

# ВОДРОСЛИ — ALGAE

## Новые данные о морфологии панциря редкого вида *Sichuaniella lacustris* (*Bacillariophyceae*)

А. А. Георгиев, Д. А. Чудаев, Г. А. Белякова, М. А. Гололобова

Биологический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, 119234, Россия; semga2001@yandex.ru

**Резюме.** Получены новые данные о морфологии панциря единственного известного вида рода *Sichuaniella* — *S. lacustris*. Впервые для рода указывается наличие апикальных поровых полей необычного строения, не отличающихся по внешнему виду от штрихов с наружной поверхности, а также цис-симметрия панциря. Интересной особенностью является также то, что вальвокопула сростается со створкой в единое целое. Выдвигается предположение, что выросты на внутренней стороне створки играют роль соединительных структур, скрепляющих створки панциря друг с другом. На основании новых данных выдвигается гипотеза о принадлежности рода к порядку *Cymbellales*.

**Ключевые слова:** *Sichuaniella*, *Sichuania*, морфология панциря, апикальные поровые поля, Тибет, Китай, *Cymbellales*.

## New data on the frustule morphology of rare species *Sichuaniella lacustris* (*Bacillariophyceae*)

A. A. Georgiev, D. A. Chudaev, G. A. Belyakova, M. A. Gololobova

Faculty of Biology, M. V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 2, building 12, Moscow, 119234, Russia; semga2001@yandex.ru

**Abstract.** New data on the frustule morphology of a single known species of the genus *Sichuaniella* — *S. lacustris* are provided. Apical pore fields of unusual structure, resembling single multiseriate stria on the external valve surface, together with cis-type of frustule symmetry are revealed. Another interesting feature is fusion of valve and valvocopula in entire unit. Assumption is made that specific internal processes play role of linking structures, binding valves of the same frustule to each other. According to new morphological data it is postulated that the genus should be a member of the order *Cymbellales*.

**Keywords:** *Sichuaniella*, *Sichuania*, frustule morphology, apical pore fields, Tibet, China, *Cymbellales*.

Монотипный род *Sichuaniella* с единственным видом *S. lacustris* (L. Yanling, Lange-Bert. et Metzeltin) L. Yanling, Lange-Bert. et Met-

zeltin был описан из высокогорных озер Тибета (Yanling *et al.*, 2009, 2013). Данный вид изначально фигурировал под родовым наименованием *Sichuania* L. Yanling, Lange-Bert. et Metzeltin, 2009, *Iconogr. Diatomol.* 20: 687–691, pl. 1–5. Однако название *Sichuania* является более поздним омонимом *Sichuania* M. G. Gilbert et P. T. Li, 1995, in Gilbert, Stevens et Li, *Novon.* 5(1): 12 (*Asclepiadaceae*) и, соответственно, незаконно по правилам Международного кодекса номенклатуры водорослей, грибов и растений (McNeill *et al.*, 2012). В связи с этим, родовое название было изменено на *Sichuaniella* (Yanling *et al.*, 2013).

Род включает мелкие навикулоидные диатомовые, имеющие на внутренней поверхности створки два характерных выроста, не отмеченные у представителей других родов шовных диатомей. К настоящему моменту наши знания о морфологии и распространении *S. lacustris* исчерпываются данными протолога таксона (Yanling *et al.*, 2009). Вид известен только из трех высокогорных озер китайской провинции Сычуань: Wuyhua, Huohua и Wolong (Yanling *et al.*, 2009).

