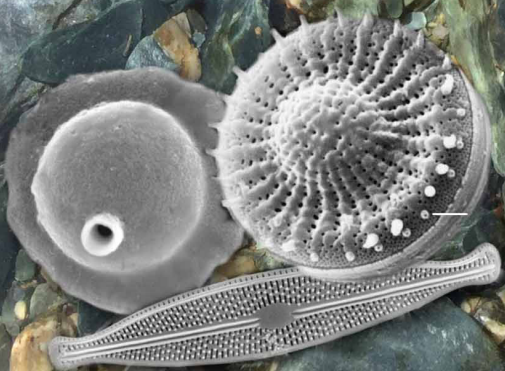


Elena Mitrofanova

Елена Митрофанова

**SEM-study
of algae
in polytypic
waterbodies
of Russian and
Mongolian
Altai
Mountains**

**СЭМ
исследования
водорослей в
разнотипных
водоемах
Русского и
Монгольского
Алтая**





Asia-Pacific Network Collaborative Regional Research Program
Project «Climatogenic Transformation of the Alpine Landscapes in
Mongolian and Russian Altai» (CRRP2017-05MY-Dembere)



Institute for Water and Environmental Problems of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Science

Mitrofanova E.Yu. SEM-study of algae in polytypic waterbodies of Russian and Mongolian Altai Mountains - Barnaul: , - 36 p. Asia-Pacific Network for Global Change Research.

This paper presents the results of electron-microscopic studies of algae, carried out using a Hitachi S-3400N scanning electron microscope at the Institute of Electronic Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. The publication is intended for biologists (botanists, algologists), specialists in electron microscopy, teachers and students of universities.

Barnaul, 2019

Asia-Pacific Network Collaborative Regional Research Program
Project «Climatogenic Transformation of the Alpine Landscapes in
Mongolian and Russian Altai» (CRRP2017-05MY-Dembere)



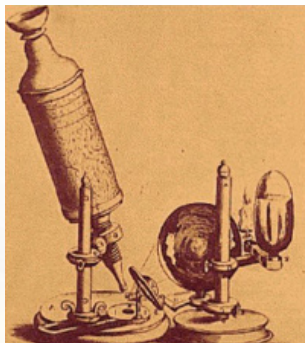
Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения
Российской Академии Наук



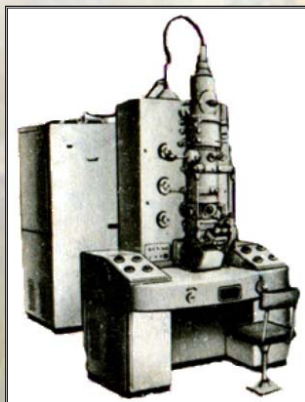
Митрофанова Е.Ю. СЭМ исследования водорослей в разнотипных водных объектах Русского и Монгольского Алтая. – Барнаул:, 2019. – 36 с.

В настоящем издании приведены результаты электронно-микроскопических исследований водорослей, проведенных с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi S-3400N в ИВЭП СО РАН. Издание рассчитано на биологов (ботаников, альгологов), специалистов по электронной микроскопии, преподавателей и студентов ВУЗов.

Барнаул, 2019



*One of the first light
(above) and transmission
electron (below)
microscopes
Одни из первых опти-
ческий (вверху) и ТЭМ
(внизу) микроскопы*



Introduction

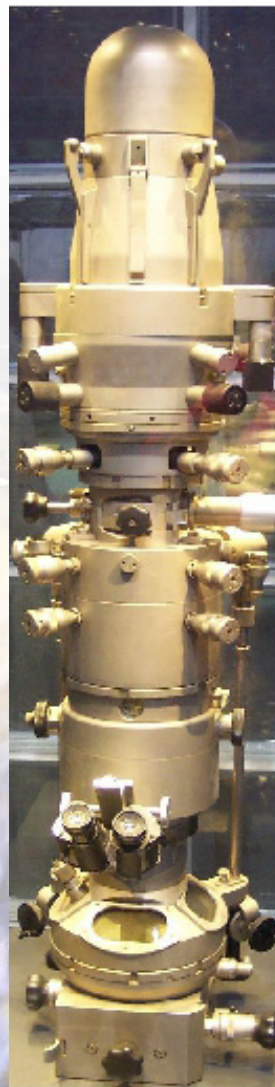
Electron microscopy allows to investigate biological objects such as cells, cellular organelles, bacteria, viruses, biogenic macromolecules, etc., under the highest magnification possible in the biological research. There are two main fields in the electron microscopy: scanning (raster) electron microscopy (SEM) being applied for rather thick sections of the biological samples, and transmission electron microscopy (TEM) being applied for the thin sections. SEM and TEM are highly versatile methodologies for 2D and 3D materials characterization. The high spatial resolution of SEM and TEM, from nano- to microscale in both imaging and chemical characterization modes, is highly complementary to other nondestructive materials characterization techniques. The TEM creates images due to the dispersion of the electrons after passing through the thin sample. The official date of TEM construction goes back to 1931, when the “Siemens Schuckerwerke” company got the first patent on its use. The SEM appeared in the USA in 1942 scans a focused electron beam over a surface to create an image. The electrons in the beam interact with the sample, producing various signals that can be used to obtain information about the surface topography and composition. Since the 1960s, electron microscopes have a wide use due to their technical excellence (http://biomed.spbu.ru/en/equipment/electron_microscopy/; Inkson, 2016; Kamzolkina, Bogdanov, 2017)ю

In IWEP SB RAS, a Hitachi SEM S-3400N (Japan) for studying samples at high resolution (zoom range: 5–300.000) was installed in February 2009, and immediately the research of microscopic algae and other biological objects from various water bodies of West Siberia and beyond began. Along with electron microscopy of traditional objects (i.e. algae with

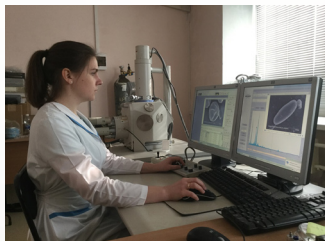
Введение

Электронная микроскопия позволяет исследовать биологические объекты, такие как клетки, клеточные органеллы, бактерии, вирусы, биогенные макромолекулы и т. д. с максимально возможным увеличением. Существует два основных типа электронной микроскопии: сканирующая (растровая) электронная микроскопия (СЭМ), применяемая для довольно толстых образцов или целых объектов, и просвечивающая электронная микроскопия (ТЭМ), применяемая для тонких срезов. SEM и TEM - это универсальные методологии для выявления 2D и 3D характеристик различных объектов и материалов. Высокое пространственное разрешение СЭМ и ТЭМ, от нано- до микромасштаба как в режиме визуализации, так и в режимах химической характеристики, в значительной степени дополняет другие методы определения характеристик материалов. ТЭМ создает изображения за счет рассеяния электронов после прохождения их через тонкий образец. Официальной датой создания ТЭМ считается 1931 г., когда фирмой «Сименс Шуккертверке» был получен первый патент на применение просвечивающего электронного микроскопа. СЭМ появился в США в 1942 г., а массово такие микроскопы стали применяться в 1960-х годах (http://biomed.spbu.ru/en/equipment/electron_microscopy/; Inkson, 2016; Камзолкина, Богданов, 2017).

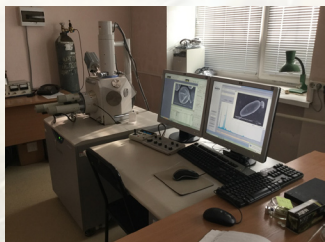
В ИВЭП СО РАН СЭМ Hitachi S-3400N (Japan), исследующий образцы в диапазоне увеличений от 5 до 300000, был установлен в феврале 2009 г. С этого времени началось изучение микроскопических водорослей и других биообъектов в различных водных объектах Западной Сибири и не только. Наряду с изучением водорослей с кремнистыми



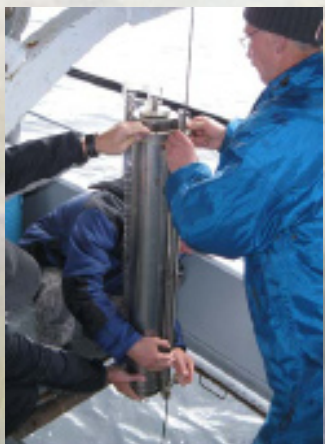
*TEM of 1960th.
ТЭМ конструкции
1960-х годов.*



*SEM Hitachi S-3400N
(Japan)
СЭМ Hitachi S-3400N
(Japan)*



*Batometer
Батометр*



silicon frustules and dense organic shells), algae with soft shells were also investigated despite some difficulties in their shape and volume preservation. A large set of specimens and photographs of microscopic algae was collected. Some of them are presented in this album.

Sample preparation

Before considering the different aspects of specimen preparation, it is first necessary to sample algae in waterbodies. They can live in the water column (plankton), on the bottom (benthos) or various underwater objects (periphyton). Algae from these habitats could be taken using a bathometer, a net, a dredge or a scraper. The selected plankton samples have to be concentrated either by filtration through membrane filters with a pore diameter of about 1 μm or by a 7-10 day sample settling and removing the upper water layer by means of decantation. Further, algae with silicon frustules or other hard elements on the surface or inside the cells should be cleaned from the organic matter and dried. For SEM, a biological specimen is normally required to be completely dry, since the specimen chamber is at high vacuum. Worth noting that water is an essential component of living biological samples, together with complex organic macromolecules such as proteins, lipids, and carbohydrates.

To study the frustules of diatoms and dinophytes, cysts, lorica and scales of golden algae, it is necessary to clean them of organics, which is achieved by using hydrogen peroxide or concentrated acids, further washing in distilled water, arranging them on “tables” for an electron microscope and coating with a gold-palladium in Quorum Technologies SC7620 Mini Sputter Coater, a low vacuum ion sputtering machine.

панцирями и плотными оболочками были исследованы и водоросли с мягкими оболочками, что сопряжено с некоторыми трудностями для сохранения их формы и объема. Собрана большая коллекция препаратов и фотографий водорослей, некоторые представлены в этом издании.

Пробоподготовка

Прежде чем рассматривать различные аспекты подготовки образца, сначала необходимо отобрать водоросли в водоемах. Они могут жить в толще воды (планктон), на дне (бентос) или в разнообразных подводных объектах (перифитон). Водоросли из этих мест обитания могут быть получены с помощью батометра, сетки, драги или скребка. Отобранные образцы планктона должны быть сконцентрированы либо фильтрацией через мембранные фильтры с диаметром пор около 1 мкм, либо путем осаждения в течение 7-10 дней и удаления верхнего слоя воды посредством декантации. Кроме того, водоросли с кремнистыми панцирями или другими твердыми элементами на поверхности или внутри клеток должны быть очищены от органики. Для СЭМ биологический образец должен быть полностью сухим, поскольку камера для образцов находится в высоком вакууме. Стоит отметить, что вода является важным компонентом живых биообразцов.

