

**Летний планктон высокогорного озера Джулукуль (Алтай, Россия)  
в августе 2020 г.**

**Summer plankton of high mountain Lake Dzhulukul (Altai, Russia) in August 2020**

Митрофанова Е. Ю.<sup>1</sup>, Генкал С. И.<sup>2</sup>, Воробьев Р. И.<sup>3</sup>

Mitrofanova E. Yu.<sup>1</sup>, Genkal S. I.<sup>2</sup>, Vorobiev R. I.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия. E-mail: mitelena-09@mail.ru

<sup>1</sup>Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russia

<sup>2</sup>Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия. E-mail: genkal47@mail.ru

<sup>2</sup>Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Russia

<sup>3</sup>Алтайский государственный природный биосферный заповедник, г. Горно-Алтайск, Россия. E-mail: zazerkalie04@yandex.ru

<sup>3</sup>Altai State Nature Biosphere Reserve, Gorno-Altai, Russia

**Реферат.** В августе 2020 г. исследован состав летнего фитопланктона высокогорного оз. Джулукуль, расположенного в горах Алтая в истоке р. Чулышмана. При электронно-микроскопическом изучении проб фитопланктона выявлены водоросли из четырех отделов – золотистые, диатомовые, зеленые и эвгленовые, которые дополнили список водорослей озера. Впервые для альгофлоры водоема выявлены разнообразные по форме и структуре поверхности стоматоцисты золотистых водорослей.

**Ключевые слова.** Диатомовые, зеленые, золотистые, и эвгленовые водоросли, озеро Джулукуль, планктон, состав, стоматоцисты.

**Summary.** The summer phytoplankton composition of high mountain Lake Dzhulukul located in Altai Mountains at the source of Chulyshman River was studied in August 2020. Under the electron microscopic examination of the phytoplankton samples algae from four taxa groups – Chrysophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta and Euglenophyta were revealed, that has been supplemented the list of algae for the lake. Stomatocysts of chrysophycean algae various in shape and structure have been revealed firstly for the lake algaflora.

**Key words.** Bacillariophyta, Chlorophyta, Chrysophyta, and Euglenophyta, composition, Lake Dzhulukul, plankton, stomatocysts.

Озеро Джулукуль входит в единую водную систему «оз. Джулукуль → р. Чулышман → Телецкое озеро → р. Бия + р. Катунь → р. Обь», т.е. данный водоем находится в истоке великой сибирской реки Обь, основной водной артерии Западной Сибири. Озеро расположено в одноименной котловине Юго-Восточного Алтая на высоте 2200 м над ур. м., в верховье р. Чулышмана, основного притока Телецкого озера. Длина озера составляет около 10 км, глубина – 7–9 м, площадь водного зеркала – около 30 км<sup>2</sup>. С октября по май на озере сохраняется ледовый покров. Озеро Джулукуль – одно из 1190 озер, отмеченных на территории Алтайского государственного природного биосферного заповедника (Заповедники Сибири ..., 1999). Незначительное количество сведений об этом озере объясняется его трудной доступностью (Skvortzow, 1929). На современном этапе изучение фитопланктона озера началось в августе 2000 г. (Попов и др., 2003). В озере был выявлен разнообразный по составу фитопланктон, в котором преобладали зеленые (47 видов), диатомовые (34) водоросли и цианобактерии (23 видов). Среди зеленых встречены как хлорококковые – одноклеточные или собранные в небольшие ценобии, обычные обитатели планктона, так и десмидиевые из р. *Cosmarium* – обитатели дна и индикаторы заболоченности территории (Митрофанова, 2003).

В настоящем исследовании качественный состав планктона озера был проанализирован по прогам, отобраным в августе 2020 г. в трех точках акватории: (верх (точка 1), середина (точка 2) и низовье озера (точка 3)), а также в вытекающем водотоке, р. Чулышмане (точка 4). Пробы исследовали с помо-

щью SEM Hitachi S-3400N (Japan) (ЦКП ИВЭП СО РАН) (рис. 1а), предварительно подвергнув первичной пробоподготовке (фильтрация, промывка в 96%-м спирте, высушивание, напыление). В результате в пробах сохранились биообъекты с кремнистыми панцирями или плотными клеточными стенками.