### Материал и методы

На кафедру микологии и альгологии МГУ им. М. В. Ломоносова был передан материал, содержащий большое число клеток *S. lacustris*. Данный образец представляет собой высушенные дерновинки нитчатых зеленых водорослей, собранные 03.11.2006 в одном из олиготрофных озер Тибета на высоте 4900 м над ур. м. (географические координаты 28°37'16.88" с. ш., 93°13'43.04" в. д.). Очистку материала производили перекисным методом (Kelly *et al.*, 2001), а также выдерживанием в содержащем гипохлориты бытовом отбеливателе в течение 10 мин, с последующей отмывкой в дистиллированной воде. Для световой микроскопии (микроскоп Leica DM750, оснащенный цифровой фотокамерой Leica EC3) створки заключали в анилинформальдегидную смолу Эльяшева (Elyashev, 1957). Электронно-микроскопические исследования проводили на сканирующем (СЭМ) Jeol JSM-6380 и трансмиссионном электронном микроскопах (ТЭМ) JEOL JEM-1011. Исследованные микропрепараты, очищенный и неочищенный материал хранятся в диатомовой коллекции кафедры микологии и альгологии МГУ им. М. В. Ломоносова (№ 313). Для иллюстрации поровых полей гомфоцимбеллоидных диатомей использованы материалы по оз. Глубокому (Chudaev, 2014).

## Результаты

Исследованная нами популяция *S. lacustris* (табл. I–III) характеризуется следующими морфологическими признаками.

Клетки одиночные, прикрепляются к субстрату (в нашем случае — к талломам *Cladophora* Kützing) лицевой частью створки<sup>1</sup> (табл. I, 14). Панцирь симметричный относительно трех плоскостей симметрии. Цингулюм представлен одной неперфорированной копулой, граница между ней и створкой неотчетливая (табл. II, 2, 3). По всей видимости, вальвокопула срастается со створкой в единую кремнеземную структуру. Створки эллиптические, линейно-эллиптические или эллиптически-ланцетные, 9.7–23.2 мкм дл., 5.8–9.3 мкм шир. (табл. I, 1–13). Граница между лицевой частью и загибом створки не выражена (табл. II, 2). Осевое поле узколанцетное, постепенно расширяющееся к центру, занимает около  $\frac{1}{4}$  ширины створки. Среднее поле не выражено. Штрихи очень грубые, в световом микроскопе выглядят гладкими, в центре створки параллельные, к концам становятся радиальными, 7.2–10.1/10 мкм у края, 8.2–11.4/10 мкм вдоль ветви шва на первичной стороне створки (табл. I, 1–13). Штрихи многорядные, состоят из 3–5 поперечных рядов ареол, постепенно расширяющиеся по направлению к краю створки (табл. II, 1). Снаружи штрихи и интерштрихи располагаются примерно на одном уровне (табл. II, 3), на внутренней поверхности интерштрихи в виде трансапикальных ребер заметно возвышаются над штрихами, из-за чего последние имеют вид поперечных углублений (табл. III, 1, 2). Ареолы мелкие, округлые, 32–36/10 мкм, с внутренней стороны прикрыты гименами, обычно разрушающимися при подготовке материала. Гимены пронизаны округлыми перфорациями (табл. II, 4). На каждом конце створки присутствует апикальное поровое поле треугольной формы. Поровые поля не пересечены конечными щелями шва, располагаются на первичной стороне створки, на загибе (табл. I, 15; III, 3). Снаружи перфорации поровых полей практически не отличаются от ареол штрихов, изнутри ряды пороидов частично или полностью прикрыты продольно ориентированными ребрами (табл. I, 15; II, 3; III, 3). Шов щелевидный, располагается по средней линии створки. Проксимальные наружные окончания шва простые, слегка отогнуты на первичную сторону створки, располагаются в конусовидных углублениях (табл. II, 1), в световом микроскопе имеющих вид крупных

<sup>1</sup> Поскольку мы исследовали только гербарный материал, мы не можем судить о подвижности клеток *S. lacustris*.