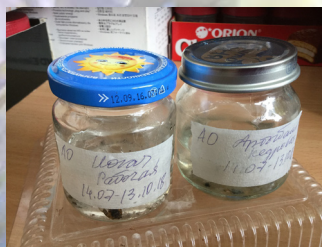
Панцири диатомовых и динофитовых, цисты, домики и чешуйки золотистых водорослей очищают от органики путем применением перекиси водорода или концентрированных кислот, затем промывают в дистиллированной воде, оформляют на «столики» для СЭМ и напыляют Au-Pd смесью в приборе для ионного напыления металлов в низком вакууме Quorum Technologies SC7620 Mini Sputter Coater.



*Quorum Technologies
SC7620 Mini Sputter
Coater*

*Установка для напыле-
ния образцов Quorum
Technologies SC7620*

*Concentrated samples
Сконцентрированные
пробы*





Filtration plant

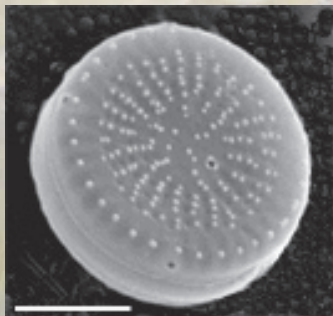
Установка для фильтрации



Centrifuge

Центрифуга

Cyclotella delicatula
Genkal



Fixation of cells with soft shells

Hard silicon frustules of diatoms, dinoflagellates, cysts of chrysophycean algae or dense organic shells can be examined with little treatment, but living cells and tissues and whole, soft-bodied organisms require special chemical fixation to preserve and stabilize their structure. Fixation is usually performed by incubation in a solution of a buffered chemical fixative, such as glutaraldehyde, sometimes in combination with formaldehyde and other fixatives. We used glutaraldehyde with a phosphate buffer as a fixative (note: a buffer maintains pH at a physiological level). The method described by Felgenhauer B.E. (1987). In opinion of (Kamzolkina, Bogdanov, 2017), the authors of Microscopy Manual, such fixation forms cross-links among molecules of cellular substances thus providing a strong cell carcass and preventing substance loss that allows to preserve a cell volume.

Results and discussion

In electron microscopy studies, diatoms are the most frequent and beneficial objects because of their siliceous frustules. Many identification signs of species, especially in small-cell forms, can be recognized solely using SEM or TEM. It is not surprising that most new species are discovered just among small forms. For instance, phytoplankton of Lake Teletskoye is a vivid example. Interestingly, light microscopy could not identify the representatives of the genera *Cyclotella* or *Stephanodiscus* to the species among small-cell centric forms inhabiting the lake pelagial. Three species, i.e. *Cyclotella delicatula* Genkal, *Stephanodiscus minutulus* (Kützinger) Cleve et Möller and *Stephanocostis chanthaicus* Genkal et Kuzmina were found in 1989 due to first electron microscopic studies.

Фиксация клеток с мягкими оболочками

Твердые кремнистые панцири диатомовых водорослей, динофлагеллят, кремнивые оболочки цист золотистых водорослей или водоросли с плотными органическими оболочками могут быть исследованы с небольшой подготовкой, но клетки с мягкими оболочками нуждаются в специальной химической фиксации, чтобы сохранить их объем и структуру. Ее обычно проводят в растворе забуференного химического фиксатора, такого как глутаральдегид, иногда в сочетании с формальдегидом и другими фиксаторами. Мы использовали глутаральдегид с фосфатным буфером (он поддерживает pH на физиологическом уровне) по методу В.Е. Felgenhauer (1987). По мнению авторов «Руководства по микроскопии» (Камзолкина, Богданов, 2017), такая фиксация образует перекрестные связи между клеточными веществами, образуя прочный каркас.

Результаты и обсуждение

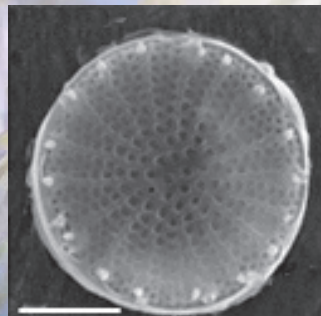
Диатомовые водоросли ввиду наличия кремнистого панциря являются наиболее благодатным объектом при СЭМ исследованиях. Многие идентификационные признаки видов, особенно у мелких форм, можно распознать только с использованием СЭМ или ТЭМ. Поэтому при изучении диатомей обнаружение новых видов в водоемах зачастую происходит именно среди мелкоклеточных форм, как это было, например, при изучении фитопланктона Телецкого озера в 1989 г. – *Cyclotella delicatula* Genkal, *Stephanodiscus minutulus* (Kützinger) Cleve et Möller и *Stephanocostis chanthaicus* Genkal et Kuzmina, первый из которых был описан, как новый для науки (в международной номенклатуре пока как *Cyclotella* sp., потому что та-

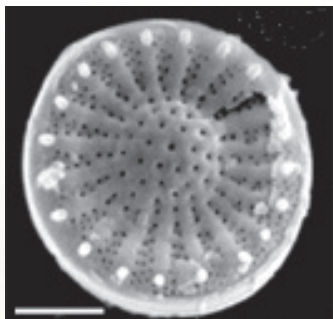


Fixation of samples
Фиксация проб

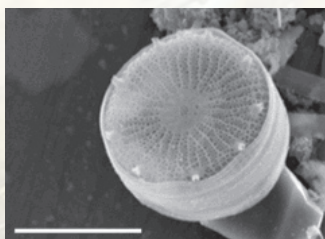


Drying cabinet
Сушильный шкаф
Stephanodiscus makarovae
Genkal



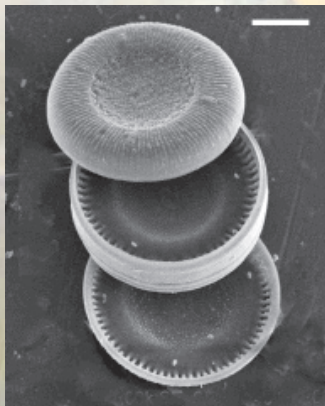


Stephanodiscus minutulus
(Kützing) Cleve et Möller



Thalassiosira pseudonana
(Hust.) Hasle & Heimdal

Cyclotella bodanica
Euleinst



The first species was described as new to science (according to the international nomenclature as *Cyclotella* sp. because such a name (*C. delicatula* Hust) already existed.) (Genkal, 1994; Genkal, Mitrofanova, 1995). Electron microscopy of diatom specimens helped to supplement a list of species from a size group of 4–7 μm in diameter by the fourth newly found *Stephanodiscus makarovae* Genkal.

Using SEM and TEM, Genkal S.I. (Genkal, Mitrofanova, 1995) discovered one more diatom with a small frustule size (i.e. *Thalassiosira pseudonana* (Hust.) Hasle & Heimdal). This species did not occur in plankton of Lake Teletskoye for long. Only recently, the SEM study of samples made it possible to re-discover this diatom, which is quite rare for this lake. Being a world widespread marine species (Rad-Menéndez et al., 2015), *T. pseudonana* with its 34 mega pairs of nucleotide bases was chosen as the first eukaryotic representative of marine phytoplankton for genome sequencing (Armbrust et al., 2004). Moreover, *T. pseudonana* was lately referred to invasive species; it appeared in other habitats because of ballast waters discharged from ships. *T. pseudonana* presence in the ultra-oligotrophic Lake Teletskoye located in the upper reaches of R. Ob is evidence of its high tolerance to environmental conditions, namely, to temperature and salinity.

Along with small-cell representatives of plankton, the images of medium- and large-sized centric diatoms, i.e. *Cyclotella antiqua* W. Smith, *Melosira varians* Agardh, *C. bodanica* Euleinst, *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth were obtained. The SEM morphological study of freshwater species *C. bodanica* from lakes of different geographic location and trophic level (Onega, oligotrophic-mesotrophic; Balan-Tamur (Baikal region); Lake Dal'nee (Kamchatka), oligotrophic-

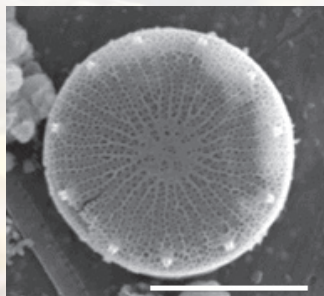
кое название вида уже существовало – *C. delicatula* Hust.) (Genkal, 1994; Genkal, Mitrofanova, 1995). В настоящее время число видов размерной группы 4-7 мкм в диаметре было увеличено до четырех, добавился еще *Stephanodiscus makarovae* Genkal (Mitrofanova, 2011).

В пробах 1989 г. С.И. Генкалом (Genkal, Mitrofanova, 1995) была обнаружена и мелкоклеточная *Thalassiosira pseudonana* (Hust.) Hasle & Heimdal. Долгое время этот вид в планктоне Телецкого озера не встречался. Лишь исследования последних лет позволили вновь обнаружить *T. pseudonana*, которая относят к широко распространенным, но морским видам (Rad-Menéndez et al., 2015). Этот вид с 34 мега парами нуклеотидных оснований был выбран в качестве первого эукариотического представителя фитопланктона для секвенирования генома (Armbrust et al., 2004). Кроме того, в последнее время *T. pseudonana* стали относить еще и к инвазийным, который может попадать в другие местообитания с балластными водами кораблей. Обитание *T. pseudonana* в ультраолиготрофном Телецком озере может свидетельствовать о большой степени толерантности вида к условиям окружающей среды.

Кроме мелкоклеточных представителей планктона были получены изображения средне- и крупноразмерных центрических диатомей, а именно *Cyclotella antiqua* W.Smith, *Melosira varians* Agardh, *C. bodanica* Euleinst, *Aulacoseira subarctica* (O. Müller) Haworth. При изучении морфологии представителей популяций *C. bodanica* из озер разного географического положения и трофности (Онежское, олиготрофно-мезотрофное; Балан-Тамур (Прибайкалье); Дальнее (Камчатка), олиготрофно-мезотрофное; Хантайской гидросистемы (Восточная Сибирь), олиготрофное;

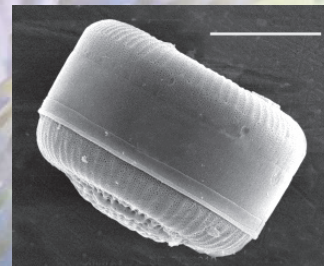


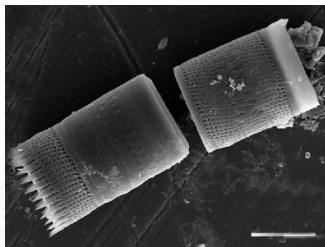
Stephanocostis chanthaicus
Genkal et Kuzmina



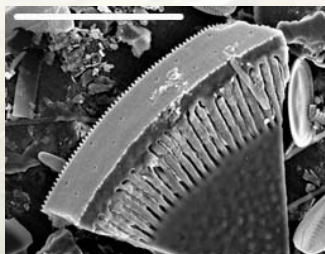
Thalassiosira pseudonana
(Hust.) Hasle & Heimdal

Cyclotella bodanica
Euleinst



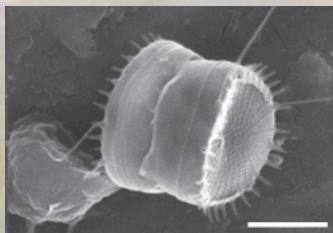


Aulacoseira subarctica (O. Müller) Haworth



Ellerbeckia arenaria (Ralfs ex Moore) Crawford

Stephanodiscus hantzschii Grun.



mesotrophic; the Khantai hydrosystem and Holocene sediments from Lake Hoton-Nur (Mongolia), oligotrophic) shows considerable variability in valve diameter of studied populations of the species, i.e. 18.2 (Lake Dal'nee) - 72.2 μm (Lake Hoton-Nur). Its minimum falls on the Khantai hydraulic system, lakes Balan-Tamur and Dal'nee, while the maximum - on lakes Teletskoye and Hoton-Nur (Genkal et al., 2013).

