О таксономическом положении двух видов ахнантоидных диатомовых (*Achnanthidiaceae*, *Bacillariophyceae*)

Д. А. Чудаев[1], М. А. Гололобова[1], М.С. Куликовский[2]

[1]Биологический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Москва, 119991, Россия, chudaev@list.ru

[2]Лаборатория систематики и географии водных растений, Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742, Россия

Резюме. Представлены результаты изучения створок двух видов пресноводных ахнантоидных диатомовых водорослей методами световой и сканирующей электронной микроскопии. На основании строения терминальных наружных окончаний шва, представленных простыми порами, и кокконеоидного габитуса *Achnanthes joursacensis* Hérib. перенесен в род *Platessa*. *Achnanthes rostellata* A. Cleve перенесен в род *Lemnicola* на основании наличия ставроса на шовной створке и загнутых в противоположные стороны конечных наружных щелей шва.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, таксономия, морфология, *Achnanthidiaceae, Platessa joursacensis* comb. nov., *Lemnicola rostellata* comb. nov.

On taxonomic position of two species of achnanthoid diatoms (*Achnanthidiaceae*, *Bacillariophyceae*)

D. A. Chudaev[1], M. A. Gololobova[1], M. S. Kulikovskiy[2]

[1]Faculty of Biology, M. V. Lonomosov Moscow State University, Leninskie Gory 1-12, Moscow, 119991, Russia, chudaev@list.ru

[2]Laboratory of water plant taxonomy and geography, Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Nekouzskiy District, Yaroslavl Region, 152742, Russia

Abstract. Results of light and scanning electron microscopy investigations of valves of two freshwater achnanthoid diatoms are provided. Based on the structure of external terminal raphe endings, represented by simple pores, and cocconeoid habitus *Achnanthes joursacensis* Hérib. is transferred to the genus *Platessa*. *Achnanthes rostellata* A. Cleve is transferred to the genus *Lemnicola* due to presence of stauros on raphid valve and external terminal raphe fissures curved in opposite directions.

Keywords: diatoms, taxonomy, morphology, *Achnanthidiaceae, Platessa joursacensis* comb. nov., *Lemnicola rostellata* comb. nov.

Семейство *Achnanthidiaceae* Mann, объединяющее большинство таксонов пресноводных одношовных диатомовых, исходно включало только два рода: *Achnanthidium* Kütz. и *Eucocconeis* Cleve (Round *et al.*, 1990). Впоследствии концепция рода *Achnanthidium* подверглась пересмотру, было выделено несколько новых пресноводных родов:

Psammothidium Bukhtiyarova et Round (Bukhtiyarova, Round, 1996), *Planothidium* Round et Bukhtiyarova (syn. *Achnantheiopsis* Lange-Bertalot (Lange-Bertalot, 1997)), *Rossithidium* Round et Bukhtiyarova, *Karayevia* Round et Bukhtiyarova ex Round, *Kolbesia* Round et Bukhtiyarova ex Round (Round, Bukhtiyarova, 1996; Round, 1998), *Lemnicola* Round et Basson (Round, Basson, 1997), *Platessa* Lange-Bertalot (Krammer, Lange-Bertalot, 2004). Дополнительные сложности в систематике и номенклатуре данной группы диатомовых связаны с тем, что родовая принадлежность многих видов до сих пор остается неясной; формально такие таксоны все еще относятся к роду *Achnanthes* Bory (Hofmann *et al.*, 2011).

Целью настоящей работы является прояснение родовой принадлежности двух видов диатомовых водорослей из данной группы: *Achnanthes joursacensis* Hérib. и *Achnanthes rostellata* A. Cleve — на основании изучения ультраструктурных особенностей их створок.