центральных пор (табл. I, 10). Наружные терминальные окончания шва представлены конечными щелями, загнутыми на вторичную сторону створки и оканчивающимися каплевидными расширениями на загибе (табл. I, 15). Конечные щели обеих створок панциря обращены в одну и ту же сторону, панцирь, таким образом, цист-типа (табл. I, 15; II, 3). Ветви шва на наружной поверхности створки слегка дугообразно выгнуты в направлении вторичной стороны створки, посередине каждой из ветвей шва присутствуют небольшие углубления неправильной формы (табл. II, 1). Внутренняя щель шва непрерывная, у концов створки оканчивается небольшими хеликтогlossами (табл. III, 1). Изнутри створки на первичной стороне рафостернума располагается пара крупных выростов, эллиптических в сечении вальварной плоскостью, с морщинисто-бугорчатой внутренней поверхностью (табл. III, 1, 2).

### Обсуждение

Диапазоны значений метрических признаков исследованной нами популяции *Sichuaniella* хорошо согласуются с данными протолога вида *S. lacustris* (длина створки 9–24 мкм, ширина 5.8–8.2 мкм, штрихов 10–11 в 10 мкм, ареол около 40 в 10 мкм) (Yanling *et al.*, 2009). Таким образом, изученный нами материал можно идентифицировать как *S. lacustris*.

В результате наших исследований удалось обнаружить ряд новых морфологических особенностей, не отмеченных ранее для рода *Sichuaniella*.

В первую очередь к ним относится наличие апикальных поровых полей (табл. I, 15; III, 3). Строение поровых полей у данного вида своеобразное, поскольку каждое поле больше всего напоминает отдельный видоизмененный многорядный штрих, в то время как у других пеннатных диатомовых данные структуры обычно закладываются как группы тесно сближенных штрихов (Сох, 1999, 2012). Для прояснения гомологии поровых полей *Sichuaniella* необходимо проведение морфогенетических исследований. Тем не менее, наличие тонких кремнеземных ребер, прикрывающих ряды пороидов с внутренней стороны порового поля (табл. III, 3), напоминает строение поровых полей у таких родов, как, например, *Cymbella*, *Gomphonema* и *Reimeria* (Round *et al.*, 1990: 487, fig. j; 501, fig. f; Chudaev, 2014: табл. 63, 3; 99, 28; 113, 1, 2), у которых также присутствуют подобные структуры на внутренней поверхности створки. Несмотря на то что в работе L. Yanling с соавт. (2009) указано, что апикальные поровые поля отсутствуют, внимательное изучение приведенных в

ней микрофотографий обнаруживает наличие этих структур (op. cit.: pl. 4, fig. 1, нижний конец створки).

Второй впервые установленной нами морфологической особенностью рода *Sichuaniella* является строгая дис-симметрия панциря (табл. I, 15; II, 3), что также свидетельствует в пользу близости этого рода к порядку *Cymbellales* (Round *et al.*, 1990). Этот признак специально не изучался при первоописании *S. lacustris* из озер Сычуаня. Однако на одной из приведенных в протологе микрофотографий (Yanling *et al.*, 2009: pl. 3, fig. 4) видно, что конечные щели шва обеих створок панциря загнуты в одну и ту же сторону, то есть он имеет дис-тип симметрии. О принадлежности к порядку *Cymbellales* свидетельствует и строение шва с прикрытыми плоским кремнеземным выростом на внутренней стороне створки центральными окончани-ями (табл. III, 1). Сходная ситуация наблюдается у родов *Cymbella*, *Cymbopleura* и ряда видов *Encyonema* (Krammer, 1997, 2002, 2003).

В-третьих, уникальным для рода является предположительное слияние в единое целое створки и вальвокопулы. Даже на расколотых створках и панцирях они остаются соединенными вместе (табл. III, 2), граница между ними намечается в виде неглубокой бороздки на наружной поверхности створки (табл. II, 2, 3). По-видимому, такое же строение вальвокопулы характерно для популяций из Сычуаня (см. Yanling *et al.*, 2009: pl. 3, fig. 2).