In phytoplankton specimens from Lake Teletskoye, *Ellerbeckia arenaria* (Ralfs ex Moore) Crawford, a rare for its alga flora representative of large-cell centric diatoms, was identified. It belongs to the ancient taxa. Previously (Poretsky, Sheshukova, 1953), this planktic-benthic species was noted mainly in benthos of the north-western shallow water of the lake at depths from 3-5 up to 18 m. In 2010, *E. arenaria* valves were found in the mouth of a tributary in the latitudinal part of Lake Teletskoye at 11-13.8 m depth.

When identifying diatoms, valve details and any formations or outgrowths on the frustule surface are important. For example, *Stephanodiscus hantzschii* Grun. cells with several long spines lengthwise its mantle were defined when we studied phytoplankton from the R. Inya mouth. Preparation of specimens for light microscopy and their placement in a balm often destroy such thin and fragile formations and, on the contrary, they are well preserved and clearly visible on the valve under drying and sputtering with a gold-palladium mixture.

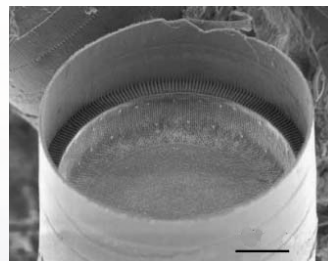
Even more diverse in composition pennate diatoms, both raphid and araphid, mainly dwell in benthos and fouling. Only few pennate diatom species are planktonic inhabitants, e.g. a araphid diatom *Asterionella formosa* Hass., star-shaped colonies of which are able to “float” in the water column due

а также голоценовые осадки из озера Хотон-Нур (Монголия), олиготрофное) было установлено, что диапазон изменчивости диаметра створки в исследованных популяциях вида варьировал от 18,2 (оз. Дальнее) до 72,2 μm (оз. Хотон-Нур). Минимальный размах этого признака наблюдали в Хантайской гидросистеме, озерах Балан-Тамур и Дальнем, максимальный – в озерах Телецкое и Хотон-Нур (Генкал и др., 2013).

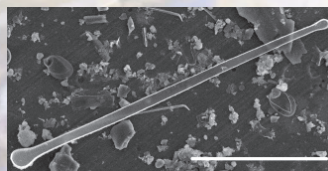
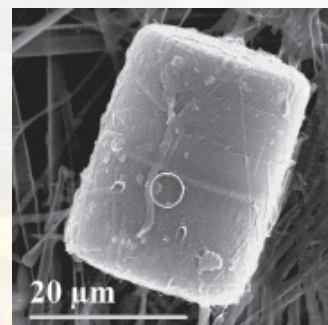
В пробах фитоперифитона Телецкого озера была найдена редкая крупноклеточная центрическая диатомея *Ellerbeckia arenaria* (Ralfs ex Moore) Crawf. - древний по происхождению таксон. Ранее (Порецкий, Шешукова, 1953) этот планкто-бентосный вид находили в основном в бентосе северо-западного мелководья озера на глубинах от 3-5 до 18 м. В 2010 г. створки *E. arenaria* были обнаружены в устье одного из притоков широтной части Телецкого озера на глубине от 11 до 13,8 м.

При идентификации диатомовых водорослей важное значение имеют детали створки, образования или выросты на поверхности панциря. Так, в фитопланктоне р. Ини был встречен *Stephanodiscus hantzschii* Grun. с несколькими длинными шипами по загибу створки. При подготовке препаратов для световой микроскопии и заключении образцов в бальзам такие тонкие и хрупкие образования часто разрушаются.

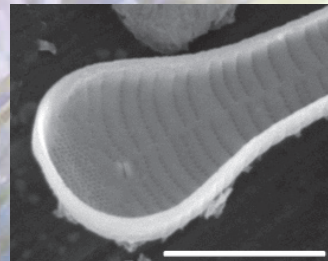
Еще более разнообразные по составу – это пеннатные диатомовые водоросли, шовные и бесшовные, в основном представители бентоса и обрастаний. Лишь единичные виды пеннатных диатомей являются планктонными обитателями, как, например, *Asterionella formosa* Hass., звездчатые колонии которой способные «парить» в толще воды.

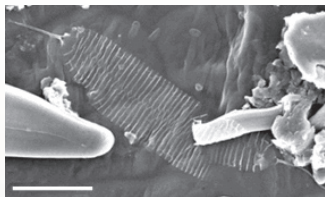


Ellerbeckia arenaria (Ralfs ex Moore) Crawf

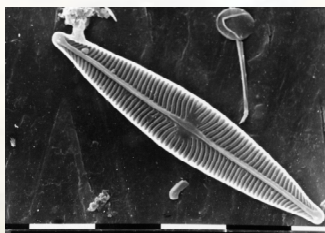


Asterionella formosa Hass.

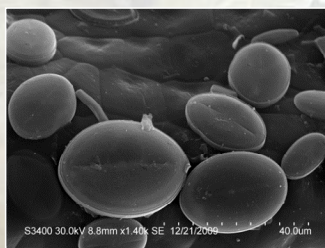




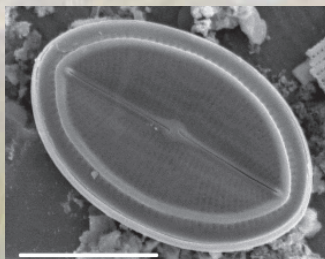
Rhizosolenia cf. eriensis
W. et G. S. West



Navicula radiosia Kutzing



Cocconeis placentula Ehr.



to specific cells connection increasing buoyancy and resisting their rapid sedimentation to the bottom.

A special attention was paid to SEM analysis of diatoms with a very delicate frustule like *Rhizosolenia cf. eriensis* W. et G. S. West, almost invisible under light microscopy. We marked its thin and fragile frustules with perforated semi-ring-shaped or valve-like intercalary bands in recent studies of phytoplankton samples from Lake Teletskoye.

Among the pennate diatoms, raphid representatives with raphe on the one or two valves passed through the entire frustule dominate in diversity. Many of them inhabit the reservoir bottom, and can move slowly on the substrate due to cytoplasm movement in the raphe. Diatoms of the genera *Navicula*, *Brachysira* and *Geissleria* are a good example. Pennate forms can attach themselves to the substrate by mucous strands (e.g. representatives of the genera *Gomphonema* and *Didymosphenia*) or dwell in mucous tubes being attached to rocks or other underwater objects (e.g. the genus *Cymbella*). Immobile forms (e.g. species from the genus *Cocconeis*) also exist; similar to crustose lichens, they «stick» to the substrate.

The representatives of pennate diatoms can be of different size: from the smallest up to very large ones (300-400 μm). Algae may have oval, rectangular, diamond- dumbbell-, mace-shaped, guitar-like and other forms of valves. At a girdle side, a frustule can have a rectangular, trapezoidal, straight and curved form. The length/width ratio of valves is usually insignificant, though in some species their length may exceed width by ten times.

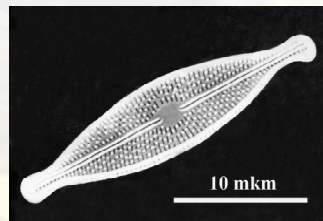
Large-size representatives of the algal flora include *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M. Schmidt, a pennate

Отдельное внимание было уделено исследованию диатомовых водорослей с очень нежным панцирем, который в световой микроскоп почти не различим, например *Rhizosolenia* cf. *eriansis* W. et G.S. West. Ее тонкие и хрупкие панцири с перфорированными полукольцевидными или чешуевидными вставочными ободками были отмечены нами при исследовании проб фитопланктона Телецкого озера в последние годы.



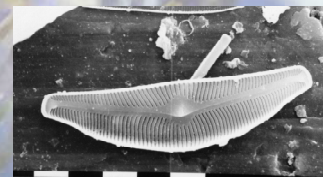
Rhizosolenia cf. *eriansis*
W. et G. S. West (by S.I.
Genkal photo)

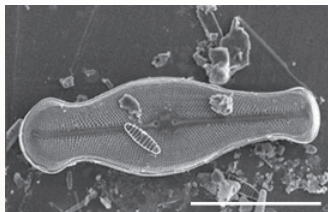
Среди пеннатных диатомей наибольшим разнообразием отличаются представители шовных, то есть те, у которых на створке, одной или сразу двух, имеется шов, простирающийся по всей длине панциря. Многие из них обитают на дне водоема, и могут медленно передвигаться по субстрату за счет тока цитоплазмы в канале шва, как, например, диатомеи родов *Navicula*, *Brachysira* и *Geissleria*. Многие пеннатные формы могут прикрепляться к субстрату посредством слизистых тяжей (*Gomphonema* и *Didymosphenia*) или обитать внутри слизистых трубок, прикрепленных к камням или другим подводным предметам (*Cymbella*). Есть и просто неподвижные формы, которые «прилипают» к субстрату (*Cocconeis*).



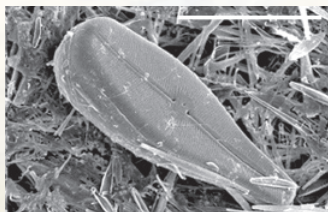
Среди пеннатных диатомей встречаются как одни из самых мелких представителей кремнезёмок, так и очень крупные экземпляры – 300-400 μm с овальными, ромбовидными, прямоугольными, гантелевидными, булавовидными, гитароподобными и другими формами створок. Соотношение длины и ширины у сворок бывает незначительное, но есть виды, у которых длина превосходит ширину в десятки раз.

