

***Petalomonas sphagnophila* (Euglenophyta, Petalomonadales) —
новый для России вид эвгленовых водорослей**

Д. А. Капустин¹, Д. А. Филиппов¹, И. В. Соколова², Е. С. Гусев¹

¹ Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН, пос. Борок,
Некоузский р-н, Ярославская обл., 152742, Россия; phycology@mail.ru

² Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН, ул. Профессора Попова, д. 2,
Санкт-Петербург, 197376, Россия

Резюме. В Шиченгском болоте (Вологодская область) нами обнаружен новый для альгофлоры России вид фаготрофных эвгленовых водорослей — *Petalomonas sphagnophila*. При помощи световой микроскопии изучена морфология найденных экземпляров, приведены оригинальные микрофотографии. Представлены сведения о таксономии, экологии и распространении вида. Поскольку название *P. sphagnophila* было недействительно обнародовано, осуществлена его валидизация с указанием голотипа. *P. polytaphrena* Skuja, nom. inval. рассматривается в качестве синонима *P. sphagnophila*. Включая новую находку, род *Petalomonas* представлен в России 30 видами.

Ключевые слова: эвгленовые водоросли, *Petalomonas sphagnophila*, Вологодская область.

Petalomonas sphagnophila (Euglenophyta, Petalomonadales),
a new euglenophyte species for Russia

D. A. Kapustin¹, D. A. Philippov¹, I. V. Sokolova², E. S. Gusev¹

¹ I. D. Papanin Institute for Biology of Inland Waters RAS, Borok, Nekouz District,
Yaroslavl Region, 152742, Russia; phycology@mail.ru

² Komarov Botanical Institute, Professor Popov Str., 2, St. Petersburg, 197376, Russia

Abstract. *Petalomonas sphagnophila* has been found for the first time in Russia from the Shichenskoe raised bog (Vologda Region). Morphology of the species is studied by means of light microscopy and illustrated by original micrographs. The data on its taxonomy, ecology and distribution are given. The name *P. sphagnophila* was not validly published because no type was indicated in the original publication (Christen, 1962), so we are validating the name by indicating its holotype. *P. polytaphrena* Skuja, nom. inval. is treated as a synonym of *P. sphagnophila*. Currently, thirty species of the genus *Petalomonas*, including *P. sphagnophila*, are known from Russia.

Keywords: euglenophytes, *Petalomonas sphagnophila*, Vologda Region.

Порядок *Petalomonadales* является ключевой группой для понимания эволюции эвгленовых водорослей, поскольку его представители имеют ряд примитивных признаков, свидетельствующих (наряду с молекулярными данными) о его базальном положении на филогенетическом древе эвгленовых (Lee, Simpson, 2014). К типовому роду

порядка — *Petalomonas* F. Stein — относятся фаготрофные эвгленовые водоросли с неметаболическими, дорсивентрально уплощенными, яйцевидными клетками с хорошо развитыми гребнями и бороздами и одним жгутиком, направленным при движении прямо (Larsen, Patterson, 1990). Род насчитывает около 120 пресноводных и морских видов (Schroeckh *et al.*, 2003), распространенных во всех климатических зонах земного шара. В России гетеротрофные эвгленовые водоросли, в частности род *Petalomonas*, исследованы неравномерно и явно недостаточно. Наиболее полно они изучены в Западной Сибири, для которой выполнено специальное монографическое исследование (Safonova, 1987). Существенно дополнил сведения о видовом составе петаломонад России Д. В. Тихоненков (Tikhonenkov, 2006); тем не менее, для значительной части территории России они остаются фрагментарными. По опубликованным данным, в России известно 29 видов рода *Petalomonas*.

Морфологически *Petalomonas* близок к роду *Notosolenus* A. Stokes, единственным отличием которого является наличие двух жгутиков, причем второй жгутик часто очень короткий и плохо заметен в световом микроскопе. Недавние молекулярно-генетические исследования с использованием 18S рДНК показали, что ни один из этих двух родов не является монофилетическим (Lax, Simpson, 2013; Lee, Simpson, 2014). Поэтому ряд видов, традиционно рассматриваемых в роде *Petalomonas*, исключены или, возможно, будут в дальнейшем исключены из его состава (Larsen, Patterson, 1991; Schroeckh *et al.*, 2003).