При первоописании рода *Sichuania* авторы обсуждали возможную близость его к родам *Hygropetra*, *Frankophila* и *Planothidium*. Однако единственным признаком, объединяющим все четыре рода, является наличие многорядных штрихов с расположенными на внутренней поверхности ареол гименами (Mayama, Idei, 2009). Таким образом, комплекс признаков указывает на принадлежность *Sichuaniella* к порядку *Cymbellales*, к которому, по нашему мнению, и должен быть отнесен данный род. Таксономическое положение его в пределах порядка остается неясным.

Следует также отметить, что нами не были обнаружены каналы, пронизывающие выросты, расположенные на внутренней поверхности створки, в первальварном направлении, которые отмечают авторы протолога (Yanling *et al.*, 2009). При анализе опубликованных ими микрофотографий (op. cit.: pl. 4, fig. 2) также не становится очевидным, что эти каналы на самом деле присутствуют. Возможно, за отверстия каналов были приняты углубления на внутренней поверхности выростов.

Функциональное значение выростов на внутренней поверхности створки неизвестно, но можно предположить, что они выполняют

роль внутренних соединительных структур, скрепляющих створки одного панциря. Структуры с подобной функцией известны, например, у представителей рода *Campyloneis* (Round *et al.*, 1990). У них вальвокопулы имеют необычное строение: плотно прилегают к створкам и на абвальварной поверхности несут выросты, по морфологии сходные с выростами у *S. lacustris* (De Stefano *et al.*, 2003), хотя в данном случае речь, скорее всего, идет о функциональной аналогии.

В заключение необходимо сказать, что для окончательного выяснения систематического положения рода *Sichuaniella* необходимо проведение молекулярно-филогенетических исследований, а также изучение строения пластид.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП МГУ им. М. В. Ломоносова при финансовой поддержке Минобрнауки РФ. Авторы выражают благодарность сотрудникам ЦКП (межкафедральная лаборатория электронной микроскопии биологического факультета) за помощь в работе на СЭМ. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 14-50-00029.

### Литература

- [Chudaev] Чудаев Д. А. 2014. *Диатомовые водоросли озера Глубокого (Московская область)*. Дис. ... канд. биол. наук. М.: 549 с.
- Cox E. J. 1999. Variation in patterns of valve morphogenesis between representatives of six biraphid diatom genera (Bacillariophyceae). *J. Phycol.* 35: 1297–1312.
- Cox E. J. 2012. Ontogeny, homology, and terminology — wall morphogenesis as an aid to character recognition and character state definition for pennate diatom systematics. *J. Phycol.* 48: 1–31.
- De Stefano M., Kooistra W. H. C. F., Marino D. 2003. Morphology of the diatom genus *Campyloneis* (Bacillariophyceae, Bacillariophyta), with a description of *Campyloneis juliae* sp. nov. and an evaluation of the function of the valvocopulae. *J. Phycol.* 39: 735–753.
- [Elyashev] Эльяшев А. А. 1957. О простом способе приготовления высокопреломляющей среды для диатомового анализа. *Тр. НИИ геологии Арктики*. 4: 74–75.
- Gilbert M. G., Stevens W. D., Li P. T. 1995. Notes on Asclepiadaceae of China. *Novon.* 5(1): 1–16.
- Kelly M. G., Adams C., Graves A. C., Jamieson J., Krokowski J., Lycett E. B., Murray-Bligh J., Prichard S., Wilkins C. 2001. *The Trophic Diatom Index: A User's Manual. Revised ed.* Bristol: 135 p.
- Krammer K. 1997. Die Cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part. *Biblioth. Diatomol. Bd.* 36. Berlin; Stuttgart: 382 S.
- Krammer K. 2002. *Cymbella. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitat. Vol. 3.* Ruggell: 584 p.

