

ВОДНАЯ ФЛОРА
И ФАУНА

УДК 582.26+581.9

ФЛОРА ЗОЛОТИСТЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ (*Chrysophyceae*:
Synurales, *Paraphysomonadales*) ДЕЛЬТЫ р. МЕКОНГ

© 2020 г. Е. С. Гусев^{а, с, *}, В. А. Гусаков^{б, с}, Е. Е. Гусева^а,
М. С. Куликовский^а, А. И. Цветков^{б, с}, Ку Нгуен Динь^с

^аИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева Российской академии наук, Москва, Россия

^бИнститут биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук,
пос. Борок, Некоузский р-н, Ярославская обл., Россия

^сРоссийско-Вьетнамский тропический научно-исследовательский и технологический центр, Ханой, Вьетнам

*e-mail: algous@yandex.ru

Поступила в редакцию 02.08.2019 г.

После доработки 10.10.2019 г.

Принята к публикации 23.11.2019 г.

Приведены первые данные о флоре золотистых водорослей из порядков *Synurales*, *Paraphysomonadales*. Выявлено 15 таксонов, из них 9 рода *Mallomonas*, 1 – рода *Synura*, 5 рода *Paraphysomonas*. Шесть таксонов впервые отмечены во Вьетнаме. Распределение найденных таксонов по станциям было неравномерным, чаще всего присутствовало по одному-два вида. Наибольшее количество видов (12) зарегистрировано на станции с соленостью воды >1 г/л. С учетом предыдущих флористических исследований золотистых водорослей Вьетнама количество таксонов, известных из водных объектов страны, увеличилось до 66. Расширен список видов, обнаруженных при величинах солености воды ~1 г/л.

Ключевые слова: золотистые водоросли, *Mallomonas*, *Synura*, *Paraphysomonas*, флора, дельта р. Меконг

DOI: 10.31857/S0320965220030080

ВВЕДЕНИЕ

Река Меконг – основная водная артерия Юго-Восточной Азии и одна из крупнейших рек Мира. На берегах р. Меконг и его притоков в настоящее время проживает ~70 млн человек из шести стран: Китая, Мьянмы, Таиланда, Лаоса, Камбоджи и Вьетнама. Дельта р. Меконг, расположенная почти целиком на территории Вьетнама, – один из самых густонаселенных районов страны с населением >17 млн человек и средней плотностью >400 жителей на квадратный километр. В настоящее время природные и социальные системы дельты р. Меконг сталкиваются с многочисленными проблемами, ведущими к усилению деградации окружающей среды. Это – все возрастающая урбанизация и гидростроительство в бассейне, увеличение степени загрязнения и обеднение биоресурсов вследствие сельскохозяйственной, промышленной и другой деятельности человека на водосборе и непосредственно на самой реке. Новые риски связаны также с глобальными изменениями климата, а именно – потеплением, в результате которого может произойти повышение уровня океана. Последнее приведет к подтоплению значительных территорий в устьевой части дельты, а также к засолению почв и воды

(Cosslett T., Cosslett P., 2014; Kuenzer, Renaud, 2012; Räsänen, 2014). В связи с этим, актуальны оценка современного состояния окружающей среды в бассейне дельты и в самой реке и прогноз его дальнейших изменений вследствие вышеупомянутых угроз. В рамках данных задач в 2018 г. начаты комплексные исследования по изучению внутренних и контурных сообществ гидробионтов в разнотипных рукавах р. Меконг на территории Вьетнама, а также основных факторов, определяющих их структурно-функциональную организацию на современном этапе.

Золотистые (хризофитовые) водоросли – обширная группа организмов, относящихся к эволюционной линии *Stramenopiles* или *Heterokontophyta*, включает >1200 видов (Kristiansen, Škaloud, 2017). Прежде всего, золотистые водоросли – основной компонент фитопланктона, однако они могут играть важную роль в бентосе и нейстоне. Подходы к их систематике долгое время зависели (и зависят) от применяемых методов, и видовая концепция группы менялась несколько раз, что связано с развитием электронно-микроскопических, биохимических и молекулярно-генетических методов (Kristiansen, 2005; Kristiansen, Škaloud, 2017; Škaloud et al., 2013). К настоящему вре-