Материалы и методы

Материалом для работы послужили пробы современных диатомовых и колонки донных осадков из оз. Глубокого, расположенного в Рузском р-не Московской обл. (55°45′ с. ш., 36°30′ в. д). Подробные сведения о гидрологии, гидрохимии, морфологии озера, строении и происхождении озерной котловины, составе растительных и животных организмов могут быть почерпнуты в ряде статей и монографий (Shcherbakov, 1967; Smirnov, 1986; Yanin *et al.*, 1986; Shaporenko, Shilkrot, 2005). Очистку материала от органического вещества проводили перекисным методом (Kelly *et al.*, 2001). Для изучения материала при помощи световой микроскопии (СМ) очищенные кремнеземные компоненты клеток диатомовых водорослей заключали в анилино-формальдегидную смолу (Elyashev, 1957). Для сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) стекла или кусочки фольги с панцирями приклеивали к алюминиевым либо латунным столикам бытовым лаком для ногтей или двусторонним электропроводным скотчем и покрывали слоем Au-Pd или Ag-Pd в ионном распылителе Giko IB-3. Исследование постоянных препаратов проводили на различных моделях светлопольных микроскопов (ScienOp B-52, Carl Zeiss Axioscop 40 FL, Leica DM750), оснащенных 100-кратными масляно-иммерсионными ахроматическими или планахроматическими объективами с нумерической апертурой 1.25. Параллельно производили микрофотосъемку с использованием цифровых фотокамер с разрешением 5 Mpx (DCM 500), 1 Mpx (Zeiss AxioCam MRc) и 3 Mpx

(Leica EC3), захват изображений осуществляли в формате TIFF в программах ScopePhoto 3.0, Zeiss Axiovision, LAS EZ 2.1.0. Электронно-микроскопические исследования проводили на сканирующих электронных микроскопах моделей Jeol JSM-6380 и CamScan S2 при рабочем расстоянии 10–20 мм и ускоряющем напряжении 15–20 кВ. Данные сохраняли в виде цифровых изображений в формате TIFF.

Исследованные материалы хранятся в диатомовой коллекции кафедры микологии и альгологии биологического факультета МГУ.

Результаты и обсуждение

Platessa joursacensis (Hérib.) Chudaev, comb. nov.

Basionymum: *Achnanthes joursacensis* Hérib. 1903, in Les Diatomées Fossiles d'Auvergne Paris: 5; pl. 11, fig. 26–27.

≡ *Planothidium joursacense* (Hérib.) Lange-Bert. 1999, Iconogr. Diatomol. 6: 283.

Створки широкоэллиптические с широко закругленными концами, 8.9–14.3 мкм дл., 5.5–8.0 мкм шир. Шовная створка (табл. I, *5–9*) с очень узким осевым полем, среднее поле слабо выраженное, небольшое, ромбовидное. Штрихи однорядные, радиальные, в середине створки обычно разреженные, у концов створки дуговидно изогнутые, 17.2–21.2 в 10 мкм вдоль ветви шва, 13.4–17.8 в 10 мкм по краю створки в середине. Ареолы с линейными, вытянутыми в апикальном направлении отверстиями на наружной поверхности створки, изнутри прикрыты выпуклыми гименами и лежат в трансапикальных углублениях (альвеолах). На загибе створки один ряд округлых ареол, отграниченных от остальной части штриха гиалиновой полосой, идущей по краю лицевой части створки, альвеолы на внутренней поверхности не продолжаются на загибе. На лицевой части встречаются отдельные округлые, местами сдвоенные ареолы. Частота ареол 53.0–56.3 в 10 мкм. Шов нитевидный, наружные центральные окончания — каплевидные поры, окруженные подковообразными бороздками, наружные конечные окончания простые, слегка каплевидно расширенные. Внутренние проксимальные окончания отогнуты в противоположные стороны, терминальные — отогнутые в противоположные стороны хеликтоглоссы. Бесшовная створка (табл. I, *1–4*; II, *1–2*) с узколанцетным осевым полем и односторонним средним полем, доходящим до края створки. На внутренней поверхности среднего поля присутствует капюшоновидная структура. Строение и расположение штрихов и ареол сходно с таковым на шовной створке, за исключением того, что гиалиновая полоса по краю лицевой части створки отсутствует, и штрихи в центральной части обычно расположены регулярно. Частота штрихов 17.1–20.4 в 10 мкм вдоль осевого поля, 14.1–16.6 в 10 мкм по краю створки в центре, ареол 54.5–54.7 в 10 мкм.

К настоящему моменту для данного вида известна ультраструктура только внутренней поверхности шовной створки (Lange-Bertalot, Krammer, 1989: Taf. 92: 7). При изучении морфологии панциря при помощи СЭМ было обнаружено, что конечные наружные окончания шва представлены каплевидными порами, характерными для рода *Platessa*, а не длинными, односторонне загнутыми щелями, характерными для рода *Planothidium* (Krammer, Lange-Bertalot, 2004: 442–443). Штрихи однорядные, с отдельными двойными ареолами, тенденция к образованию однорядных штрихов, наряду с «кокконеоидным» габитусом, также, по мнению цитированных авторов, отличает род *Platessa* от *Planothidium*, у которого штрихи чаще всего состоят из 3 и более рядов ареол. На этом основании предлагается новая номенклатурная комбинация.