- Krammer K. 2003. Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afro-cymbula. *Diatoms of Europe: Diatoms of the european inland waters and comparable habitats. Vol. 4.* Ruggell: 530 p.
- Mayama S., Idei M. 2009. Fine structure of two Hygropetra species, Hygropetra gelasina sp. nov. and Hygropetra balfouriana (Bacillariophyceae), and the taxonomic position of the genus with special reference to Frankophila. *Phycol. Res.* 57: 290–298.
- McNeill J., Barrie F. R., Buck W. R., Demoulin V., Greuter W., Hawksworth D. L., Herendeen P. S., Knapp S., Marhold K., Prado J., Prud'homme Van Reine W. F., Smith G. F., Wiersema J. H., Turland, N. J. 2012. International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants (Melbourne code) adopted by the Eighteenth International Botanical Congress, Melbourne, Australia, July 2011. *Reg. Veg. Vol. 154.* Ruggell: 240 p.
- Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The Diatoms. Biology and morphology of the genera.* Cambridge: 747 p.
- Yanling L., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2009. Sichuania lacustris spec. et gen. nov. an as yet monospecific genus from oligotrophic high mountain lakes in the Chinese province Sichuan. *Iconogr. Diatomol. Vol. 20.* Ruggel: 687–703.
- Yanling L., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2013. Sichuaniella Li Yanling, Lange-Bertalot et Metzeltin nom. nov. — a new name for Sichuania Li Yanling et al. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 7.* Königstein: 698.

### References

- Chudaev D. A. 2014. *Diatomovye vodorosli ozera Glubokogo (Moskovskaya oblast).* Dis. ... Kand. biol. nauk. [Diatoms of Lake Glubokoe (Moscow Region). Cand. Sci. Thesis] Moscow: 549 p. (In Russ.).
- Cox E. J. 1999. Variation in patterns of valve morphogenesis between representatives of six biraphid diatom genera (Bacillariophyceae). *J. Phycol.* 35: 1297–1312.
- Cox E. J. 2012. Ontogeny, homology, and terminology — wall morphogenesis as an aid to character recognition and character state definition for pennate diatom systematics. *J. Phycol.* 48: 1–31.
- De Stefano M., Kooistra W. H. C. F., Marino D. 2003. Morphology of the diatom genus Campyloneis (Bacillariophyceae, Bacillariophyta), with a description of Campyloneis juliae sp. nov. and an evaluation of the function of the valvocopulae. *J. Phycol.* 39: 735–753.
- Elyashev A. A. 1957. On a simple method of preparing a high-refractive medium for diatom analysis. *Trudy NII geologii Arctiki* 4: 74–75. (In Russ.)
- Gilbert M. G., Stevens W. D., Li P. T. 1995. Notes on Asclepiadaceae of China. *Novon.* 5(1): 1–16.
- Kelly M. G., Adams C., Graves A. C., Jamieson J., Krokowski J., Lycett E. B., Murray-Bligh J., Prichard S., Wilkins C. 2001. *The Trophic Diatom Index: A User's Manual. Revised ed.* Bristol: 135 p.
- Krammer K. 1997. Die Cymbelloiden Diatomeen. Eine Monographie der weltweit bekannten Taxa. Teil 1. Allgemeines und Encyonema Part. *Biblioth. Diatomol. Bd. 36.* Berlin; Stuttgart: 382 S.