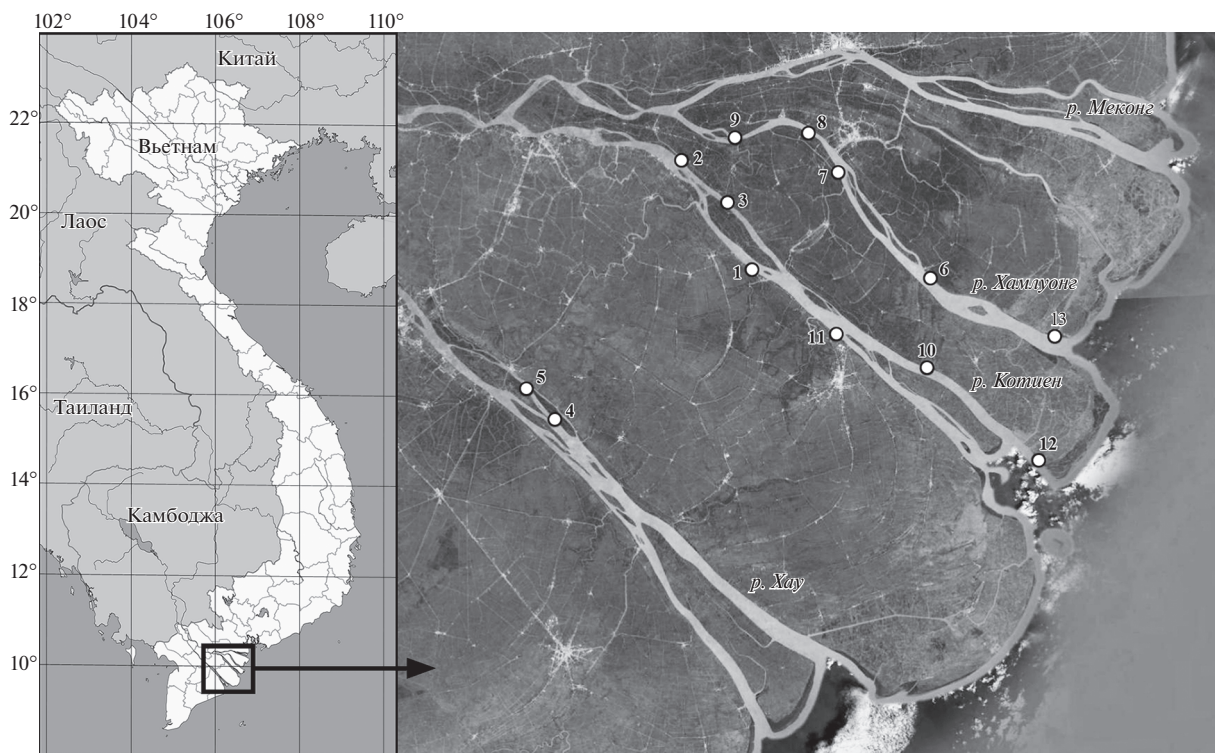


Рис. 1. Расположение станций отбора проб в дельте р. Меконг.

мени только для чешуйчатых золотистых водорослей (*Synurales* и *Paraphysomonadales*) хорошо разработана непротиворечивая система морфологических критериев для различения таксонов, которая согласуется с молекулярно-генетическими данными (Scoble, Cavalier-Smith, 2014; Siver et al., 2015; Škaloud et al., 2013). Это позволяет широко использовать их в палеоэкологических исследованиях как виды-индикаторы (Siver, 1991; Siver, Lott, 2012; Smol, 2005). В тропических водоемах выявлена богатая и своеобразная флора водорослей из различных классов, включающая много эндемичных видов (Kristiansen, 2001; Kristiansen, Preisig, 2007; Glushchenko, Kulikovskiy, 2018, 2019 и др. работы). Только из Вьетнама за последние 7 лет описано >10 новых видов родов золотистых водорослей *Mallomonas* и *Synura* (Gusev, 2012, 2013, 2015a; Gusev, Siver, 2017; Siver et al., 2018), однако специализированных исследований золотистых водорослей р. Меконг не проводили.