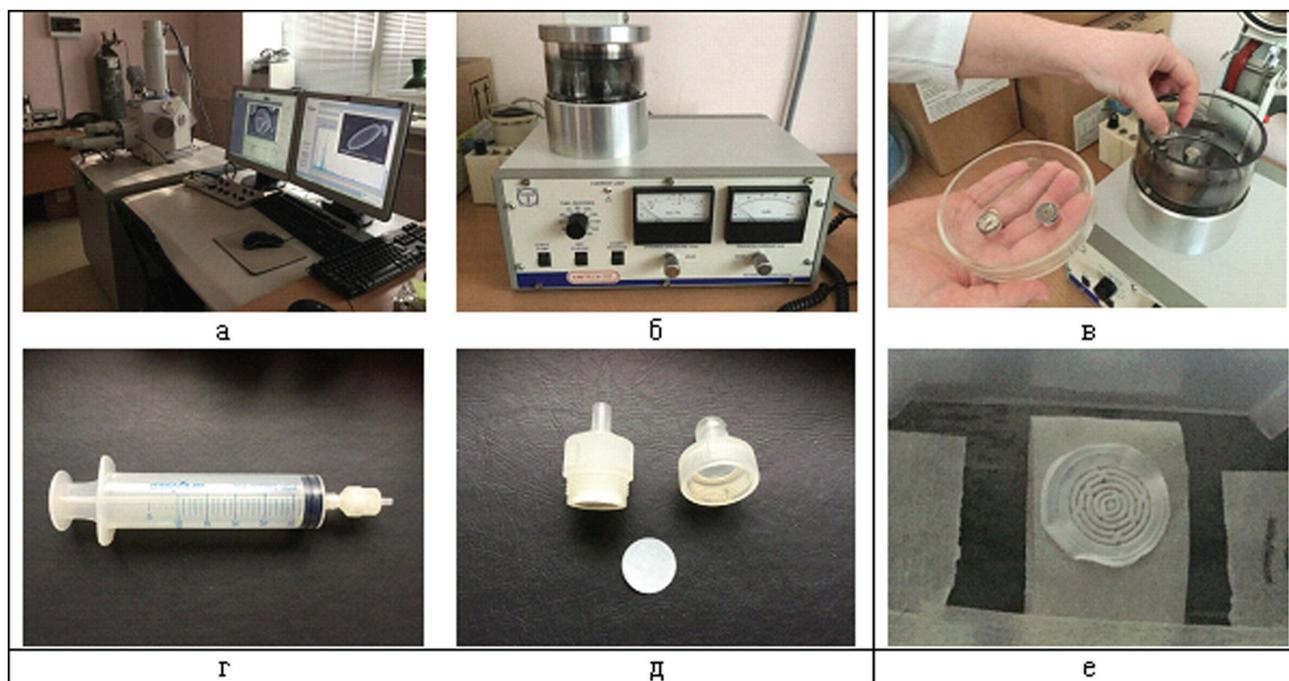


Рис. 1. Материалы и оборудование для подготовке и обработке проб фитопланктона: электронный сканирующий микроскоп Hitachi S-3400N (Japan) (а), установка для напыления золото-палладиевым сплавом (б–в), шприц (г), фильтродержатель (д) и фильтр (е).

В полевых условиях пробы сгущали с помощью шприца объемом 50 мл с креплением Luer Lock (рис. 1г) и фильтродержателем (рис. 1д) на фильтры Millipore диаметром 10 мм с порами около 0,7 мкм (рис. 1е). Объем профильтрованных проб составлял около 30 мл. После фильтрации фильтры с пробами промывали 70%-м этиловым спиртом, не вынимая из фильтродержателя, затем высушивали, наклеивали с помощью двустороннего скотча на «столики» для электронного микроскопирования, напыляли золото-палладиевым сплавом (рис. 1б–в) и изучали на СЭМ. Для идентификации видовой принадлежности водорослей использовали традиционные определители (Забелина и др., 1951; Диатомовые водоросли ..., 1988, 1992; Куликовский и др., 2016) и Атласы (Хурсевич, 1989; Hartley, 1996), а также международные базы данных (Guiry M. D., Guiry G. M. 2021).