- Krammer K. 2002. *Cymbella. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitat. Vol. 3.* Ruggell: 584 p.
- Krammer K. 2003. *Cymbopleura, Delicata, Navicymbula, Gomphocymbellopsis, Afro-cymbula. Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 4.* Ruggell: 530 p.
- Mayama S., Idei M. 2009. Fine structure of two *Hygropetra* species, *Hygropetra gelasina* sp. nov. and *Hygropetra balfouriana* (Bacillariophyceae), and the taxonomic position of the genus with special reference to *Frankophila*. *Phycol. Res.* 57: 290–298.
- McNeill J., Barrie F. R., Buck W. R., Demoulin V., Greuter W., Hawksworth D. L., Herendeen P. S., Knapp S., Marhold K., Prado J., Prud'homme Van Reine W. F., Smith G. F., Wiersema J. H., Turland, N. J. 2012. International Code of Nomenclature for algae, fungi and plants (Melbourne code) adopted by the Eighteenth International Botanical Congress, Melbourne, Australia, July 2011. *Reg. Veg. Vol. 154.* Ruggell: 240 p.
- Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The Diatoms. Biology and morphology of the genera.* Cambridge: 747 p.
- Yanling L., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2009. *Sichuania lacustris* spec. et gen. nov. an as yet monospecific genus from oligotrophic high mountain lakes in the Chinese province Sichuan. *Iconogr. Diatomol. Vol. 20.* Ruggell: 687–703.
- Yanling L., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2013. *Sichuaniella* Li Yanling, Lange-Bertalot et Metzeltin nom. nov. — a new name for *Sichuania* Li Yanling et al. *Diatoms of Europe: Diatoms of the European inland waters and comparable habitats. Vol. 7.* Königstein: 698.



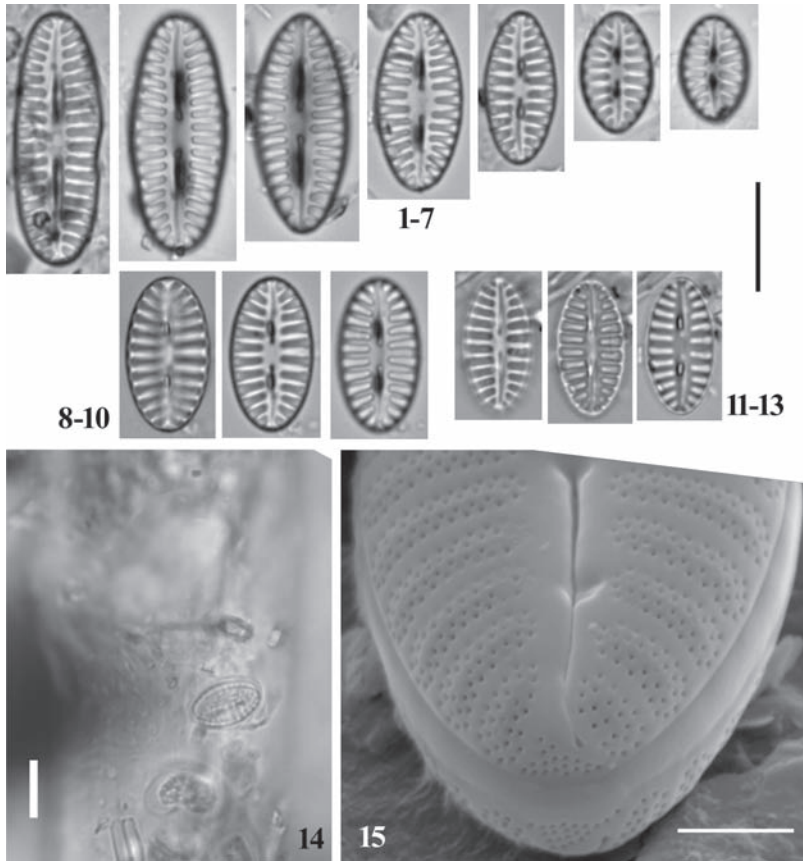


Таблица I. *Sichiuniella lacustris* из высокогорного озера в Тибете. 1–7 — изменчивость в ходе редукции размеров створок; 8–10 — вид с наружной поверхности створки в разных оптических сечениях; 11–13 — вид с внутренней поверхности створки в разных оптических сечениях; 14 — необработанный материал, клетка *S. lacustris*, прикрепленная к таллосу *Cladophora*; 15 — часть панциря с наружной поверхности, видны треугольные апикальные поровые поля, сросшаяся с эпитекой (снизу) вальвокопула, конечные щели створок панциря направлены в одну сторону. 1–14 — СМ; 15 — СЭМ. Масштаб: 1–14 — 10 мкм; 15 — 2 мкм.