К крупным представителям альгофлоры можно отнести *Didymosphenia geminata* (Lyngb.) M.Schmidt, прикре-





Didymosphenia geminata
(Lyngb.) M. Schmidt



Didymosphenia siberica
(Grun.) M. Schmidt

Hannaea arcus (Ehr.)
Patrick



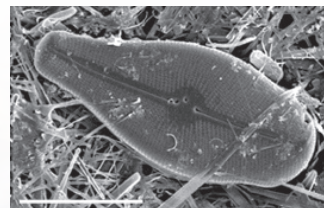
diatom attached to the substrate by long mucous strands. Beside this species widespread in many reservoirs of the temperate zone, three more species of this genus were defined – *D. grunowi* Lange-Bertalot & Metzeltin, *D. siberica* (Grun.) M. Schmidt and *D. laticollis* Metzeltin & Lange-Bertalot in Lake Teletskoye. A total of 22 species of *Didymosphenia* (Kulikovskiy et al., 2016) have been identified nowadays.

If in Lake Teletskoye and its watercourses *D. geminata* is still rare, in some regions (e.g. New England rivers in the north-east of the USA (<http://itsnow.ru/-137699.html>)) it has become a real disaster. In former times, the habitat of this rare species was upper reaches of rocky rivers. In recent decades, it suddenly invaded other, more suitable for existence, reservoirs and spread out there. Figuratively, it is called the «stone snot» (a greenish slimy bundle of stalks on river boulders really brings to such an association).

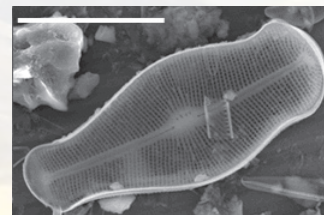
With the help of SEM, some morphological features of valves of pennate araphid diatom *Hannaea arcus* (Ehr.) Patrick (Fig. 5) were revealed. In the south of Lake Teletskoye, along with typical valves with one rimoportula (a labiate process with a pore on the outer and inner sides of a valve) on one end, we could see valves with two rimoportulas – by one at both ends of a valve. Species with such a morphological feature are found in Baikal (*H. baicalensis* Genkal, Popovskaya & Kulikovskiy (Genkal et al., 2008) and Hubsugule (*H. hovsgolensis* Vishnjakov, Kulikovskiy & Genkal), where natural conditions are similar to those in Lake Teletskoye. In the north of Lake Teletskoye, on the contrary, *H. arcus* valves with two rimoportulas were not defined at all. Anisimova O.V. and Gololobova M.A. (Anisimova, Gololobova, 2017) noticed such a feature in benthos species.

плюющуюся к субстрату длинными слизистыми тяжами. В Телецком озере кроме этого широко распространенного во многих водоемах умеренной зоны вида были выявлены еще три вида – *D. grunowi* Lange-Bertalot & Metzeltin, *D. siberica* (Grun.) M. Schmidt и *D. laticollis* Metzeltin & Lange-Bertalot, а всего в мире в настоящее время известно 22 вида р. *Didymosphenia* (Kulikovskiy et al., 2016). Если в Телецком и водотоках его бассейна *D. geminata* встречается не часто, то в некоторых регионах Земли она стала настоящим бедствием, например, в реках Новой Англии на северо-востоке США (<http://itsnow.ru/-137699.html>). Нечкогда редкая водоросль, обитавшая в верховьях каменистых рек, в последние десятилетия вдруг начала экспансию в другие, более благоприятные для жизни водоемы. Ее образно именуют «каменные сопли».

С помощью СЭМ выявлены некоторые морфологические особенности створок пеннатной бесшовной диатомеи *Hannaea arcus* (Ehr.) Patrick. На юге Телецкого озера помимо обычных створок с одной римопортулой (двугубый вырост с отверстием на наружной и внутренней сторонах створки) на каком-нибудь из концов створки встречаются створки и с двумя римопортулами – по одной на обоих концах створки. Виды с такой особенностью встречаются в Байкале (*H. baicalensis* Genkal, Popovskaya & Kulikovskiy (Genkal et al., 2008) и Хубсугуле (*H. hovsgolensis* Vishnjakov, Kulikovskiy & Genkal), т.е. в местообитаниях со схожими с Телецким природными условиями. Интересно, что на севере Телецкого озера створки *H. arcus* с двумя римопортулами не обнаружены. На такую морфологическую особенность створок *H. arcus* обратили внимание О.В. Анисимова и М.А. Гололобова (Anisimova, Gololobova, 2017).

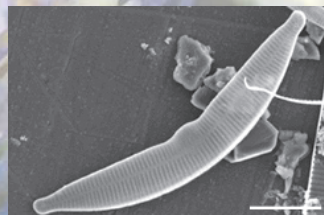


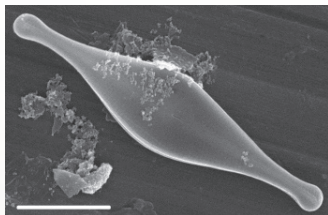
Didymosphenia grunowi
Lange-Bertalot &
Metzeltin



Didymosphenia laticollis
Metzeltin & Lange-
Bertalot

Hannaea arcus (Ehr.)
Patrick

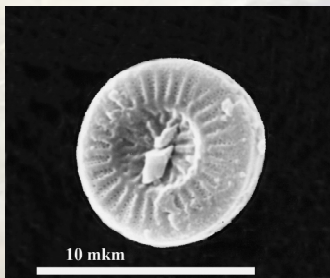




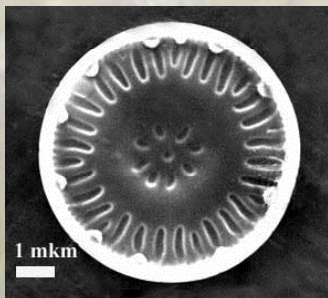
Nupela neogracillima
Kulikovskiy & Lange-
Bertalot

Nupela neogracillima Kulikovskiy & Lange-Bertalot, which develops in periphyton of Lake Teletskoye, is a rare pennate species. In July 2010, it was found in the rock fouling at 13.8 m depth in the northern latitudinal part of the lake (Mitrofanova, Genkal, 2013). This species prefers oligotrophic water bodies (like Lake Teletskoye) of the Arctic and boreal regions.

One more a rare species for the algal flora of Lake Teletskoye is *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round, which was met in the pelagic zone of a shallow latitudinal part. Previously, it was registered neither in plankton nor in benthos, including the surface layer of the lake bottom sediments (Poretsky, Sheshukova, 1953; Mitrofanova et al., 2000). Only Skabichevskaya N.A. was lucky to define it in the bottom sediments at a depth of more than 30 cm that corresponds to the year 1800. Indeed, this species is a common representative of the Upper Ob plankton. Diatom composition of the Ob plankton is generally very diverse; one can meet centric forms as single cells (e.g. *C. dubius*), colonial forms (e.g. *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. and abundant pennate forms (e.g. *Diatoma*).

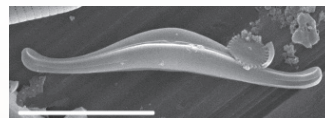


Discostella cf. stelligera
(Cl. et Grun.) Houk et Klee



Centric diatoms as well as pennate forms are diverse in the river plankton. For example, from the middle part of R. Irtysh (the Omsk-Irtysh mouth distance: 1800 km) 21 taxa of the Centrophyceae class only, including 14 new species, were identified recently: *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *Chaetoceros müelleri* Lemm., *C. wighamii* Brightwell, *Conticribraweissflogii* (Grun.) Stachura-Suchoples et Williams, *Cyclotella atomus* Hust., *C. ocellata* Pant., *Discostella cf. pseudostelligera* (Hust.) Houk et Klee, *Stephanodiscus cf. alpinus* Hust., *S. invisitatus* Hohn et Hellermann, *S. makarovae* Genkal, *S. minutulus* (Kütz.) Cl. et Müll. *S. neoastreae* Håkan.

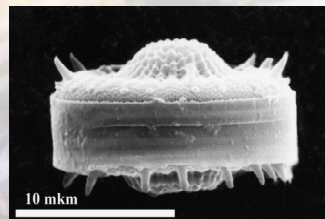
Малораспространенным видом является пеннатная диатомея *Nupela neogracillima* Kulikovskiy & Lange-Bertalot, которая развивается в перифитоне Телецкого озера. В июле 2010 г. она была обнаружена в обрастаниях камней на глубине 13,8 м в северной широтной части озера (Mitrofanova, Genkal, 2013). Этот вид предпочитает олиготрофные водоемы в арктической и бореальной областях.



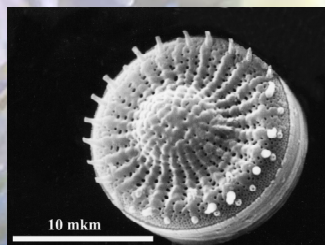
Nupela neogracillima
Kulikovskiy & Lange-
Bertalot

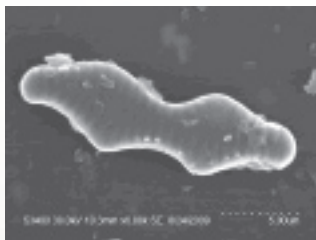
К редким для альгофлоры Телецкого озера видам можно отнести *Cyclostephanos dubius* (Fricke) Round. Он был встречен в пелагиали мелководной широтной части Телецкого озера. Ранее его не отмечали ни в планктоне, ни бентосе и поверхностном слое донных отложений озера (Порецкий, Шешукова, 1953; Митрофанова и др., 2000). Только Н.А. Скабичевская находила его в донных отложениях на глубине более 30 см (примерно 1800 г.). В тоже время данный вид является обычным представителем планктона Верхней Оби, в котором встречаются как центрические одноклеточные формы, так и колониальные – *Aulacoseira granulata* (Ehr.) Sim. и многочисленные пеннатные формы, например, виды р. *Diatoma*.

Исследованы центрические диатомовые водоросли в планктоне среднего участка р. Иртыш (расстояние от г. Омска до устья 1800 км), обнаружен 21 таксон класса Centrophyceae, выявлено 14 новых видов: *Aulacoseira islandica* (O. Müll.) Sim., *Chaetoceros mülleri* Lemm., *C. wighamii* Brightwell, *Conticribra weissflogii* (Grun.) Stachura-Suchoples et Williams, *Cyclotella atomus* Hust., *C. ocellata* Pant., *Discostella* cf. *pseudostelligera* (Hust.) Houk et Klee, *Stephanodiscus alpinus*, *S. invisitatus* Hohn et Hellermann, *S. makarovae*, *S. minutulus*, *S. neoastrea* Håkan. et Hickel emend. Casper, *Thalassiosira lacustris* (Grun.) Hasle и *T.*

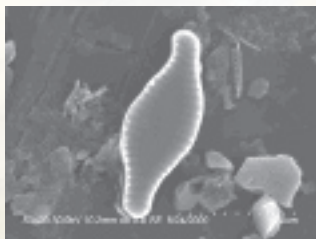


Stephanodiscus cf. *alpinus*
Hust.