Цель работы — исследовать флору золотистых водорослей в дельте р. Меконг.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Длина р. Меконг достигает 4505 км, площадь водосборного бассейна ~795 тыс. км², среднегодовой расход воды ~475 км³. В нижнем течении

река разбивается на несколько рукавов, формируя обширную дельту, площадь которой составляет ~41 тыс. км². Основная часть дельты расположена во Вьетнаме и занимает почти весь юго-запад его территории. Климат в регионе тропический муссонный, как правило, с четко выраженными влажным (май—октябрь) и сухим (ноябрь—апрель) сезонами. Среднегодовое количество осадков в разных частях дельты реки 1600–2400 мм, среднемесячная температура 25–28°C, относительная влажность в течение всего года ~85% (Cosslett T.L., Cosslett P.D., 2014; Räsänen, 2014).

Исследования проводили в сухой период года (с 6 по 18 декабря 2018 г.) на 13 станциях в трех рукавах дельты р. Меконг: Хамлуонг (Hàm Luông), Котиен (Cố Chiên) и Хау (Hậu) (рис. 1). Станции располагались в рипальной зоне, в ~10–60 м от береговой линии. Основные характеристики среды на станциях даны в табл. 1.

Количественные пробы фитопланктона собирали в поверхностном слое потока (0–0.5 м) сачком из мельничного газа с размером ячеек 20 мкм. Отфильтрованную взвесь транспортировали и хранили в 15-миллилитровых пробирках при естественном освещении и температуре до дальнейшей обработки. Для изучения водорослей в трансмиссионном электронном микроскопе пробы концентрировали и отмывали в дистиллиро-

Таблица 1. Основные характеристики исследованных станций

Номер станции	Дата сбора	Координаты, с.ш., в.д.	Глубина, м	Скорость течения, м/с	Температура, °С	Содержание O ₂		Электропроводность, мкСм/см*	Мутность, NTU	рН
						мг/л	%			
1	06.12.2018	10°04.617', 106°14.165'	2.3	0.59	28.9	5.02	65.3	1591	60.0	6.82
2	07.12.2018	10°13.147', 106°09.144'	3.0	0.19	29.3	5.15	67.4	150	36.2	6.61
3	07.12.2018	10°09.797', 106°12.503'	5.0	0.71	29.0	5.44	70.8	154	49.7	6.40
4	08.12.2018	09°53.923', 105°58.476'	4.0	0.39	29.3	4.96	64.9	143	62.5	6.73
5	08.12.2018	09°56.339', 105°56.402'	3.0	0.31	29.3	4.95	64.8	139	83.1	6.64
6	14.12.2018	10°03.340', 106°27.861'	2.0	0.92	28.6	5.20	67.5	1677	92.0	7.37
7	14.12.2018	10°11.671', 106°21.155'	1.0	0.38	28.7	4.50	58.2	177	46.1	6.36
8	15.12.2018	10°14.755', 106°18.995'	4.0	0.23	29.5	5.21	68.3	152	38.6	6.88
9	15.12.2018	10°14.644', 106°13.338'	1.0	0.27	29.7	4.52	59.5	154	38.0	6.35
10	16.12.2018	09°56.528', 106°27.282'	6.0	0.84	29.3	6.16	81.1	2370	24.7	7.20
11	16.12.2018	09°59.421', 106°20.414'	1.0	0.21	29.6	5.82	76.5	353	95.5	6.95
12	17.12.2018	09°49.147', 106°35.527'	1.0	0.44	28.8	7.13	94.3	6594	27.5	7.78
13	18.12.2018	09°58.473', 106°37.231'	2.0	0.24	28.2	7.32	97.5	11888	25.9	7.86

* Электропроводность приведена к 25°С.

Таблица 2. Таксономический состав золотистых водорослей на исследованных станциях дельты р. Меконг

Таксон	Номер станции												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Mallomonas cf. corymbosa</i>	–	–	–	–	–	–	+	–	–	+	–	–	–
<i>M. lamii</i>	–	–	–	–	–	+	–	–	–	+	–	–	–
<i>M. multisetigera</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>M. paragrandsis</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>M. peronoides</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>M. portae-ferreae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>M. pseudomatvienkoeae</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>M. spinosa</i>	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>M. sp.</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Synura longitubularis</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>Paraphysomonas bandaiensis</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>P. longispina</i>	–	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–
<i>P. vulgaris ssp. vulgaris</i>	–	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–	–	–
<i>P. vulgaris ssp. brevispina</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–
cf. <i>Paraphysomonas sp.</i>	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+
Всего	2	1	0	1	0	1	1	1	0	12	0	0	1

Примечание. Жирным шрифтом даны новые для флоры Вьетнама таксоны; “+”/“–” присутствие/отсутствие вида на станции.