*Sichiuniella lacustris* from high-altitude lake in Tibet. 1–7 — variability during size reduction; 8–10 — external valve view in different optical sections; 11–13 — internal valve view in different optical sections; 14 — untreated material, *S. lacustris* cell attached to *Cladophora* thallus; 15 — external view of frustule apex, notice triangular apical pore fields, valvocopula fused with epitheca (bottom), terminal raphe fissures deflected to the same side on both valves. 1–14 — light microscope; 15 — SEM. Scale bars: 1–14 — 10  $\mu\text{m}$ ; 15 — 2  $\mu\text{m}$ .

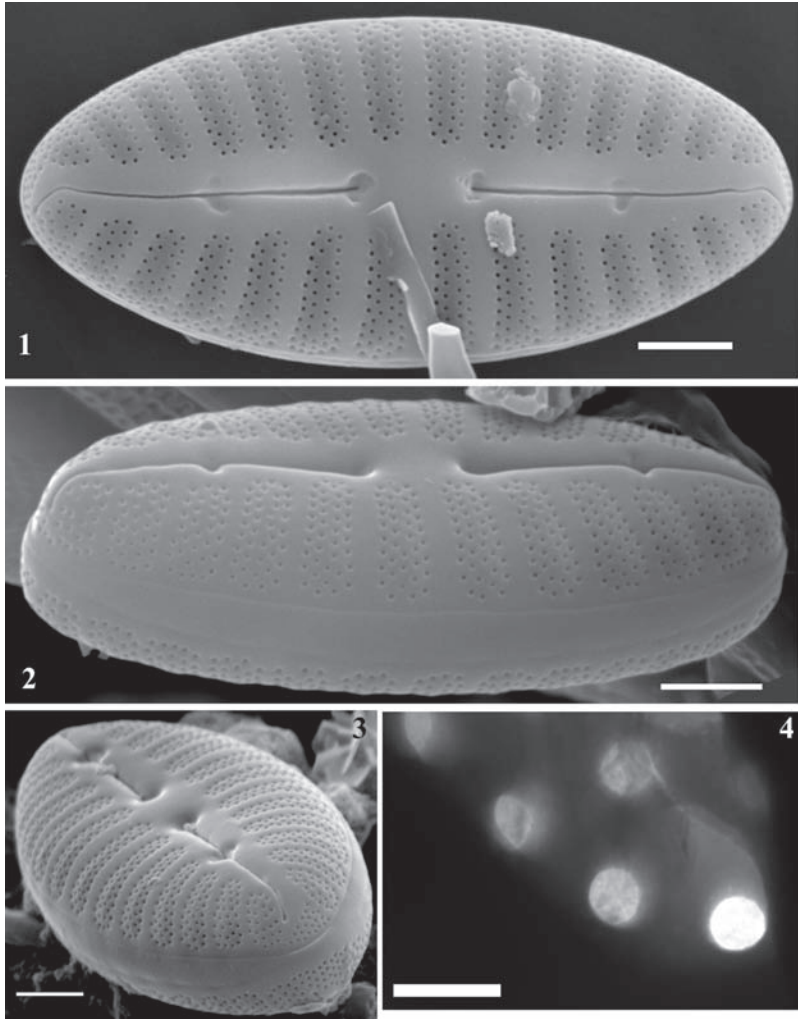


Таблица II. *Sichuaniella lacustris* из высокогорного озера в Тибете.  
1–3 — створка и целые панцири с наружной поверхности: 1 — лицевая часть створки, 2, 3 — лицевая часть и загиб створки, вальвокопула, сросшаяся с эпитекой (снизу); 4 — гимены с беспорядочно расположенными перфорациями. 1–3 — СЭМ; 4 — ТЭМ. Масштаб: 1–3 — 2 мкм; 4 — 0.2 мкм.

*Sichuaniella lacustris* from high-altitude lake in Tibet.