Изучая водоросли болот Вологодской области, мы обнаружили новый для альгофлоры России вид *Petalomonas sphagnophila* Christen.

Материал и методы

Материалом для настоящего исследования послужили пробы, отобранные Д. А. Филипповым в сентябре 2014 г. в шейхцериево-сфагновых мочажинах Шиченгского болота, расположенного в центральной части Сямженского муниципального района Вологодской области в пределах подзоны средней тайги.

Болото представляет собой крупную (15.9 тыс. га) болотную систему. Оно сформировалось на юго-восточных отрогах Харовской гряды в обширной озерно-ледниковой котловине, окруженной моренными и камовыми холмами, преимущественно лимногенным путем, и охарактеризовано в работе Д. А. Филиппова (Philippov, 2015).

С 1987 г. болото Шиченгское охраняется в границах одноименного регионального комплексного (ландшафтного) заказника.

Шейхцеригово-сфагновые мочажины, откуда были взяты пробы (59°56'30" с. ш., 41°16'57" в. д.), характеризуются крайне бедной флорой, в целом типичной для верховых болот Европейского Севера (Philippov, 2015; Philippov, Boychuk, 2015; Philippov, Dulin, 2015). Основные физико-химические параметры болотных вод в мочажинах 19 сентября 2014 г. представлены в таблице. В целом, воды мочажин, в сравнении с другими типами водоемов на данном болоте, значительно лучше прогреваются и характеризуются низкими значениями цветности, кислотности, общей минерализации, содержания карбонатов, марганца, общего железа, фосфатов (Philippov, 2014).

Пробы изучали с помощью светового микроскопа Carl Zeiss Axio-Score A1 при увеличении $\times 40$ и $\times 100$ (масляная иммерсия). Микрофото съемку производили посредством фотокамеры AxioCam ERc 5s.

Результаты и обсуждение

Приводим описание обнаруженных нами экземпляров *P. sphagnophila*.

Клетки 48–53 мкм дл. и 32–40 мкм шир., овальные, со слегка выступающим передним концом (табл. I, 1–4). В изученном фиксированном материале все клетки лишены жгутика. Пелликула твердая. Дорсальная и вентральная стороны клетки с четырьмя продольными гребнями. Ядро крупное, в левой части клетки; в правой части размещены округлые эндобионты 4–5 мкм в диам.

Размеры обнаруженных нами экземпляров несколько отличались от указанных в первоописании (Christen, 1962: 50–58 мкм дл. и 31–35 мкм шир.). По длине наши экземпляры соответствовали таковым из Германии (Schnepf *et al.*, 2002), но были немного шире. *P. sphagnophila* хорошо отличается от всех известных видов рода *Petalomonas* наличием двух продольных борозд (заметных на поперечном сечении клетки) и четырех продольных гребней на дорсальной и вентральной сторонах. По количеству гребней *P. sphagnophila* сходен с *Tropidoscyphus octocostatus* F. Stein, но отличается количеством жгутиков (у *Tropidoscyphus* их два), общим очертанием клеток, меньшими размерами и наличием продольных борозд. Еще одной отличительной чертой *P. sphagnophila*, пока не обнаруженной у других представителей рода, является наличие эндосимбионтов. В клетках *P. sphagnophila* обнаружено 5 типов симбиотических бактерий: фирмикуты, 2 вида риккеттсий, δ - и γ -протеобактерии (Kim *et al.*, 2010); кроме того, в них присутствуют симбионты, природа ко-

торых остается неясной. Первоначально их принимали за частицы пищи (Christen, 1962) или коллоидные гуминовые вещества (Skuja, 1964). E. Schenepf *et al.* (2002) предположили, что это *Synechocystis*-образные цианобактерии, однако ни спектральный, ни молекулярно-генетический анализ не подтвердили это предположение (Kim *et al.*, 2010).