ванной воде. Осадок помещали на сетки, покрытые формваровой пленкой (EMS FF200-Cu-50, Electron Microscopy Sciences) и исследовали на трансмиссионном микроскопе JEM-1011.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Всего выявлено 15 таксонов, из них 9 рода *Mallomonas*, 1 рода *Synura*, 5 рода *Paraphysomonas* (табл. 2). Ниже приведены их иллюстрированные (рис. 2, 3) описания и особенности распространения.

***Mallomonas cf. corymbosa* Asmund** (рис. 2а–2в). Обнаружен на ст. 10. Для полностью достоверной идентификации данного вида требуется находка щетинок, строение которых служит важным диагностическим признаком. Однако размеры и строение чешуек, развитый вторичный кремнеземный слой позволяют провести предварительную идентификацию вида. Это первая находка во Вьетнаме. Считается, что вид имеет биполярное распространение (Kristiansen, Preisig, 2007), но находки в Южной Корее (Kim, Han, 2011) и, предположительно, во Вьетнаме свидетельствуют, что он распространен и в субтропической, и тропической областях. Для подтверждения этого необходимы молекулярно-генетические исследования.

***M. multisetigera* Dürschmidt** (рис. 2г). Отмечен на ст. 10. Описан из Чили (Dürschmidt, 1982), впоследствии найден в других регионах, включая Европу, Северную и Южную Америку, Африку и Австралию; считается широко распространенным таксоном (Kristiansen, 2001; Kristiansen, Preisig, 2007). Вторая находка во Вьетнаме после об-

наружения вида в провинции Кханьхоа (Gusev, Siver, 2017).

***M. lamii* Gusev, Kulizin, Guseva, Shkurina & Kulikovskiy** (рис. 2д). Недавно описан из Вьетнама (Gusev et al., 2019б). Зарегистрирован на ст. 6, 10. Чешуйки отличаются большими размерами (9.1–9.2 × 6.0–6.1 мкм), имеют небольшие папиллы, рассеянные по всей поверхности щита и развитый вторичный слой в дистальной области чешуйки. По строению и размерам его чешуйки сходны с таковыми *M. matvienkoeae* var. *grandis* Dürschmidt & G. Cronberg, с чешуйками 8–9 × 5.0–5.5 мкм и ископаемым *M. pleuriforamen* Siver, Lott, Jo, Shin, Kim & Andersen (6.8–7.4 × 5.6–6.3 мкм). Однако *M. matvienkoeae* var. *grandis* и *M. pleuriforamen* хорошо отличаются от *M. lamii* наличием нескольких (3–7) крупных пор в дистальной области базальной пластинки, у *M. lamii* она только одна (Dürschmidt, Cronberg, 1989; Jo et al., 2013). Также имеются различия в размере более мелких пор базальной пластинки и в степени развития вторичного кремнеземного слоя. Во Вьетнаме найден в шести провинциях (Gusev et al., 2017, 2019б).

***M. paragrandsis* Gusev** (рис. 2е, 2ж). Зарегистрирован на ст. 1, 10. Недавно описан из Вьетнама (Gusev, 2015б), отмечен там в провинциях Кханьхоа и Донгнай (Gusev, Nguyen, 2011; Gusev et al., 2017, 2019а), также найден в Индонезии на о-ве Ява (Kapustin, Gusev, 2019). Эндемик Юго-Восточной Азии. Очень сходен по строению чешуек с *M. sorohexareticulata* Jo, Shin, Kim, Siver & Andersen и *M. hexareticulata* Jo, Shin, Kim, Siver & Andersen. Отличается от них степенью перфорированности базальной пластинки, формой и раз-