Планктон оз. Джулукуля был разнообразный, несмотря на специфичность пробоподготовки и сохранность лишь отдельных типов водорослей (кремнийсодержащих и с плотной кутикулой). Выявлены водоросли из золотистых, диатомовых, эвгленовых и зеленых водорослей. Только различных морфотипов стоматоцист золотистых водорослей было найдено около 80, причем лишь 11 из них были встречены на каждом из обследованных участков водоема – верх, середина и низ озера. Это были стоматоцисты сферической формы, в основном – с гладкой поверхностью (рис. 2а–з), с небольшой шероховатостью в виде крапинок (рис. 2и), кратеров и небольших шипиков (рис. 2к) и отростков (рис. 2л). У части стоматоцист воротничок вокруг отверстия отсутствовал (рис. 2а–б), у других он был невысокий в виде кольца (рис. 2в–д, к), у третьих высота его была немного меньше диаметра (рис. 2е–ж, л), а у одного морфотипа высота воротничка превышала его диаметр в 2–3 раза (рис. 2з). Остальные морфотипы стоматоцист встречались на одном-двух участках озера, но были более разнообразны по форме (сферические и неправильной формы), структуре поверхности (гладкие, шероховатые, с сосочками, отростками, гребнями, кратерами), форме и длине воротничка (прямые, изогнутые, раструбом и суживающиеся). Большое разнообразие морфотипов стоматоцист золотистых водорослей может свидетельствовать о значительном разнообразии водорослей данного отдела, которые часто «просматриваются» при исследовании в световой микроскоп. В 2000–2002 гг. при изучении фитопланктона озера из 122 выявленных видов водорослей на отдел Chrysophyta приходилось всего 5 видов, что составило 4,1 % от общего состава (Митрофанова, 2003).