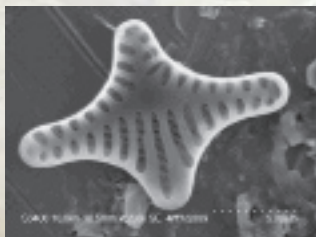




et Hickel emend. Casper, *Thalassiosira lacustris* (Grun.) Hasle and *T. pseudonana* Hasle et Heimdal (Genkal et al., 2012). It should be noted that the genus *Stephanodiscus* dominated in species richness. Some representatives of centric diatoms of phytoplankton from R. Irtysh, reservoirs and rivers of its basin are given on this page.



The species-specific ornamentation of the silicon cell wall, which is preserved and faithfully reproduced through the generations is the foremost feature of diatoms. However, if exposed to different kinds of stress during reproductive processes, the diatom cell outline and striation pattern can change in different ways, producing teratological or ugly forms (Falasco et al., 2009).



We found such anomalies in frustule structure of diatom algae in Lake Teletskoye plankton and periphyton, and besides pennate diatoms of the bottom and fouling inhabitants are liable to teratological forms produce to a great extent. It is known that the reproduction of teratoforms is a kind of algae response to any environmental impact. In Lake Teletskoye, such forms were identified in sites most visited by tourists (the Korbu waterfall in the central part of the lake, numerous holiday camps and campsites in the north-western part, the Kamenny Bay). Apparently, it is due to the increased biogene concentrations. In the south of the lake, in the mouth of R.Chulyshman, the appearance of teratoforms may be induced by the increased natural geochemical background because of small occurrence of sulfide and oxidized ores in the form of Cu compounds (Mitrofanova, Tretyakova, 2013).



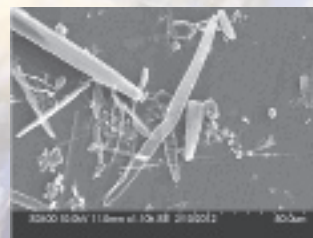
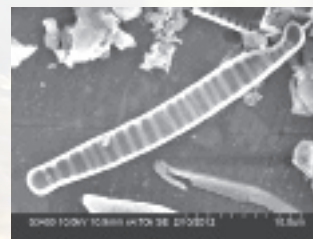
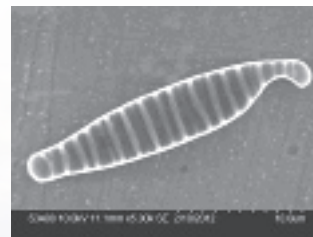
It should be added that among other algae diatoms are interesting and important by such a feature as well preserving in the bottom sediments of reservoirs due to their siliceous

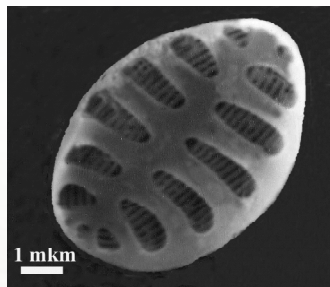
pseudonana (Генкали др., 2012). Выявлено, что наибольшим видовым богатством характеризуется род *Stephanodiscus*. Некоторые представители центрических диатомей фитопланктона р. Иртыш и водоемов и водотоков его бассейна приведены на этой странице.

Главной особенностью диатомовых водорослей является видоспецифическое оформление кремниевой клеточной стенки, которое сохраняется и точно воспроизводится в течение нескольких поколений. При воздействии различных видов стресса во время репродуктивных процессов контур диатомовых клеток и полосатая структура могут изменяться по-разному, создавая тератологические формы

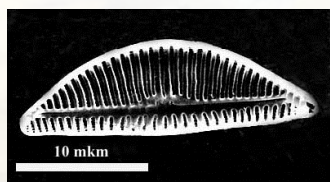
У диатомовых водорослей Телецкого озера были изучены аномалии в строении их панцирей. Образованию таких тератологических (уродливых) форм более подвержены пеннатные диатомеи, в основном обитатели дна и обрастаний. Это своеобразный отклик водорослей на воздействие каких-либо неблагоприятных факторов среды. В Телецком озере такие формы выявлены в наиболее посещаемых туристами местах (водопад Корбу в центральной части озера, многочисленные турбазы и кемпинги северо-западной части озера, Каменный залив), на что, по-видимому, влияют более высокие концентрации биогенов. На юге озера, в устье р. Чулышман, появление тератоформ может быть обусловлено повышенным природным геохимическим фоном, определяемым наличием в бассейне озера ряда мелких проявлений сульфидных и окисленных руд в форме малахитовой минерализации (Митрофанова, Третьякова, 2013).

Диатомеи при наличии кремнистого панциря хорошо

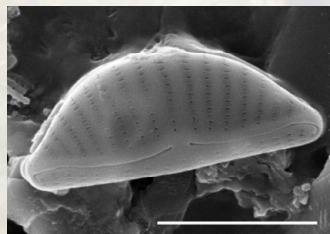




Staurosirella pinnata Ehr.

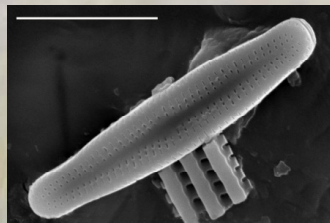


Encyonema cf. ventricosum
(Kütz.) Grun.



Encyonema minutum
(Hilse) Mann.

Achnantheidium
minutissimum (Kütz.)
Czarnecki

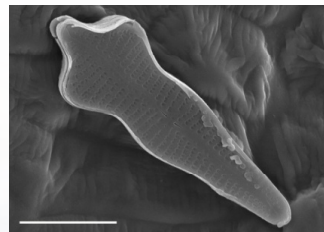


frustules. Therefore, along with other biological objects, they can serve as paleoecological indicators for the reconstruction of environmental conditions in the past with the use of their composition and number. In bottom sediments of Lake Teletskoye diatoms are diverse and abundant. The absolute dominant in valves number in the studied core sampled from the underwater Sofia Lepneva Ridge is *Aulacoseira subarctica* (Müller) Haworth of. Interestingly, this species does not dominate in plankton. Such planktonic forms as *Cyclotella bodanica*, *Stephanodiscus alpinus*, *Aulacoseira italica* (Kütz.) Sim. and benthic species like *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kütz.) Lang.-Bert., *Staurosirella pinnata* Ehr., *Synedra pulchella* (infrequently they) Kütz., *Encyonema cf. ventricosum* (Kütz.) Grun., *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki are often defined in many layers of bottom sediments. Among common and frequently met species, *Ellerbeckia arenaria* is rather rare.

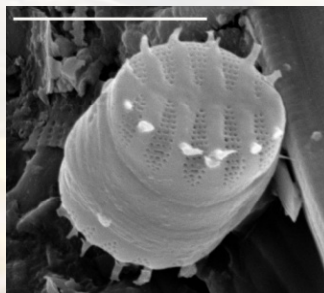
What is more interesting, with microscopic liquid droplets and atmospheric flows diatoms can be carried over short or long distances and deposit, for example, on the Alpine glaciers, thus becoming one more paleoarchive along with other biological objects. The analysis of composition and number of diatoms identified in glacial cores with the simultaneous reconstruction of reverse circulation flows allow to reveal the regions-suppliers of diatoms to the glacier. In the Altai Region, glacial cores from the mountain-ice massifs of Belukha (the Katun Ridge, Altai Republic) and Tsambagarav (North-Western Mongolia) were studied, and original data on composition and abundance of planktonic and benthic species with small- and large-size of frustules in the glacial cores were obtained. *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. appeared to be the most common.

сохраняются в донных отложениях водоемов и могут выступать палеоэкологическими индикаторами, по составу и количеству которых можно реконструировать условия среды в прошлые временные периоды. Абсолютным доминантом по количеству створок в исследованных слоях керна донных отложений Телецкого озера является *A. subarctica*. Часто во многих слоях донных отложений встречаются такие планктонные формы, как *Cyclotella bodanica*, *Stephanodiscus alpinus*, *A. italica* (Kütz.) Sim., также бентосные виды – *Fragilaria capucina* var. *vaucheriae* (Kütz.) Lang.-Bert., *Staurosirella pinnata* Ehr., *Synedra pulchella* (Ralfs) Kütz., *Encyonema* cf. *ventricosum* (Kütz.) Grun., *Achnantheidium minutissimum* (Kütz.) Czarnecki. Среди обычных и часто встречаемых видов в донных отложениях можно встретить и редкую для современной альгофлоры *Ellerbeckia arenaria*.

Диатомовые водоросли встречаются не только в водоемах и водотоках, а после прекращения их жизнедеятельности захораниваются в донных отложениях озёр и рек, но вместе с микроскопическими капельками жидкости могут переноситься по воздуху с атмосферными циркуляционными потоками на ближние или дальние расстояния и отлагаться, например, на высокогорных ледниках, становясь вместе с другими биообъектами еще одним палеоархивом. Анализ состава и количества диатомей в ледниковых кернах параллельно с построением обратных циркуляционных потоков позволяет выявить регионы-источники диатомей, обнаруженных на леднике. На Алтае были проведены исследования высокогорных ледниковых кернов горно-ледовых массивов Белуха (Катунский хребет, Республика Алтай) и Цамбагарав (Северо-Западная



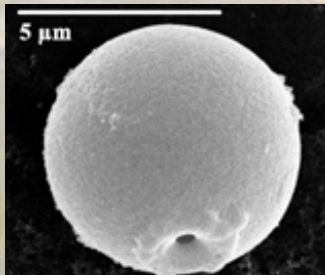
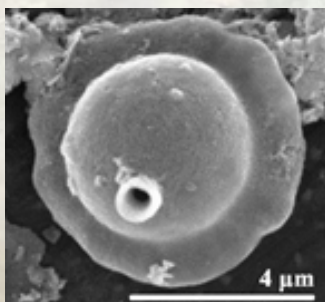
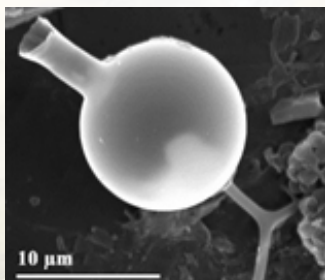
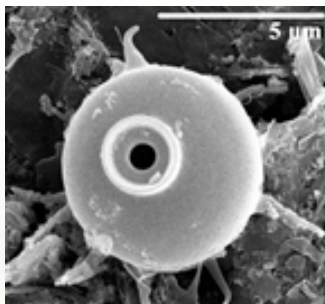
Gomphonema acuminatum
Ehr.



Punctastriata discoidea
Flower

Geissleria similis
(Krasske) L.-Bert.





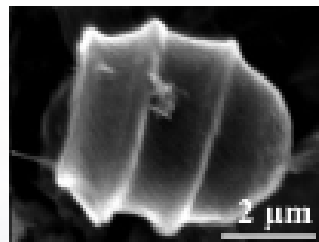
New discoveries were made among the golden algae of Lake Teletskoye. With SEM, we obtained images of lorica, scales, spines, and stomatocysts of chrysophyte algae. These algae are not as diverse in composition as diatoms, but are present in the lake's phytoplankton constantly, especially being abundant in spring and autumn because they are mainly cold-loving species. At the first examination of plankton and benthos samples, various morphotypes of stomatocysts or resting stages of golden algae were revealed. Some stomatocysts may remain in bottom sediments of the lake.