Lemnicola rostellata (A. Cleve) Chudaev, comb. nov.

Basionymum: *Achnanthes rostellata* A. Cleve, 1934, Soc. Sci. Fenn. Comm. Biol. 4(14): 41; pl. 2, fig. 50.

= *Stauroneis recondita* Krasske, 1937, Arch. Hydrobiol. 31: 41.

Створки широкоэллиптические с клювовидными концами, 14.5–17.5 мкм дл., 6.1–6.9 мкм шир. Шовная створка (табл. III, *2*, *4*, *6*–*8*) с узким, линейным, расширяющимся в центре осевым полем и прямоугольным либо бабочковидным средним полем (ставросом), достигающим краев створки. Штрихи однорядные (встречаются двурядные участки), плохо различимы в СМ, радиальные, у концов параллельные, 25.1–34.2 в 10 мкм вдоль ветви шва, 23.8–32.1 в 10 мкм по краю в субцентральной части. Ареолы с округлыми или слегка апикально вытянутыми отверстиями на наружной поверхности створки, изнутри закрыты выпуклыми округлыми гименами, частота ареол 62.0–67.1 в 10 мкм. Шов нитевидный, наружные центральные окончания — небольшие поры, окруженные бороздками, тянущимися примерно до $^{1}/_{4}$ длины ветви шва. Наружные конечные окончания — загнутые в противоположные стороны щели. Внутренние центральные окончания шва в виде едва заметно отогнутых в противоположные стороны пор, внутренние конечные — хеликтоглоссы. Бесшовная створка (табл. III, *1, 3, 5, 9*) с узколанцетным, ромбовидно расширяющимся к центру осевым полем, среднее поле асимметричное, с одной стороны треугольное, с другой — в виде полуфасции, достигающей либо не достигающей края створки. С внутренней стороны створки стернум имеет вид двух приподнятых над общим уровнем структур. Штрихи однорядные, слабо радиальные, у концов параллельные, 22.9–26.8 в 10 мкм вдоль осевого поля, 20.1–23.1 в 10 мкм по краю створки в середине, 20.8–23.3 в 10 мкм по краю в субцентральной части. Отверстия ареол на внутренней поверхности створки квадратные, в проксимальной части центральных штрихов поперечно удлиненные, гимены, по-видимому, разрушились при подготовке материала. Частота ареол 46.1–51.5 в 10 мкм.

Морфология этого редкого вида впервые изучена при помощи СЭМ в ходе настоящей работы. *Achnanthes rostellata* наиболее близок к *A. exigua* Grunow, родовая принадлежность которого на настоящий момент также является спорной. Одни авторы (Taylor *et al.*, 2014) относят последний таксон к роду *Achnanthidium*, в то время как другие (Pliński, Witkowski, 2011) — к роду *Lemnicola*. Мы разделяем точку зрения последних авторов. Наличие ставроса на шовной створке, а также загнутые в противоположные стороны конечные наружные щели шва, сближают данные виды с родом *Lemnicola* (Round, Basson, 1997). На этом основании предлагается новая номенклатурная комбинация.

Работа выполнена на оборудовании ЦКП МГУ имени 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. Обработка материала выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-04-01569-а. Морфологическая и таксономическая часть работы выполнена при поддержке гранта РНФ 14-14-00555.

Литература

Bukhtiyarova L., Round F. E. 1996. Revision of the genus Achnanthes sensu lato. Psammothidium, a new genus based on A. marginulatum. *Diatom Res.* 11(1): 1–30.

Cleve-Euler A. 1934. The diatoms of Finnish Lapland. 4(14): 154 p.

[Elyashev] Эльяшев А. А. 1957. О простом способе приготовления высокопреломляющей среды для диатомового анализа. *Тр. НИИ геологии Арктики*. 4: 74–75.

Héribaud J. 1903. *Les Diatomées Fossiles d'Auvergne. 2e mém*. Paris: 166 p.