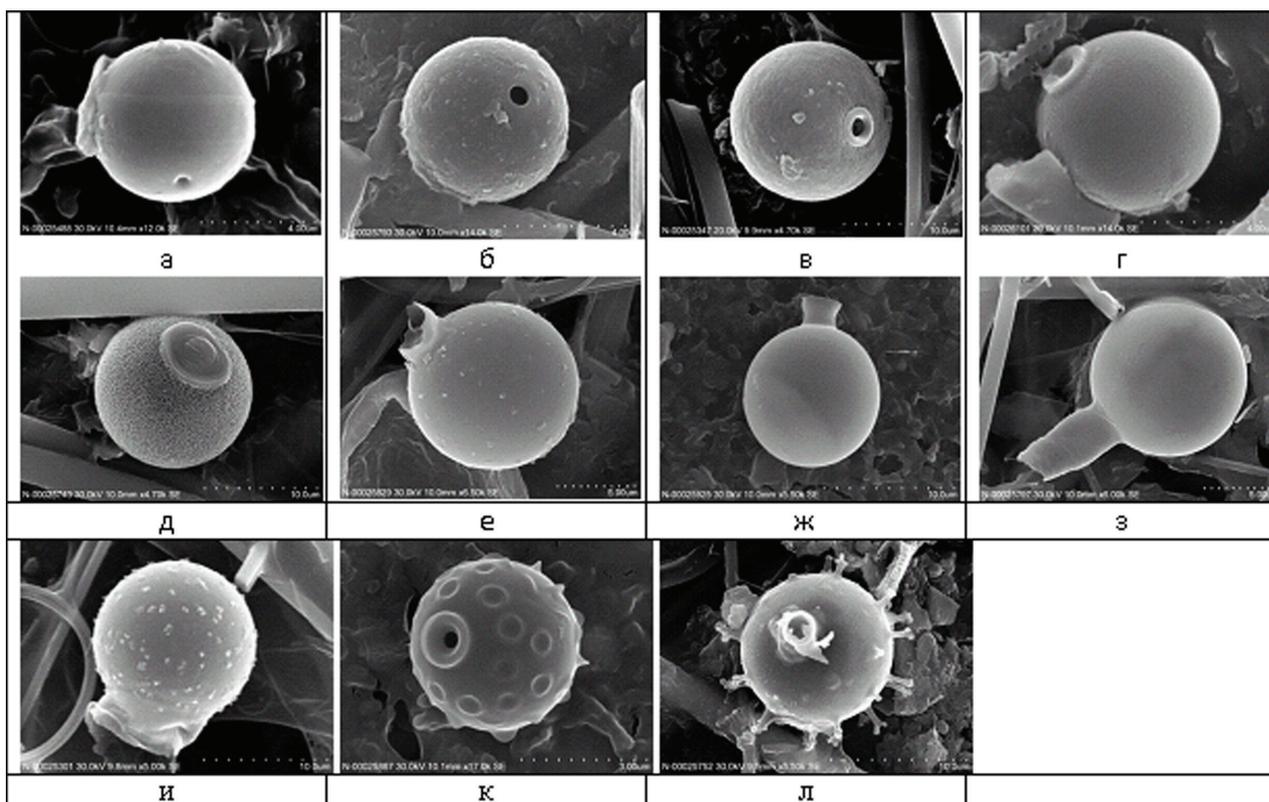


Рис. 2. Стوماتоцисты золотистых водорослей, выявленные на трех обследованных участках оз. Джулукуль в августе 2020 г.

Кроме стوماتоцист из золотистых водорослей, были обнаружены домики *Kephyrion spirale* (Lack.) Conr., *K. rubri-claustri* Conr., *Kephyriopsis ovum* Pascher et Ruttner, *Pseudokephyrion* sp., чешуйки *Mallomonas alpina* Pascher et Ruttner., *Chrysosphaerella brevispina* Korshikov.

Разнообразными по составу были и диатомовые водоросли. Истинно планктонных обитателей в озере было мало. Это пять видов центрических диатомей – *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *S. makarovaе* Genkal, *S. minutulus* (Kützing) Cleve et Möller, *Discostella pseudostelligera* (Hustedt) Houk et Klee emend. Genkal и *Aulacoseira valida* (Grunow) Krammer, а также бесшовные пеннатные диатомовые *Asterionella formosa* Hass., образующая звездчатые колонии, и *Ulnaria acus* (Kützing) Aboal. Основная масса видов среди диатомовых была представлена обитателями дна и обрастаний, как одиночными, так и колониальными формами – водоросли из родов *Achnanthisdium*, *Fragilaria*, *Cocconeis*, *Cymatopleura*, *Encyonema*, *Epithemia*, *Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Planothidium*, *Punctastriatula*, *Rhoicosphenia*, *Selaphora*, *Staurosira*, *Staurosirella* и др.

Из зеленых водорослей были отмечены десмидиевые и хлорококковые. Первые имеют особенно плотную органическую оболочку, которая часто пропитана различными минеральными веществами и пронизана в большинстве случаев порами (Паламарь-Мордвинцева, 1982). Так, железо может пропитывать всю оболочку или откладываться в местах скульптурных украшений клетки. В первую очередь это относится к представителям р. *Cosmarium*, некоторые виды которых от накопленного в оболочке железа даже приобретают желтый, ржавый или желто-коричневый вид. Из р. *Staurastrum*, также принадлежащего к десмидиевым, были встречены два вида – *Staurastrum paradoxum* Meyen и *S. longipes* (Nordstedt) Teiling. Отличительной особенностью десмидиевых водорослей является их распространение в планктоне небольших озер, рек, водохранилищ, часто заболоченных. Клетки зеленых хлорококковых водорослей в основном имеют достаточно мягкую тонкую оболочку и плохо сохраняются при высушивании фильтра. Лишь некоторые из них могут быть обнаружены при таком способе пробоподготовки ввиду более плотной оболочки. В первую очередь, это виды р. *Pediastrum*, оболочка клеток которых толстая и часто скульптурирована (бородавчатая, шиповатая, сетчатая, складчатая, морщинистая и т. п. (Царенко, 1990). В пробах из оз. Джулукуль был обнаружен *P. boryanum* (Turpin) Meneghini.