New finds were made due to electron microscopy potentials, basically among small-cell forms of golden algae with lorica or scales. Images of *Kephyriopsis ovum* Pascher et Ruttner and *K. ellipsoidea* Pascher with lorica of about 5 µm long, were obtained for the first time. *Kephyrion spirale* (Lackey) Conrad and *Dinobryon divergens* Imh are more common in plankton of Lake Teletskoye. If *K. spirale*, like two mentioned above species, have very small lorica, *D. divergens* can be attributed to a mid-size group. Representatives of the genus *Dinobryon* form bushy colonies from such lorica. The small-sized elements include siliceous scales covering the entire surface of a cell in the species from a large group of scaled chrysophycean algae. Their structure and architectonics can be distinctly seen only under electron microscopic examination. In some cases, TEM (not SEM) is required for species identification. In Lake Teletskoye, we identified *Mallomonas alpina* Pascher et Ruttner and *M. striata* var. *serrata* K. Harris & D.E. Bradley for the first time. The species scales were found in plankton specimens. These taxa, including *M. tonsurata* Teiling emend. Krieger and *M. acaroides* Perty emend. Ivanoff were not marked in Lake Teletskoye algae neither during first studies

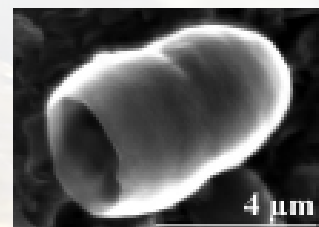
Монголия). В ледниковых кернах были обнаружены как планктонные и бентосные небольшие по размеру панцирей виды, так и крупные кремнеземки. Наиболее часто встречалась *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun.

Значительно в большем количестве относительно общего разнообразия отдела были сделаны новые находки среди золотистых водорослей Телецкого озера. С помощью СЭМ получены изображения домиков, чешуек, шипов и стоматоцист хризифитовых водорослей. Эти водоросли не столь разнообразны по составу, как диатомеи, но присутствуют в фитопланктоне Телецкого озера постоянно, особенно массовыми бывают в весенний и осенний периоды, так как относятся в основном к холодолюбивым видам. Были выявлены разнообразные морфотипы стоматоцист, или покоящихся стадий золотистых водорослей, которые могут сохраняться и в донных отложениях озера.

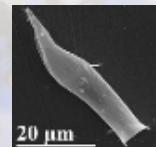
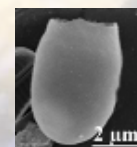
Новые находки были сделаны в основном среди мелкоклеточных форм золотистых водорослей, имеющих домики или чешуйки. Впервые для озера были выявлены *Kephyriopsis ovum* Pascher et Ruttner и *K. ellipsoidea* Pascher, длина которых составляет всего около 5 мкм. Более распространены в планктоне Телецкого озера *Kephyrion spirale* (Lackey) Conrad и *Dinobryon divergens* Imh. Представители рода *Dinobryon* образуют из таких домиков кустовидные колонии. К мелкоразмерным элементам относятся кремнистые чешуйки, которые покрывают всю поверхность клеток видов из большой группы чешуйчатых золотистых водорослей. Их структура и архитектура могут быть хорошо различимы только при СЭМ и ТЭМ изучении. Нами впервые для Телецкого озера по чешуйкам были выявлены такие виды, как *Mallomonas*



Kephyrion spirale
(Lackey) Conrad

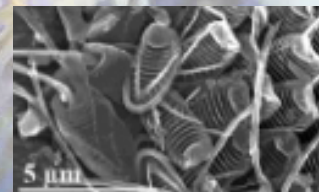


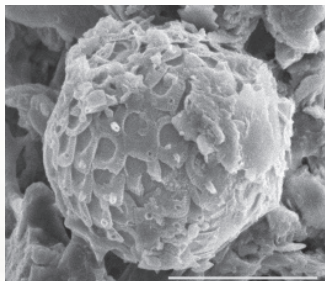
Kephyriopsis ovum
Pascher et Ruttner



K. ellipsoidea Pascher,
Dinobryon divergens Imh

Mallomonas striata var.
serrata K. Harris & D.E.
Bradley





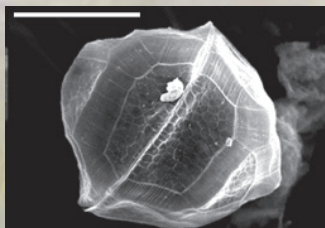
Synura mammilosa
Takahashi



Mallomonas tonsurata
Teiling emend. Krieger



Glenodinium penardiforme
(Lind.) Schiller



(Voronikhin, 1940) nor later (Mitrofanova, 2000) as well. The newly identified species include *Paraphysomonas uniformis hemiradia* Scoble et Cavalier-Smith, *P. gladiata* Preisig et Hibberd, *Spiniferomonas serrata* Nicholls, *S. trioralis* Takahashi and *Chrysosphaerella brevispina* Korshikov. New finds are constantly registered in the golden algae division. For instance, when processing one of the glacial core samples from the Tsambagarav mountain range (Mongolian Altai), we defined *Synura mammilosa* Takahashi. Being a widespread species, it was never defined in water bodies of West Siberia before (Voloshko, 2017).

In addition to diatoms and golden algae, siliceous elements also have cells of dinophytic algae. Their frustule, which is under the cell wall, consists of accrete plates connected by narrow or wide seams. The older the cell is, the wider the seam between the frustule plates can be (Kiselev, 1954). *Glenodinium penardiforme* (Lind.) Schiller and *Ceratium hirundinella* type *Furcoides* (Lev.) Schröder were identified in phytoplankton of R. Chernopyatovka (R. Inya basin). *G. penardiforme* cells are highly compressed dorsoventrally (Kiselev, 1954).

A particular attention was given to the SEM study of algae with soft cell membranes, the so-called “soft” forms, i.e. cells without siliceous frustules, but holding their shape well during specimen preparation for electron microscopy. For instance, it was cyanobacteria, with a rather dense and thick cellulose casing in coccoid, cenobial and filamentous forms, often licked and inlaid with, for example, calcium. Among them were *Synechocystis* sp., *Anabaena* sp., *Oscillatoria geminata* (Menegh.) Gom. as well as the division representatives not identified to the species. As discussed earlier, autotrophic picoplankton in Lake Teletskoye largely

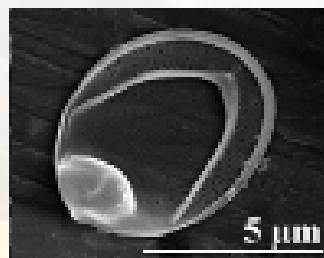
alpina Pascher et Ruttner и *M. striata* var. *serrata* K. Harris & D.E. Bradley. Эти таксоны, а также еще и *M. tonsurata* Teiling emend. Krieger и *M. acaroides* Perty emend. Ivanoff не были отмечены для альгофлоры Телецкого озера ранее (Voronikhin, 1940; Mitrofanova, 2000). К вновь выявленным видам можно отнести *Paraphysomonas uniformis hemiradia* Scoble et Cavalier-Smith, *P. gladiata* Preisig et Hibberd, *Spiniferomonas serrata* Nicholls, *S. trioralis* Takahashi, *Chrysosphaerella brevispina* Korshikov. Отдел золотистых – это та группа водорослей, в которой постоянно происходят новые находки. Так, например, в пробе ледникового керна с горного массива Цамбагарав (Монгольский Алтай) была найдена *Synura mammilosa* Takahashi, не встреченная нами в водных объектах Западной Сибири, хотя это широко распространенный вид (Voloshko, 2017).

Кроме диатомовых и золотистых водорослей, кремнистые элементы имеют и клетки динофитовых водорослей. Их панцирь, находящийся под клеточной оболочкой, состоит из сросшихся пластинок, соединенных с помощью узких или широких швов. Чем старше клетка, тем шире может быть шов между пластинками панциря (Kiselev, 1954). В фитопланктоне р. Чернопятовка (бассейн р. Ини) были выявлены *Glenodinium penardiforme* (Lind.) Schiller и *Ceratium hirundinella* тип *Furcoides* (Lev.) Schröder. Характерной особенностью *G. penardiforme* является то, что клетки сильно сжаты дорзовентрально (Kiselev, 1954).

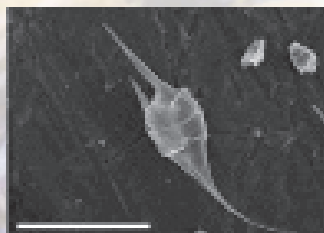
Особое внимание было уделено изучению с помощью СЭМ водорослей с мягкими оболочками клеток, так называемые «мягкие» формы, т.е. клетки без кремнистого панциря, но хорошо сохраняющие свою форму, как, например, цианобактерии, которые имеют плотную и толстую



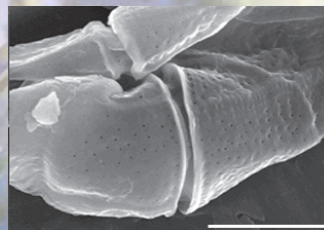
Paraphysomonas gladiata
Preisig et Hibberd

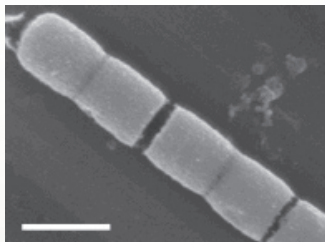


Mallomonas alpina
Pascher et Ruttner

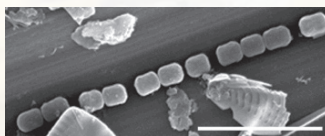


Ceratium hirundinella type
Furcoides (Lev.) Schröder

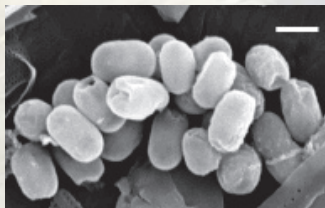




Oscillatoria geminata
(Menegh.) Gom.

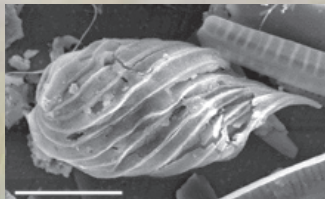


Anabaena sp.



Cyanobacteria sp.

Monomorpha pyrum
(Ehr.) Mereschk.