Hofmann G., Werum M., Lange-Bertalot H. 2011. *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. Ruggel: 908 S.

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. Revis. ed*. Bristol: 135 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 2004. Bacillariophyceae 4. Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae), Gomphonema, Gesamtliteraturverzeichnis. *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. Erg. 2. Aufl*. Heidelberg: 468 S.

Krasske G. 1937. Spät- und postglaziale Süßwasser-Ablagerungen auf Rügen. II. Diatomeen aus den postglazialen Seen auf Rügen. *Arch. Hydrobiol.* 31: 38–53.

Lange-Bertalot H. 1997. Zur Revision der Gattung Achnanthes sensu lato (Bacillariophyceae): Achnantheiopsis, eine neue Gattung mit dem Typus generis A. lanceolata. *Arch. Protistenk.* 148: 199–208.

Lange-Bertalot H. 1999. Neue Kombinationen von Taxa aus Achnanthes Bory (sensu lato). *Iconogr. Diatomol. Vol. 6*. Königstein: 276–289.

Lange-Bertalot H., Krammer K. 1989. Achnanthes. Eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung Cocconeis und Nachträgen zu den Naviculaceae. *Biblioth. Diatomol. Bd 18*. Berlin, Stuttgart: 393 S.

Pliński M., Witkowski A. 2011. Okrzemki — Bacillariophyta. Część druga: Okrzemki pierzaste (Fragilariophyceae, Eunotiophycidae, Achnanthales). *Flora Zatoki Gdańskiej i wód przyległych (Bałtyk Południowy) 4/2*. Gdańsk: 167 p.

Round F. E. 1998. Validation of some previously published «achnanthoid» genera. *Diatom Res.* 13(1): 181.

Round F. E., Basson, P. W. 1997. A new monoraphid diatom genus (Pogoneis) from Bahrain and the transfer of previously described species A. hungarica and A. taeniata to new genera. *Diatom Res.* 12(1): 71–81.

Round F. E., Bukhtiyarova L. 1996. Four new genera based on Achnanthes (Achnanthidium) together with a re-definition of Achnanthidium. *Diatom Res.* 11(2): 345–361.

Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. 1990. *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge: 747 p.

[Shaporenko, Shilkrot] Шапоренко С. И., Шилькрот Г. С. 2005. Многолетняя изменчивость гидрохимических параметров озера Глубокого. *Тр. Гидробиологической станции на Глубоком озере. Т. 9.* М.: 30–63.

[Shcherbakov] Щербаков А. П. 1967. *Озеро Глубокое. Гидробиологический очерк*. М.: 378 с.

Smirnov N. N. 1986. Lake Glubokoe (Moscow region, Eastern Europe), general characteristics. *Hydrobiologia.* 141: 1–6.

Taylor J. C., Cocquyt C., Karthick B., Van de Vijver B. 2014. Analysis of the type of Achnanthes exigua Grunow (Bacillariophyta) with the description of a new Antarctic diatom species. *Fottea.* 14(1): 43–51.

Yanin E. P., Kashina L. I., Sayet Yu. E. 1986. Hydrochemistry of Lake Glubokoe. *Hydrobiologia.* 141: 11–23.

References

Bukhtiyarova L., Round F. E. 1996. Revision of the genus Achnanthes sensu lato. Psammothidium, a new genus based on A. marginulatum. *Diatom Res.* 11(1): 1–30.

Cleve-Euler A. 1934. The diatoms of Finnish Lapland. 4(14): 154 p.

Elyashev A. A. 1957. On a simple method of preparing a high refractive medium for diatom analysis. *Trudy Nauchno-Issl. Inst. Geol. Arktiki.* 4: 74–75. (In Russ.)

Héribaud J. 1903. *Les Diatomées Fossiles d'Auvergne. 2e mém*. Paris: 166 p.

Hofmann G., Werum M., Lange-Bertalot H. 2011. *Diatomeen im Süßwasser-Benthos von Mitteleuropa*. Ruggel: 908 S.

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. Revis. ed*. Bristol: 135 p.

Krammer K., Lange-Bertalot H. 2004. Bacillariophyceae 4. Achnanthaceae, Kritische Ergänzungen zu Navicula (Lineolatae), Gomphonema, Gesamtliteraturverzeichnis. *Süßwasserflora von Mitteleuropa 2/4. Erg. 2. Aufl*. Heidelberg: 468 S.