Таблица

Физико-химическая характеристика вод сфагновых мочажин (19.09.2014)¹

Physical and chemical characteristics of waters in *Sphagnum* hollows (19.09.2014)

Параметры Parameters	Значения Values
Температура, °С Temperature, °С	13
pH	3.9
Цветность, градусы Colour degrees	89.6
Минерализация, мг/л Mineralization, mg/l	198.5
Перманганатная окисляемость, мгО/л Permanganate oxidation susceptibility, mgO/l	38.0
CO ₃ ²⁻ , мг/л / mg/l	12.0
Mn, мг/л / mg/l	0.012
Fe общее, мг/л Fe total, mg/l	0.23
NO ₃ ⁻ , мг/л / mg/l	0.1
PO ₄ ³⁻ , мг/л / mg/l	<0.05
SO ₄ ²⁻ , мг/л / mg/l	<10

Конспецифичным *P. sphagnophila* мы считаем вид *P. polytaphrena* (Fetzmann, 1961; Skuja, 1964). Указанные в первоописании *P. sphagnophila* отличия в форме глотки (Christen, 1962) мы считаем несущественными. Отметим, что сам Skuja, описывая *P. polytaphrena*, предполагал, что эти два вида могут оказаться идентичными (Skuja, 1964).

К сожалению, в протоколах обоих названий — *P. sphagnophila* и *P. polytaphrena* — не были указаны типы, поэтому они были недействительно обнародованы согласно статье 40.1 Международного кодекса номенклатуры водорослей, грибов и растений (McNeill *et al.*,

¹ Гидрохимический анализ выполнен в Аккредитованной испытательной лаборатории Федерального государственного учреждения государственного центра агрохимической службы «Вологодский» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПЧ08).

2012). Мы валидизируем название *P. sphagnophila*, указывая в качестве голотипа рисунок из работы Christen (1962), где опубликовано валидизирующее описание.

Petalomonas sphagnophila Christen sp. nov.

P. sphagnophila Christen, 1962, *Rev. Algol.* 6(3): 196 (descr. lat.), 174 (descr. germ.), nom. inval. (Art. 40.1), sine typo.

Holotypus (hic designatus): Taf. III, Fig. 1 in Christen (1962).

Synonymum: *P. polytaphrena* Skuja, 1964, *Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsal.*, ser. 4, 18(3): 283, Taf. LX, figs. 6–13, nom. inval. (Art. 40.1), sine typo.

P. sphagnophila является типичным ацидобионтным видом, обитающим в водах с pH 4–4.5 по литературным данным (3.9–4.9 по нашим данным). Он распространен в Швейцарии (Christen, 1962), Австрии (Kusel-Fetzmann, Url, 1965), Швеции (Fetzmann, 1961; Skuja, 1964; Kusel-Fetzmann, Url, 1965), Германии (Schnepf *et al.*, 2002), Канаде (Kim *et al.*, 2010) и России. На сегодняшний день, Шиченгское болото является восточной границей ареала этого вида.

Таким образом, с учетом последних таксономических преобразований (Schroeckh *et al.*, 2003) и нашей находки, род *Petalomonas* представлен в России 30 видами с 4 внутривидовыми таксонами (Popova, Safonova, 1976; Safonova, 1987; Tikhonenkov, 2006; Vinogradova, Belyakova, 2008).

Благодарности

Авторы признательны Р. М. Гогореву, А. Д. Потемкину (Ботанический институт им. В. Л. Комарова РАН) и А. Н. Сенникову (Университет Хельсинки) за обсуждение номенклатурных вопросов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (№ 14-04-32258 мол_а).