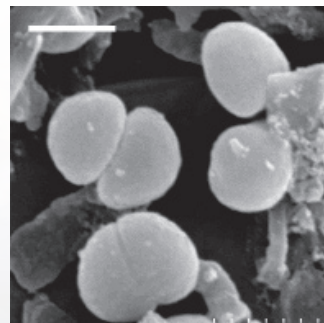


consists of phycoerythrin-containing cyanobacteria of the genus *Synechococcus* with an average cocci size of $0.65 \mu\text{m}$ and ellipsoid forms- $0.44 \times 0.33 \mu\text{m}$ (Belykh et al., 2005). The cell size of planktonic *Synechocystis* sp. makes up $2.7 \times 2.0 \mu\text{m}$. Indeed, it can be attributed to picoplankton (size $0.2\text{-}2 \mu\text{m}$ corresponds to picoplankton). In our opinion, these cocci can be referred to *Synechocystis pevalekii* Erceg. , they dwell on rocks in other algae mucus (Gollebach et al., 1953) and can be washed away into water by surf.

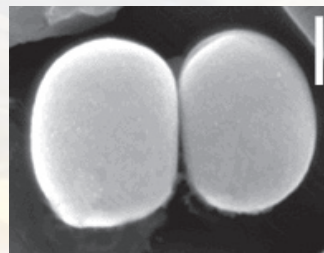
A rare component of Lake Teletskoye plankton is Euglenic algae, because it prefers shallow, warm reservoirs and often exists in the shore area. Because of a rather dense frustule, pellicle and well-preserved shape when drying during a specimen preparation, extra fixation is not needed. *Monomorpha pyrum* (Ehr.) Mereschk., a species widely spread in plains of the former USSR and even mountains up to 2000 m above sea level. They are able to winter under the ice and even freeze into ice. *Lepocinclis autumnalis* var. *sibirica* Popova does not have such a cosmopolitan distribution and good adaptation to various natural factors; the data are available for the lakes' shore of Novosibirsk oblast (Popova, 1955).

Many types of green algae species, especially chlorococcal, which is quite typical, often in summer, for large and deep lakes, preserve a cell shape during the specimen preparation very well. Using electron microscopy of plankton and benthos from Lake Teletskoye, we identified green algae species from the genera *Scenedesmus* and *Pediastrum*. *Scenedesmus quadricauda* var. *vesiculosus* Proschk., a form of widespread *S. quadricauda* with short curved spikes on corner cells of coenobium. Despite *S. ellipticus* Corda is a less common species, one can find it in lake's plankton. Though *Pediastrum*

целлюлозную оболочку, часто ослизненную и инкрустированную, например, кальцием. Среди них были выявлены *Synechocystis* sp., *Anabaena* sp., *Oscillatoria geminata* (Menegh.) Gom. Ранее было отмечено, что основную массу автотрофного пикопланктона в Телецком озере составляют фикоэритрин-содержащие цианобактерии из рода *Synechococcus* со средними размерами 0,65 мкм и 0,44 x 0,33 мкм (Belykh et al., 2005). Размер клеток *Synechocystis* sp., выявленного в пробах планктона Телецкого озера, составляет 2,7 x 2,0 мкм и может быть отнесена к пикопланктону (размерная фракция 0,2-2 мкм является пикопланктоном). По нашему мнению, это может быть *Synechocystis pevalekii* Erceg., который обитает на скалах в слизи других водорослей (Gollebakht et al., 1953), и может быть смыт в воду прибоем.

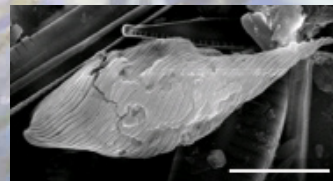


Synechocystis sp.



Редким компонентом планктона Телецкого озера являются эвгленовые водоросли, потому что они предпочитают мелкие, хорошо прогреваемые водоемы, часто обитают в прибрежной полосе озер. При этом они не требуют дополнительной фиксации, т.к. также имеют довольно плотную оболочку, пелликулу, и хорошо сохраняют форму. *Monomorphina pyrum* (Ehr.) Mereschk. – широко распространенный вид, обитающий повсюду в равнинной части бывшего СССР и даже заходящий в горы до высоты 2000 м над ур.м., может зимовать подо льдом и даже вмерзать в лед; *Lepocinclis autumnalis* var. *sibirica* Popova не обладает таким космополитичным характером распространения и широким диапазоном приспособления к различным природным факторам (Popova, 1955).

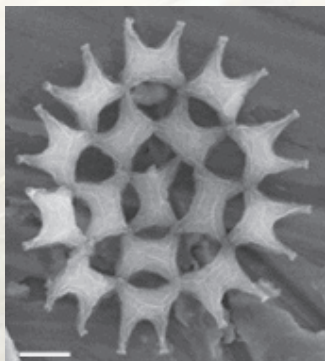
Lepocinclis autumnalis
var. *sibirica* Popova



Хорошо сохраняют форму клеток и многие виды зеленых водорослей, особенно хлорококковые. При СЭМ ис-

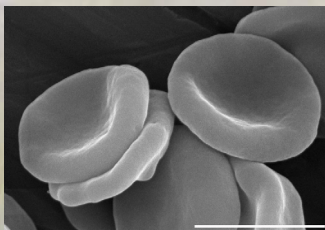


Scenedesmus ellipticus
Corda



Pediastrum duplex Meyen
var. *duplex*

Erythrocytes
Эритроциты

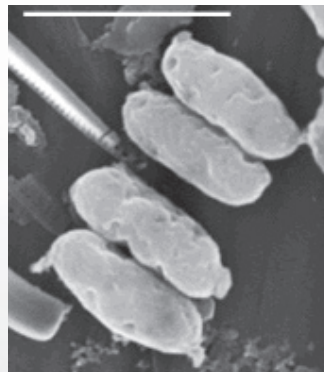


duplex Meyen var. *duplex* forming large flat coenobium is common for all continents and different-type reservoirs (Tsarenko, 1990), it was not previously noted by Voronikhin N.T. (Voronikhin, 1940) and Mitrofanova (Mitrofanova, 2000). *Pediastrum boryanum* (Turp.) Meyen var. *boryanum* has similar distribution, from time to time it is defined in eutrophic reservoirs. This specimen was identified in R.Tom phytoplankton.

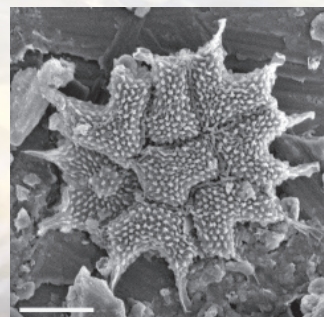
Cyanobacteria and Euglenian algae have dense frustules and hold their shape during specimen preparation without additional fixation, unlike the cells with soft cell membranes. Initially, we tested this technique when preparing human blood elements. After fixation, erythrocytes and echinocytes as/at the stage of erythrocyte die-off preserved their form. Later this method was tested on cryptophyte algae. Such a fixation made it possible to detect a small-cell cryptophyte in one of plankton specimens from Lake Teletskoye. Probably, it is *Rhodomonas pusilla* (Bachmann) Javornicky (= *Cryptomonas pusilla* Bachmann). This species is distinguished by its cosmopolitan character. It is found in water bodies and streams of the forest-steppe zone of West Siberia (Naumenko, 2014), Middle and Eastern Siberia (Bondarenko, Shchur, 2008) and in lakes of Belarus (Mikheeva, Luk'yanova, 2008; Biological ..., 2011). Previously, it was defined in oligotrophic highland lakes of Switzerland (Kiselev, 1954). Its cell size and environmental characteristics are similar to those from Lake Teletskoye, except for flagella length and location. For instance, one flagellum is short, while the other is twice as long that makes it different from the species description. Only a few cryptophyte species, for example, *Hemiselmis* sp. (Novarino, 2005; Cerino, Zingone, 2006) have such long flagella. It is of great

следованиях планктона и бентоса Телецкого озера были встречены виды из родов *Scenedesmus* и *Pediastrum*: *S. quadricauda* var. *vesiculosus* Proschk., *S. ellipticus* Corda. Вид *Pediastrum duplex* Meyen var. *duplex*, образующий крупные плоские ценобии, ранее для Телецкого озера не был отмечен (Voronikhin, 1940; Mitrofanova, 2000), хотя этот вид считается широко распространенным на всех континентах (Tsarenko, 1990). Схожим характером распространения отличается и *Pediastrum boryanum* (Turp.) Meyen var. *boryanum*, но встречается он чаще в эвтрофных водоемах с отметкой «единично-мало».

Клетки с мягкими клеточными мембранами требуют дополнительной фиксации. Первоначально такая методика была опробована нами при подготовке форменных элементов крови человека. В дальнейшем данный метод был использован на криптофитовых водорослях. После такой фиксации в планктоне Телецкого озера был выявлен мелкоклеточный криптофит, возможно *Rhodomonas pusilla* (Bachmann) Javornicky (= *Cryptomonas pusilla* Bachmann). Этот вид отличается космополитизмом, встречается в водоемах и водотоках лесостепной зоны Сибири (Naumenko, 2014; Bondarenko, Shchur, 2008), в озерах Белоруссии (Mikheyeva, Luk'yanova, 2008; Biologicheskoye..., 2011), в олиготрофных высокогорных озерах Швейцарии (Kiselev, 1954). Размеры клеток и экологическая характеристика подходят для экземпляра, найденного в Телецком озере, но длина и расположение его жгутиков – один жгут короткий, а другой в два раза длиннее – отличаются от описания вида. Такие длинные жгутики имеют лишь немногие виды криптофитовых, например, *Hemiselmis* sp. (Novarino, 2005; Cerino, Zingone, 2006). Стоит отметить, что изуче-

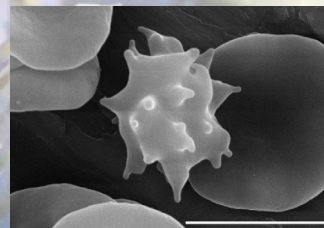


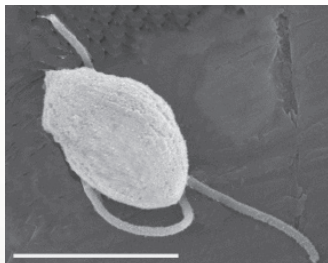
Scenedesmus quadricauda
var. *vesiculosus* Proschk.



Pediastrum boryanum
(Turp.) Meyen var.
boryanum

Echinocyte
Эхиноцит





Cryptomonas pusilla
Bachmann or
Hemiselmis sp.

importance to complement SEM-based study of cryptophytes with living material to define chromatophores color that is important in species identification.

Conclusion

Thus, the use of scanning electron microscopy allowed to supplement the data on composition of diatom, golden, green, euglean, cryptophyte algae and cyanobacteria in the algal flora of Teletskoye Lake and other water bodies of West Siberia. In addition, it became possible to obtain high-quality images not only of algae and other bioobjects with dense siliceous frustules or siliceous elements in the shell or on the cell surface, but also various microphytic objects with soft cell membranes by means of extra fixation.