Krasske G. 1937. Spät- und postglaziale Süßwasser-Ablagerungen auf Rügen. II. Diatomeen aus den postglazialen Seen auf Rügen. *Arch. Hydrobiol.* 31: 38–53.

Lange-Bertalot H. 1997. Zur Revision der Gattung Achnanthes sensu lato (Bacillariophyceae): Achnantheiopsis, eine neue Gattung mit dem Typus generis A. lanceolata. *Arch. Protistenk.* 148: 199–208.

Lange-Bertalot H. 1999. Neue Kombinationen von Taxa aus Achnanthes Bory (sensu lato). *Iconogr. Diatomol. Vol. 6*. Königstein: 276–289.

Lange-Bertalot H., Krammer K. 1989. Achnanthes. Eine Monographie der Gattung mit Definition der Gattung Cocconeis und Nachträgen zu den Naviculaceae. *Biblioth. Diatomol. Bd 18*. Berlin, Stuttgart: 393 S.

Pliński M., Witkowski A. 2011. Okrzemki — Bacillariophyta. Część druga: Okrzemki pierzaste (Fragilariophyceae, Eunotiophycidae, Achnanthales). *Flora Zatoki Gdańskiej i wód przyległych (Bałtyk Południowy) 4/2*. Gdańsk: 167 p.

Round F. E. 1998. Validation of some previously published «achnanthoid» genera. *Diatom Res.* 13(1): 181.

Round F. E., Basson, P. W. 1997. A new monoraphid diatom genus (Pogoneis) from Bahrain and the transfer of previously described species A. hungarica and A. taeniata to new genera. *Diatom Res.* 12(1): 71–81.

Round F. E., Bukhtiyarova L. 1996. Four new genera based on Achnanthes (Achnanthidium) together with a re-definition of Achnanthidium. *Diatom Res.* 11(2): 345–361.

Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. 1990. *The Diatoms. Biology and morphology of the genera*. Cambridge: 747 p.

Shaporenko S. I., Shilkrot G. S. 2005. Long-term variability of the hydrochemical parameters of Lake Glubokoe. *Trudy Gidrobiologicheskoy stantsii na Glubokom ozere. T. 9* [Proceedings of the Hydrobiological Station «Lake Glubokoe». Vol. 9]. Moscow: 30–63. (In Russ. with Engl. abstract).

Shcherbakov A. P. 1967. *Ozero Glubokoe. Gidrobiologicheskiy ocherk* [Lake Glubokoe. Hydrobiological Essay]. Moscow: 378 p.

Smirnov N. N. 1986. Lake Glubokoe (Moscow region, Eastern Europe), general characteristics. *Hydrobiologia.* 141: 1–6.

Taylor J. C., Cocquyt C., Karthick B., Van de Vijver B. 2014. Analysis of the type of Achnanthes exigua Grunow (Bacillariophyta) with the description of a new Antarctic diatom species. *Fottea.* 14(1): 43–51.

Yanin E. P., Kashina L. I., Sayet Yu. E. 1986. Hydrochemistry of Lake Glubokoe. *Hydrobiologia.* 141: 11–23.