Литература

- Christen H. R. 1962. Neue und wenig bekannte Eugleninen und Volvocalen. *Rev. Algol.* 3: 162–202.
- Fetzmann E. L. 1961. Einige Algenvereine des Hochmoorkomplexes Komosse. *Bot. Not.* 114: 185–212.
- Kim E., Park J. S., Simpson A. G., Matsunaga S., Watanabe M., Murakami A., Sommerfeld K., Onodera N. T., Archibald J. M. 2010. Complex array of endobionts in *Petalomonas sphagnophila*, a large heterotrophic euglenid protist from Sphagnum-dominated peatlands. *ISME J.* 4: 1108–1120. doi: 10.1038/ismej.2010.40
- Kusel-Fetzmann E., Url W. 1965. Das Schwingrasenmoor am Goggausee und seine Algenesellschaften. *Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss.* 174: 315–362.

- Larsen J., Patterson D. J. 1990. Some flagellates (Protista) from tropical marine sediments. *J. Nat. Hist. (London)*. 24(4): 801–937.
- Larsen J., Patterson D. J. 1991. The diversity of heterotrophic euglenids. *The biology of free-living heterotrophic flagellates*. Oxford: 205–217.
- Lax G., Simpson A. G. B. 2013. Combining molecular data with classical morphology for uncultured phagotrophic euglenids (Excavata): a single-cell approach. *J. Eukar. Microbiol.* 60: 615–625.
- Lee W. J., Simpson A. G. B. 2014. Morphological and molecular characterisation of *Notosolenus urceolatus* Larsen and Patterson 1990, a member of an understudied deep-branching euglenid group (Petalomonads). *J. Eukar. Microbiol.* 61: 463–479.
- McNeill J., Barrie F. R., Buck W. R., Demoulin V., Greuter W., Hawkworth D. L., Herendeen P. S., Knapp S., Marhold K., Prado J., Prud'homme van Reine W. F., Smith G. F., Wierssema 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. *Regnum Veg. Vol. 154*. Koenigstein: 232 p.
- [Филиппов] Филиппов Д. А. 2014. Гидрохимическая характеристика внутриболотных водоемов (на примере Шиченгского верхового болота, Вологодская область). *Вода: химия и экология*. 7(73): 10–17.
- [Филиппов] Филиппов Д. А. 2015. Флора Шиченгского водно-болотного угодья (Вологодская область). *Фиторазнообразие Восточной Европы*. 2015. 9(4): 86–117.
- [Филиппов, Boychuk] Филиппов Д. А., Бойчук М. А. 2015. Мхи Шиченгского ландшафтного заказника (Вологодская область). *Вестник Северн. (Арктич.) фед. унив. Сер. Естеств. науки*. 2: 80–89.
- [Филиппов, Dulin] Филиппов Д. А., Дулин М. В. 2015. Печеночники Шиченгского ландшафтного заказника (Вологодская область). *Бюлл. Брянск. отд. Русск. бот. общ.* 1(5): 14–21.
- [Порова, Safonova] Попова Т. Г., Сафонова Т. А. 1976. Эвгленовые водоросли. *Флора споровых растений СССР. Т. 9, вып. 2*. Л.: 288 с.
- [Safonova] Сафонова Т. А. 1987. *Эвгленовые водоросли Западной Сибири*. Новосибирск: 192 с.
- Schnepf E., Schlegel I., Hepperle A. D. 2002. *Petalomonas sphagnophila* (Euglenophyta) and its endocytobiotic cyanobacteria: a unique form of symbiosis. *Phycologia*. 41(2): 153–157.
- Schroeckh S., Lee W. J., Patterson D. J. 2003. Free-living heterotrophic euglenids from freshwater sites in mainland Australia. *Hydrobiologia*. 493: 131–166.
- Skuja H. 1964. Grundzüge der Algenflora und Algenvegetation der Fjeldgegenden um Abisko in Schwedisch-Lappland. *Nova Acta Regiae Soc. Sci. Upsal., Ser. 4*. 18: 1–465.
- [Тихоненков] Тихоненков Д. В. 2006. *Фауна, морфология и структура сообществ свободноживущих гетеротрофных жгутиконосцев в разнотипных пресноводных и морских биотопах*. Дис. ... канд. биол. наук. Борок: 397 с.
- [Vinogradova, Belyakova] Виноградова Е., Белякова Г. 2008. Euglenophyta водоемов и водотоков Москвы и Московской области. *Альгология*. 18(3): 319–327.