References

- Anisimova O. V., Gololobova M. A. Morphological diversity of the genus *Hannaea* in Lake Teletskoye (Altai Republic, Russia) // *Diatoms: current status and research prospects: XIII International Scientific Conference of Algologists (XIII Diatom School)*. Borok, 2017. P. 5-6.
- Belykh O. I., Mitrofanova E. Yu., Safonova T. A. Autotrophic picoplankton in Lake Teletskoye (Gorny Altai, Russia) // *Actual problems of modern algology: III international Conf., April 20-23, 2005* / ed. T.V. Dogadina. Kharkov, 2005. P. 19–20.
- The biological diversity of the Belarusian Lake District / ed. L.M. Merzhvinsky. Vitebsk: UO «VSU named after P. M. Masheroва», 413 p.
- Bondarenko N.A., Schur L.A. Cryptophyta of reservoirs and watercourses of Eastern Siberia (Russia) // *Algology*. 2008. Vol. 18, No. 4. P. 408–422.
- Voloshko L.N. Golden algae of water bodies in the North of Russia. St. Petersburg: Renome, 2017. 380 p.
- Voronikhin N.N. Phytoplankton (excl. Bacillariales) of mountain lakes in the vicinity of Lake Teletskoye // *Research on lakes of the USSR*. L., 1933. Issue. 3. P. 97–105.

ние криптофитовых с помощью СЭМ должно обязательно дополняться исследованием живого материала для определения прижизненной окраски.

Заключение

Таим образом, с использованием СЭМ значительно пополнился состав водорослей из отделов диатомовых, золотистых, зеленых, эвгленовых, криптофитовых водорослей и цианобактерий в альгофлоре Телецкого озера, а также ряде других водных объектов Западной Сибири. При этом стало возможным получать изображения не только водорослей и других биообъектов с твердым кремнистым панцирем или кремнистыми элементами в оболочке или на поверхности клеток, но и объектов с мягкими клеточными мембранами при дополнительной фиксации.

Литература

Анисимова О. В., Гололобова М. А. Морфологическое разнообразие рода *Navicula* в Телецком озере (Республика Алтай, Россия) // Диатомовые водоросли: современное состояние и перспективы исследований: XIII Международная научная конференция альгологов (XIII Диатомовая школа). Борок, 2017. С. 5–6.

Белых О. И., Митрофанова Е. Ю., Сафонова Т. А. Автотрофный пикопланктон в Телецком озере (Горный Алтай, Россия) // Актуальные проблемы современной альгологии: Мат. докл. III междунар. конф., 20–23 апреля 2005 г. / под ред. Т. В. Догадиной. Харьков, 2005. С. 19–20.

Биологическое разнообразие Белорусского Поозерья: монография / под ред. Л.М. Мерзвинского. Витебск: УО «ВГУ им. П. М. Машерова», 413 с.

Бондаренко Н. А., Щур Л. А. Cryptophyta водоемов и водотоков Восточной Сибири (Россия) // Альгология. 2008. Т. 18, № 4. С. 408–422.

Волошко Л. Н. Золотистые водоросли водоемов Севера России. СПб.: Реноме, 2017. 380 с.

Genkal S. I. About the new for science representative of diatoms from Lake Teletskoye // *Biology of Inland Waters: Inform. Bull.* 1994. No. 97. P. 3–8.

Genkal S.I., Mitrofanova E. Yu. Materials for the Bacillariophyta flora of Lake Teletskoye (Altai Territory, Russia) // *Algology*. 1995. Vol. 5, No. 4. P. 375–377.

Genkal S.I., Popovskaya G.I., Kulikovsky M.S. A species new to science for the genus *Hannaea* Patrick (Bacillariophyta) // *Algology*. 2008. Vol. 18, No. 3. P. 328–336.

Gollebakh M.M., Kosinskaya E.K., Polyansky V.I. Blue-green algae. M.: Soviet science, 1953. 630 s. (Key to freshwater algae of the USSR; issue 2).

Diatoms of the USSR (fossil and modern). T. I. L.: Nauka, 1974. 403 p.

Zabelina M.M., Kiselev I.A., Proshkina-Lavrenko A.I. et al. Diatoms. M.: Soviet science, 1951. 620 p. (Key to freshwater algae of the USSR; issue 4).

Kamzolkina O. V., Bogdanov A. G. Methodological manual for microscopy in the study of fungi and algae. M.: Partnership of scientific publications of KMK, 2017. 115 p.

Kiselev I.A. Pyrophyte algae. M.: Soviet science, 1954. 212 p. (Key to freshwater algae of the USSR; issue 6).

Kulikovskiy M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Identifier of diatoms of Russia. Yaroslavl: Filigree, 2016. 804 p.

Mikheeva T.M., Lukyanova E.V. Phytoplankton / *Bulletin of the ecological state of the lakes Narochny, Myastroye, Batorino* (2008). Ed. A.P. Ostapeni. Minsk: BSU, 2009. P. 28–40.

Mitrofanova E. Yu. Phytoplankton of Lake Teletskoye (Gornyy Altai, Russia): Author. dis ... cand. biol. sciences. M.: Moscow State University, 2000. 21 s.

Mitrofanova E. Yu. Variety of centric diatoms in phytoplankton as one of the factors and indicators of ecosystem stability of a deep oligotrophic lake (on the example of Lake Teletskoye, Gornyy Altai, Russia) // *Ecology*. 2011. No 3. P. 233–236.

Naumenko Yu. V. Cryptophytic algae in streams and reservoirs of Western Siberia // *Plant World of Asian Russia*. 2014. No. 1 (13). P. 3–8.

Popova T.G. Euglenae algae. M.: Soviet science, 1955. 282 p. (Key to freshwater algae of the USSR; issue 7).

Воронихин Н. Н. Фитопланктон (excl. Bacillariales) горных озер в окрестностях Телецкого озера // Исследование озер СССР. Л., 1933. Вып. 3. С. 97–105.

Генкал С. И. О новом для науки представителе диатомовых водорослей из оз. Телецкое // Биология внутренних вод: Информ. бюлл. 1994. № 97. С. 3–8.

Генкал С. И., Митрофанова Е. Ю. Материалы к флоре Bacillariophyta Телецкого озера (Алтайский край, Россия) // Альгология. 1995. Т. 5, № 4. С. 375–377.

Генкал С. И., Поповская Г. И., Куликовский М. С. Новый для науки вид рода *Hannaea* Patrick (Bacillariophyta) // Альгология. 2008. Т. 18, № 3. С. 328–336.

Голлебах М. М., Косинская Е. К., Полянский В. И. Синезеленые водоросли. М.: Советская наука, 1953. 630 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР; вып. 2).

Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). Т. I. Л.: Наука, 1974. 403 с.

Забелина М. М., Киселев И. А., Прошкина-Лавренко А. И и др. Диатомовые водоросли. М.: Советская наука, 1951. 620 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР; вып. 4).

Камзолкина О. В., Богданов А. Г. Методическое пособие по микроскопии в исследованиях грибов и водорослей. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2017. 115 с.

Киселев И. А. Пирофитовые водоросли. М.: Советская наука, 1954. 212 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР; вып. 6).

Куликовский М. С., Глущенко А. М., Генкал С. И., Кузнецова И. В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань, 2016. 804 с.

Михеева Т. М., Лукьянова Е. В. Фитопланктон / Бюллетень экологического состояния озер Нарочь, Мясро, Баторино (2008 год). Под ред. А. П. Остапени. Минск: БГУ, 2009. С. 28–40.

Митрофанова Е. Ю. Фитопланктон Телецкого озера (Горный Алтай, Россия): Автореф. дис... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2000. 21 с.

Митрофанова Е. Ю. Разнообразие центрических диатомовых водорослей в фитопланктоне как один из факторов и индикаторов устойчивости экосистемы глубокого олиготрофного озера (на примере оз. Телецкое, Горный Алтай, Россия) // Экология. 2011. № 3. С. 233–236.

Науменко Ю. В. Крпифитовые водоросли в водотоках и водое-

Poretsky V.S., Sheshukova V.S. Diatoms of Lake Teletskoye and its rivers // Diatom Collection. L.: Publishing house of Leningrad State University, 1953. P. 107–173.

Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems. SPb: Gidrometeoizdat, 1992. 318 p.

Firsova A.D., Likhoshvay E.V. Atlas of chrysophyte algae cysts of Lake Baikal. Novosibirsk: Nauka, 2006. 148 p.

Tsarenko P. M. Short determinant of chlorococcal algae of the Ukrainian SSR. Kiev: Naukova Dumka, 1990. 208 p.

Armbrust E. V., Berges J. A., Bowler C. et al. 2004. The Genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: ecology, evolution, and metabolism // Science. Vol. 306. Issue 5693. P. 79–86.

Cerino, Zingone. 2006. A survey of cryptomonad diversity and seasonality at a coastal Mediterranean site // European Journal of Phycology. 41 (4). P. 363–378.

Felgenhauer B. E. 1987. Techniques for Preparing Crustaceans for Scanning Electron Microscopy // Journal of Crustacean Biology. Vol. 7. № 1. P. 71–76.

Novarino G. 2005. Nanoplankton protists from the western Mediterranean Sea. II. Cryptomonads (Cryptophyceae = Cryptomonadea) // Scientia Marina. 69 (1). P. 47–74.

Rad-Menéndez C., Stanley M., Green D. H., Cox E. J. 2015. Exploring cryptic diversity in publicly available strains of the model diatom *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae) // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Vol. 95. Issue 6. P. 1081–1090.



мах Западной Сибири // Растительный мир Азиатской России. 2014. № 1(13). С. 3–8.

Попова Т. Г. Эвгленовые водоросли. М.: Советская наука, 1955. 282 с. (Определитель пресноводных водорослей СССР; вып. 7).

Порецкий В. С., Шешукова В. С. Диатомовые Телецкого озера и связанных с ним рек // Диатомовый сборник. Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. С. 107–173.

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.

Фирсова А. Д., Лихошвай Е. В. Атлас цист хризифитовых водорослей озера Байкал. Новосибирск: Наука, 2006. 148 с.

Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. Киев: Наук. думка, 1990. 208 с.

Armbrust E. V., Berges J. A., Bowler C. et al. 2004. The Genome of the diatom *Thalassiosira pseudonana*: ecology, evolution, and metabolism // Science. Vol. 306. Issue 5. P. 79–86.

Cerino, Zingone. 2006. A survey of cryptomonad diversity and seasonality at a coastal Mediterranean site // European Journal of Phycology. 41 (4). P. 363–378.

Felgenhauer B. E. 1987. Techniques for Preparing Crustaceans for Scanning Electron Microscopy // Journal of Crustacean Biology. Vol. 7. № 1. P. 71–76.

Novarino G. 2005. Nanoplankton protists from the western Mediterranean Sea. II. Cryptomonads (Cryptophyceae = Cryptomonadea) // Scientia Marina. 69 (1). P. 47–74.

Rad-Menéndez C., Stanley M., Green D. H., Cox E. J. 2015. Exploring cryptic diversity in publicly available strains of the model diatom *Thalassiosira pseudonana* (Bacillariophyceae) // Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom. Vol. 95. Issue 6. P. 1081–1090.