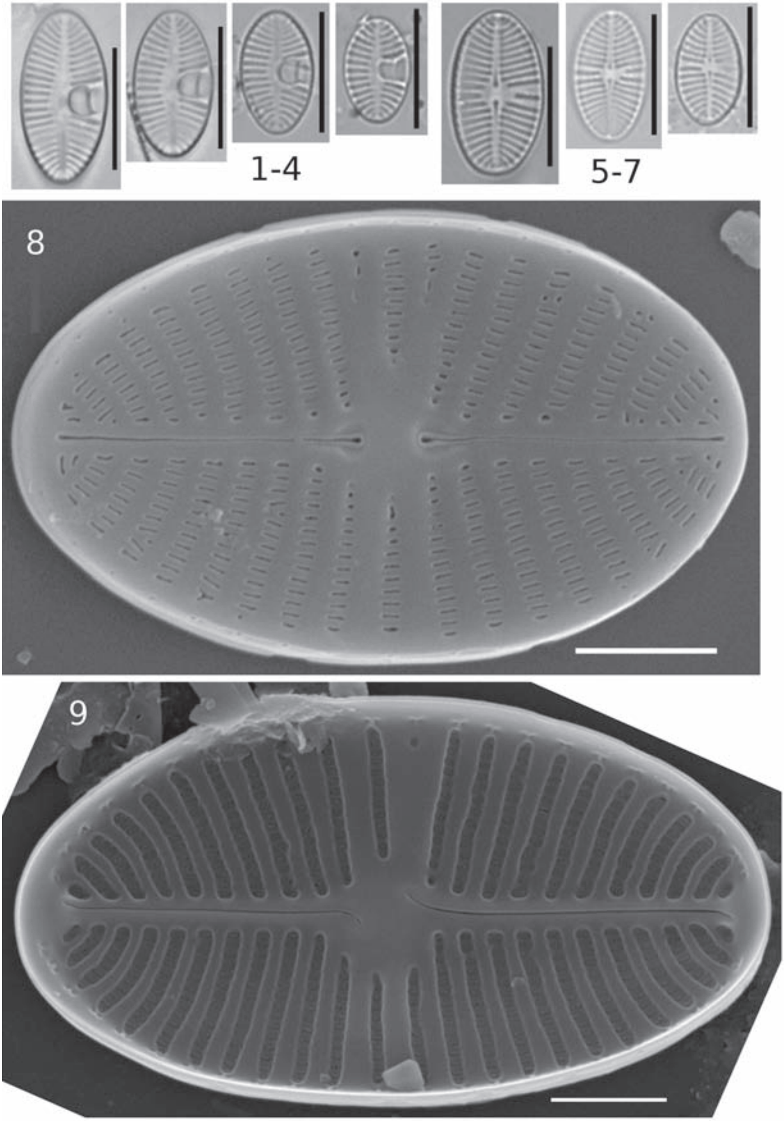

Таблица I. *Platessa joursacensis.*
1–4 — бесшовная створка; *5–9* — шовная створка: *8* — наружная поверхность; *9* — внутренняя поверхность. *1–7* — СМ; *8, 9* — СЭМ. Масштаб: *1–7* — 10 мкм; *8, 9* — 2 мкм.
1–4 — araphid valve; *5–9* — raphid valve: *8* — external surface; *9* — internal surface. *1–7* — light microscope (LM), *8, 9* — SEM. Scale bars: *1–7* — 10 µm; *8–9* — 2 µm.