References

- Christen H. R. 1962. Neue und wenig bekannte Eugleninen und Volvocalen. *Rev. Algol.* 3: 162–202.
- Fetzmann E. L. 1961. Einige Algenvereine des Hochmoorkomplexes Komosse. *Bot. Not.* 114: 185–212.
- Kim E., Park J. S., Simpson A. G., Matsunaga S., Watanabe M., Murakami A., Sommerfeld K., Onodera N. T., Archibald J. M. 2010. Complex array of endobionts in *Petalomonas sphagnophila*, a large heterotrophic euglenid protist from Sphagnum-dominated peatlands. *ISME J.* 4: 1108–1120. doi: 10.1038/ismej.2010.40
- Kusel-Fetzmann E., Url W. 1965. Das Schwingrasenmoor am Goggausee und seine Algenesellschaften. *Sitzungsber. Österr. Akad. Wiss.* 174: 315–362.
- Larsen J., Patterson D. J. 1990. Some flagellates (Protista) from tropical marine sediments. *J. Nat. Hist. (London)*. 24(4): 801–937.
- Larsen J., Patterson D. J. 1991. The diversity of heterotrophic euglenids. *The biology of free-living heterotrophic flagellates*. Oxford: 205–217.
- Lax G., Simpson A. G. B. 2013. Combining molecular data with classical morphology for uncultured phagotrophic euglenids (Excavata): a single-cell approach. *J. Eukar. Microbiol.* 60: 615–625.
- Lee W. J., Simpson A. G. B. 2014. Morphological and molecular characterisation of *Notosolenus urceolatus* Larsen and Patterson 1990, a member of an understudied deep-branching euglenid group (Petalomonads). *J. Eukar. Microbiol.* 61: 463–479.
- McNeill J., Barrie F. R., Buck W. R., Demoulin V., Greuter W., Hawkworth 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. *Regnum Veg. Vol. 154*. Koenigstein: 232 p.
- [Philippov] Filippov D. A. 2014. Hydrochemical characteristics of paludal-lacustrine basins (by the example of Shichenskoe raised bog, Vologodsk Region). *Water: chemistry and ecology*. 7(73): 10–17. (In Russ. with Engl. abstract).
- Philippov D. A. 2015. Flora of wetland «Shichenskoe» (Vologda Region, Russia). *Phytodiversity of Eastern Europe*. 9(4): 86–117. (In Russ. with Engl. abstract).
- [Philippov] Filippov D. A., Boychuk M. A. 2015. Mosses of the Shichenskiy Landscape Reserve (Vologda Region). *Vestnik of Northern (Arctic) Federal University, ser. «Natural Sciences»*. 2: 80–89. (In Russ. with Engl. abstract).
- Philippov D. A., Dulin M. V. 2015. Liverworts of the Shichenskiy Landscape Reserve (Vologda Region). *Bull. Bryansk Dept. Russ. Bot. Soc.* 1(5): 14–21. (In Russ. with Engl. abstract).
- Popova T. G., Safonova T. A. 1976. Euglenophyta. *Flora plantarum cryptogamarum URSS. T. 9, Fasc. 2*. Leningrad: 288 p. (In Russ.).
- Safonova T. A. 1987. *Euglenovye vodorosli Zapadnoy Sibiri* [Euglenophytes of the Western Siberia]. Novosibirsk: 192 p. (In Russ.).
- Schnepf E., Schlegel I., Hepperle A. D. 2002. *Petalomonas sphagnophila* (Euglenophyta) and its endocytobiotic cyanobacteria: a unique form of symbiosis. *Phycologia*. 41(2): 153–157.

