, Heterokontophyta): morphological characterization of six pseudo-cryptic species. — *Phycologia*. 51: 303–329. <https://doi.org/10.2216/11-20.1>

Škaloud P., Kristiansen J., Škaloudova M. 2013. Developments in the taxonomy of silica-scaled chrysophytes – from morphological and ultrastructural to molecular approaches. — *Nordic Journal of Botany*. 31: 385–402. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.2013.00119.x>.

Snitko L.V., Snitko V.P., Blinov I.A., Voloshko L.N. 2016. Chryso-phycean algae (Chryso-phyceae, Synurophyceae) in waterbodies of the Eastern foothills of the South and Middle Urals. — *Botanicheskii Zhurnal*. 101 (12): 1361–1378 (In Russ.).

Snitko L.V., Voloshko L.N. 2017. Chryso-phycean algae (Chryso-phyceae, Synurophyceae) in the under ice in lakes of the Eastern foothills of the South Urals. — In: Bioindication in monitoring of freshwater ecosystems. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. St. Petersburg. 301–304 (In Russ.).

Snitko L.V., Voloshko L.N. 2018. On the findings of a stomatocysts of chryso-phycean algae (Chryso-phyceae, Synurophyceae) in the South Urals. — In: Algae: problems of taxonomy, ecology and use in monitoring. Materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii. St. Petersburg. 422–426 (In Russ.).

Starmach K. 1985. Chryso-phyceae und Haptophyceae. Süßwasserflora von Mitteleuropa. Stuttgart. 515 p. (In Germ.).

Takahashi E. 1973. Studies on genera *Mallomonas* and *Synura*, and other plankton in freshwater with the electron microscope. VII. New genus *Spiniferomonas* of the Synuraceae (Chryso-phyceae). The Botan. Magazine Tokyo Journ. 86: 75–88.

Voloshko L.N. 2007. Chryso-phycean algae. — In: Biodiversity Ecosystem of the Polar Ural. Syktyvkar. Russia. P. 57–69 (In Russ.).

Voloshko L.N. 2009. New taxa the genus *Mallomonas* (Chryso-phyta, Synurophyceae) of the Polar Ural lakes. — *Botanicheskii Zhurnal*. 94 (7): 1068–1076 (In Russ.).

Voloshko L.N. 2010. The chryso-phycean algae from glacial lakes of Polar Ural (Russia). — *Nova Hedwigia*, Beih. 136: 191–212.

Voloshko L.N. 2012a. Chryso-phytes (Chryso-phyceae, Synurophyceae) in water bodies of the Russian North: Abstr. ... Diss. Doct. Sci. St. Petersburg. 43 p. (In Russ.).

Voloshko L.N. 2012b. Chryso-phytes (Chryso-phyceae, Synurophyceae) in water bodies of the Russian North: Diss. ... Doct. Sci. St. Petersburg. 373 p. (In Russ.).

Voloshko L.N. 2012c. New species of the genus *Mallomonas* (Chryso-phyta, Synurophyceae) from ponds of Vokkuta tundra. — *Botanicheskii Zhurnal*. 97 (9): 1090–1098 (In Russ.).

Voloshko L.N. 2013. Species of the genus *Spiniferomonas* (Chryso-phyceae, Paraphysomonadaceae) in water bodies of the Russian North. — *Botanicheskii Zhurnal*. 98 (7): 848–858 (In Russ.).

Voloshko L.N. 2016. Chryso-phycean algae in waterbodies of the Northern Russia. Genus *Chryso-sphaerella*. — *Botanicheskii Zhurnal*. 101 (7): 753–776 (In Russ.).

Voloshko L.N. 2017. Chryso-phycean Algae in Water Bodies of the Northern Russia. St. Peterburg. 380 p. (In Russ.).

Voloshko L.N., Safronova T.V., Shadrina S.N. 2015. *Ochromonas* species (Chryso-phyta, Chromulinales) in water bodies of Leningrad region. — *Botanicheskii Zhurnal*. 100 (5): 452–459 (In Russ.).

Wee J.L., Fasone L.D., Sattler A., Starks W.W., Hurley D.L. 2001. ITS/5.8S DNA sequence variation in 15 isolates of *Synura petersenii* Korshikov (Synurophyceae). — *Nova Hedwigia*, Beih. 122: 245–258.