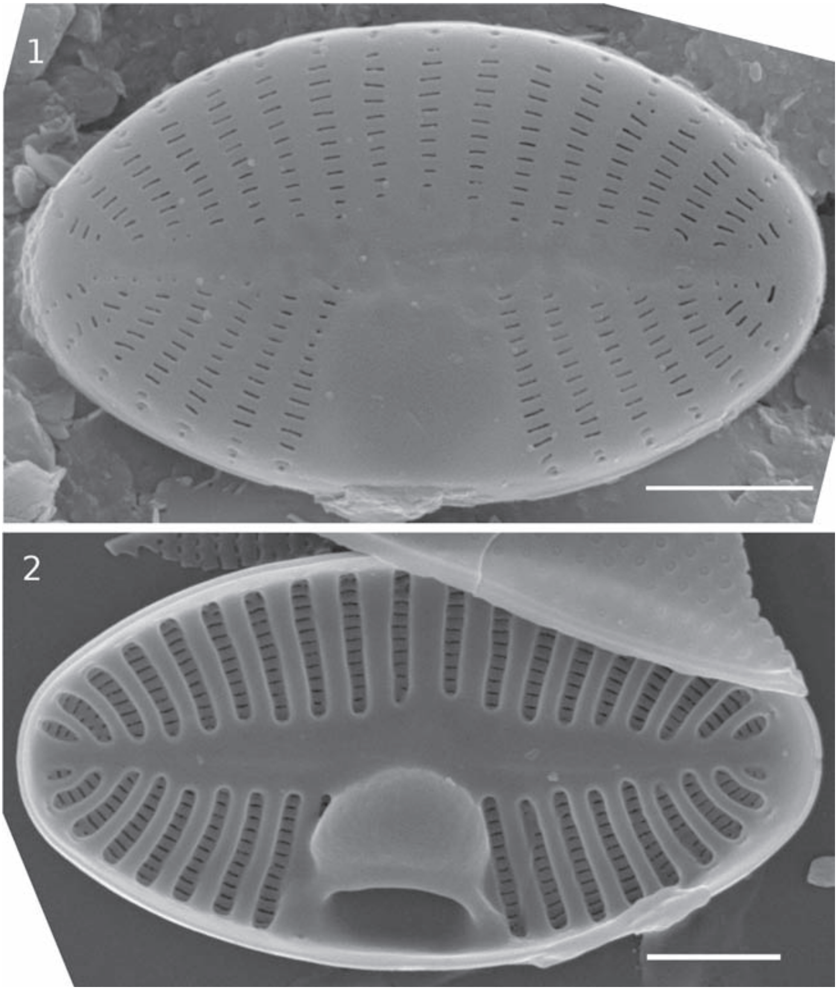

Таблица II. *Platessa joursacensis.*

1–2 — бесшовная створка: *1* — наружная поверхность. *2* — внутренняя поверхность. СЭМ. Масштаб: 2 мкм.

1–2 — araphid valve: *1* — external surface. *2* — internal surface. SEM. Scale bars: 2 μm.

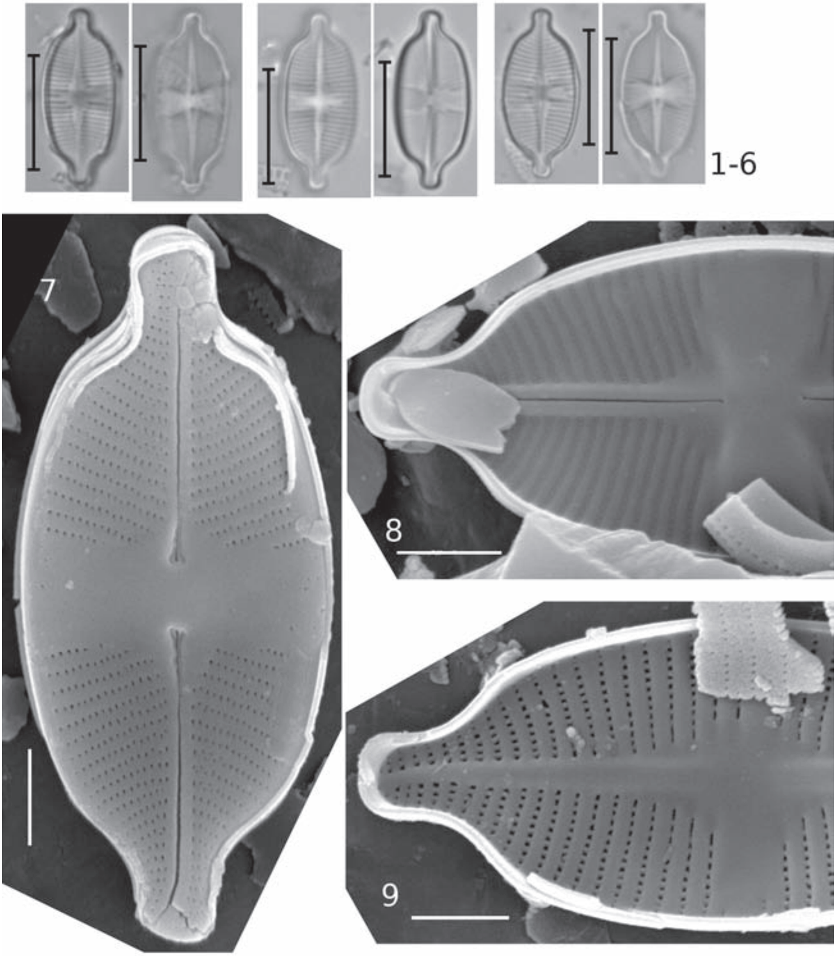

Таблица III. *Lemnicola rostellata*.
1, 3, 5, 9 — бесшовная створка; *2, 4, 6–8* — шовная створка: *7* — наружная поверхность; *8, 9* — внутренняя поверхность. *1–6* — СМ; *7–9* — СЭМ. Масштаб: *1–6* — 10 мкм; *7–9* — 2 мкм.
1, 3, 5, 9 — araphid valve; *2, 4, 6–8* — raphid valve: *7* — external surface; *8, 9* — internal surface. *1–6* — LM; *7–9* — SEM. Scale bars: *1–6* — 10 μm; *7–9* — 2 μm.