Кроме того, в планктоне озера были отмечены домики представителей р. *Trachelomonas* из эвгленовых – *T. hispida* var. *coronata* Lemmermann и *Trachelomonas* sp. Это еще одни индикаторы мелководности и заболоченности исследуемого водоема.

Таким образом, в летнем фитопланктоне оз. Джулукуль, небольшого по площади высокогорного водоема, находящегося в истоке р. Чулышмана, при электронно-микроскопическом исследовании профильтрованных проб были выявлены водоросли из четырех отделов – стоматоцисты, домики и чешуйки золотистых, панцири диатомовых, зеленые десмидиевые и хлорококковые и домики трахеломонасов из эвгленовых водорослей. В планктоне мелководного водоема в основном присутствовали обитатели дна и обрастаний, многие из которых предпочитают заболоченные местообитания, истинно планктонных таксонов выявлено было немного. По результатам прошлых лет известно, что в фитопланктоне озера летом значимы зеленые хлорококковые водоросли и цианобактерии, которые при настоящем исследовании не сохранились. Пополнился список золотистых и диатомовых водорослей, которые при изучении под световым микроскопом или просматриваются вовсе ввиду особенно мелких размеров, или не идентифицируются до вида. Впервые для озера выявлены разнообразные по форме и структуре поверхности стоматоцисты золотистых водорослей.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках государственного задания Института водных и экологических проблем СО РАН (рег. № 121031200178-8) (анализ результатов), грантов РФФИ №.19-05-50055 (отбор проб) и РНФ (обработка проб на SEM Hitachi S-3400N (ЦКП ИВЭП СО РАН)).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)*. Т. II, вып. 1. – Л.: Наука, 1988. – 116 с.
- Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные)*. Т. II, вып. 2. – СПб: Наука, 1992. – 125 с.
- Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И и др.** Диатомовые водоросли // Определитель пресноводных водорослей СССР. – Вып. 4. – М.: Советская наука, 1951. – 620 с.
- Заповедники Сибири.* / Под ред. Д. С. Павлова, В. Е. Соколова, Е. Е. Сыроечковского. – М.: ЛОГАТА, 1999. – Т. 1. – 304 с.
- Куликовский М. С., Глуценко А. М., Генкал С. И., Кузнецова И. В.** Определитель диатомовых водорослей России. – Ярославль: Филигрань, 2016. – 804 с.
- Митрофанова Е. Ю.** Фитопланктон высокогорного озера Джулукуль (Горный Алтай, Россия) // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии: Материалы междунар. конф. – Барнаул: Изд-во АГУ, 2003. – С. 62–63.
- Паламарь-Мордвинцева Г. М.** Зеленые водоросли. Конъюгаты (2). Порядок десмидиевые // Определитель пресноводных водорослей СССР. – Вып. 11. – Л.: Наука, 1982. – 250 с.
- Попов П. А., Ермолаева Н. И., Киприянова Л. М., Митрофанова Е. Ю.** Состояние гидробиоценозов высокогорий Алтая // Сиб. эколог. журн., 2003. – № 2. – С. 181–192.
- Хурсевич Г. К.** Атлас видов *Stephanodiscus* и *Cyclostephanos* (Bacillariophyta) из верхне-кайнозойских отложений СССР. – Минск: Наука и техника, 1989. – 167 с.
- Царенко П. М.** Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. – Киев: Наук. думка, 1990. – 208 с.
- Guiry M. D., Guiry G. M.** AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2021. URL: <https://www.algaebase.org>. (Accessed 06 July 2021)
- Hartley B.** An Atlas of British Diatoms. – Biopress Ltd., 1996. – 601 p.
- Skvortzow B. W.** On some diatoms from Seiko Lake of Chosen, Japan // Journ. of Chosen Nat. Hist. Soc. Harbin, 1929. – № 8. – P. 268.