- Schroeckh S., Lee W. J., Patterson D. J. 2003. Free-living heterotrophic euglenids from freshwater sites in mainland Australia. *Hydrobiologia*. 493: 131–166.
- Skuja H. 1964. Grundzüge der Algenflora und Algenvegetation der Fjeldgegenden um Abisko in Schwedisch-Lappland. *Nova Acta Regiae Soc. Sci. Upsal., Ser. 4*. 18: 1–465.
- Tikhonenkov D. V. 2006. *Fauna, morfologiya i struktura soobshchestv svobodnozhivushchikh geterotrofiykh zhgutikonostsev v raznotipnykh presnovodnykh i morskikh biotopakh*. Kand. Diss. [Fauna, morphology and assemblage structure of free-living heterotrophic flagellates in freshwater and marine biotopes of different types. Cand. Diss.]. Borok: 397 p. (In Russ.)
- Vinogradova E., Belyakova G. 2008. Euglenophyta of water basins of Moscow City and Moscow Region. *Algologiya*. 18(3): 319–327. (In Russ. with Engl. abstract).

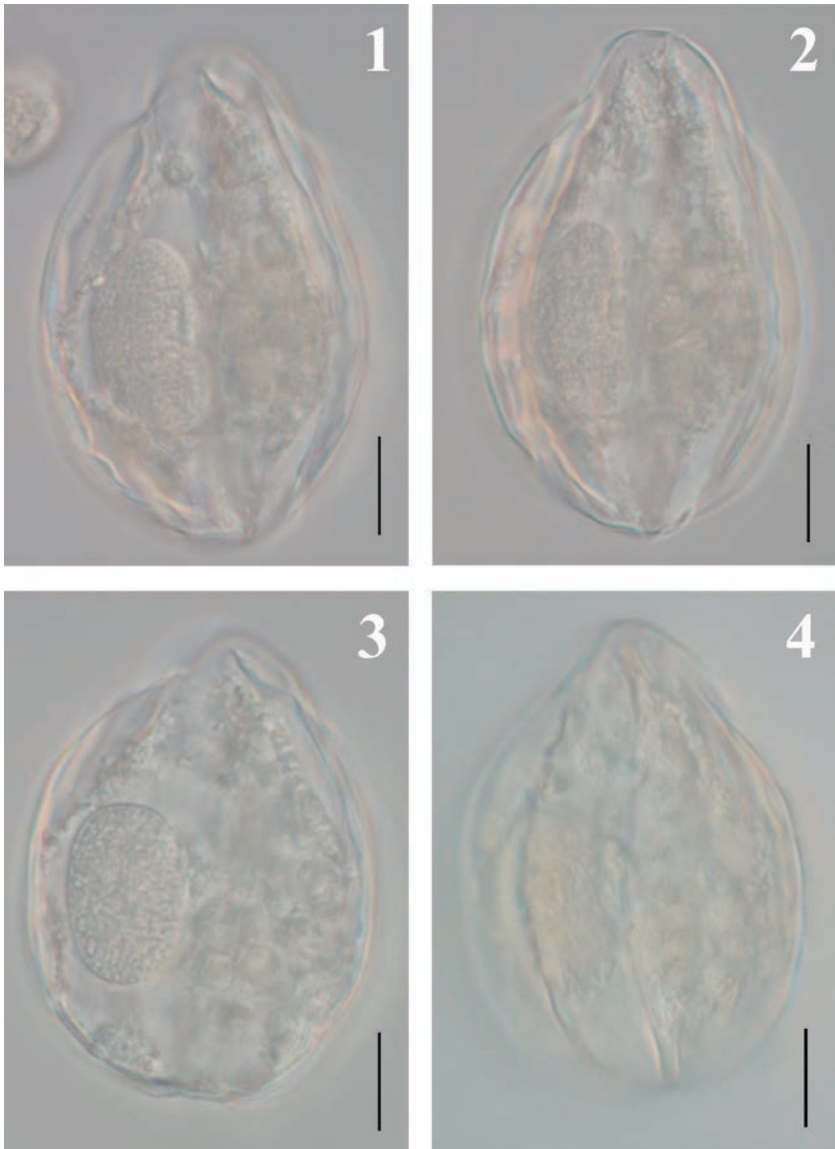


Таблица I. Клетки *Petalomonas sphagnophila* при разном фокусе (1–4).
Масштабная линейка: 10 мкм.
Cells of *Petalomonas sphagnophila* at different focuses (1–4). Scale bar:
10 μm .