1–3 — external view of valves and whole frustules: 1 — valve face, 2–3 — valve face and mantle, valvocopula is fused with epitheca (bottom); 4 — TEM, hymenes with unorderly scattered perforations. 1–3 — SEM; 4 — TEM. Scale bars: 1–3 — 2  $\mu\text{m}$ ; 4 — 0.2  $\mu\text{m}$ .

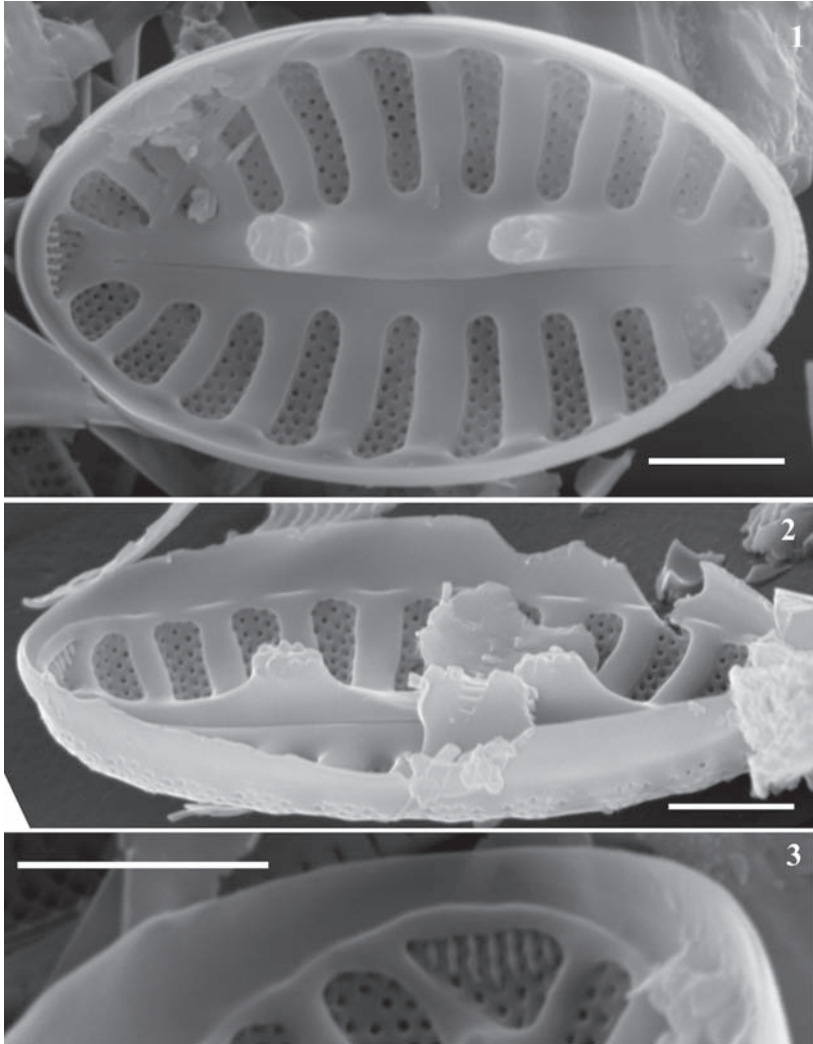


Таблица III. *Sichuaniella lacustris* из высокогорного озера в Тибете.  
1–3 — внутренняя поверхность створки: 2 — сломанная створка, вальвокопула остается прикрепленной к створке и ломается вместе с ней, 3 — апикальное полевое поле, видны неполные тонкие ребра, прикрывающие ряды пор изнутри.  
СЭМ. Масштаб: 2 мкм.

*Sichuaniella lacustris* from high-altitude lake in Tibet.

1–3 — internal valve views: 2 — broken valve, fused valvocopula breaks together with valve, 3 — apical pore field, short thin costae, covering rows of pores internally are visible. SEM. Scale bars: 2  $\mu\text{m}$ .