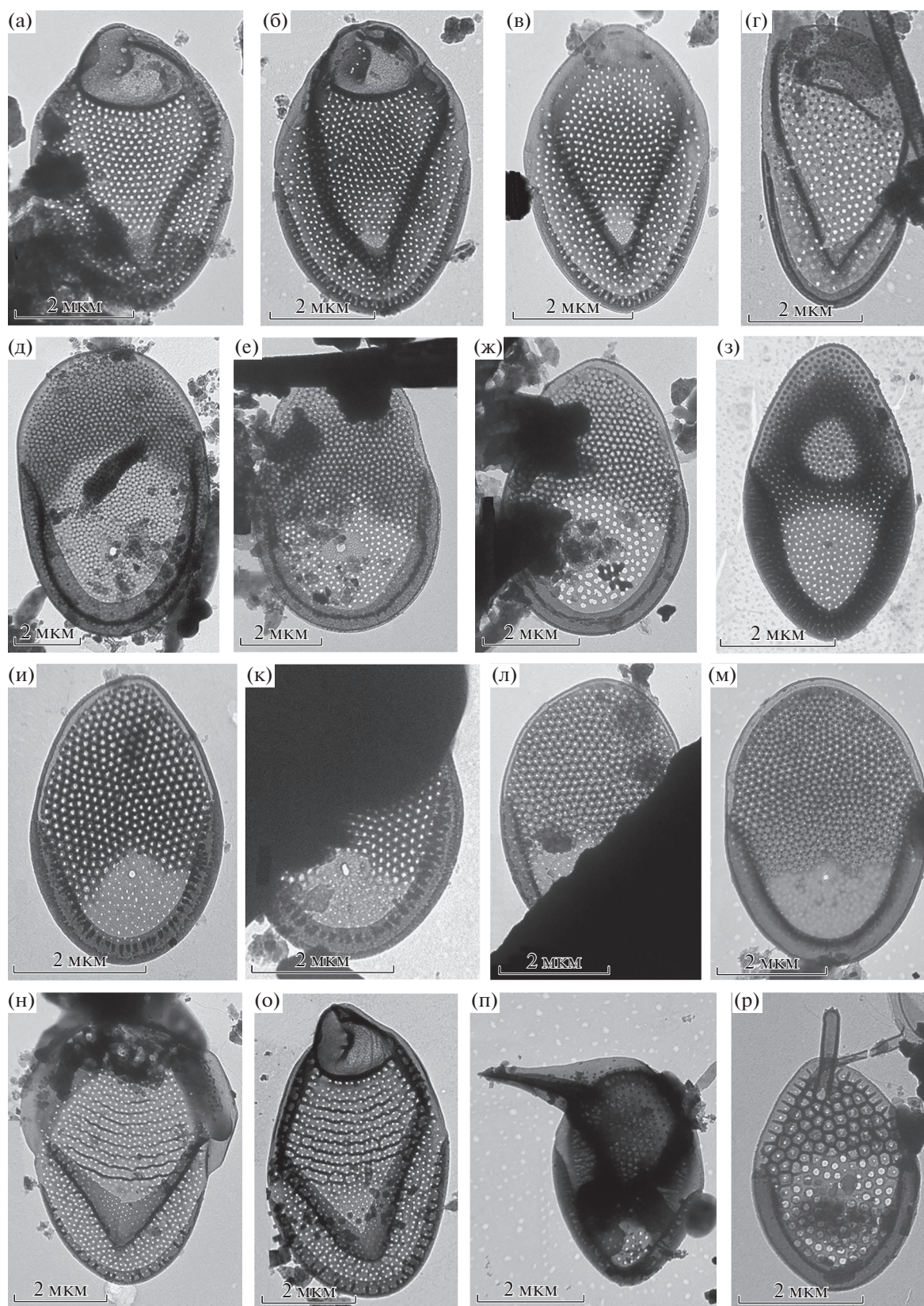


Рис. 2. Чешуйки таксонов родов *Mallomonas* (а–п) и *Synura* (р): а–в – *Mallomonas* cf. *corymbosa*; г – *M. multisetigera*; д – *M. lamii*; е, ж – *M. paragrandsis*; з – *M. peronoides*; и, к – *M. pseudomatvienkoae*; л, м – *M. sp. 2*; н, о – *M. portae-ferreae*; п – *M. spinosa*; р – *Synura longitubularis*.

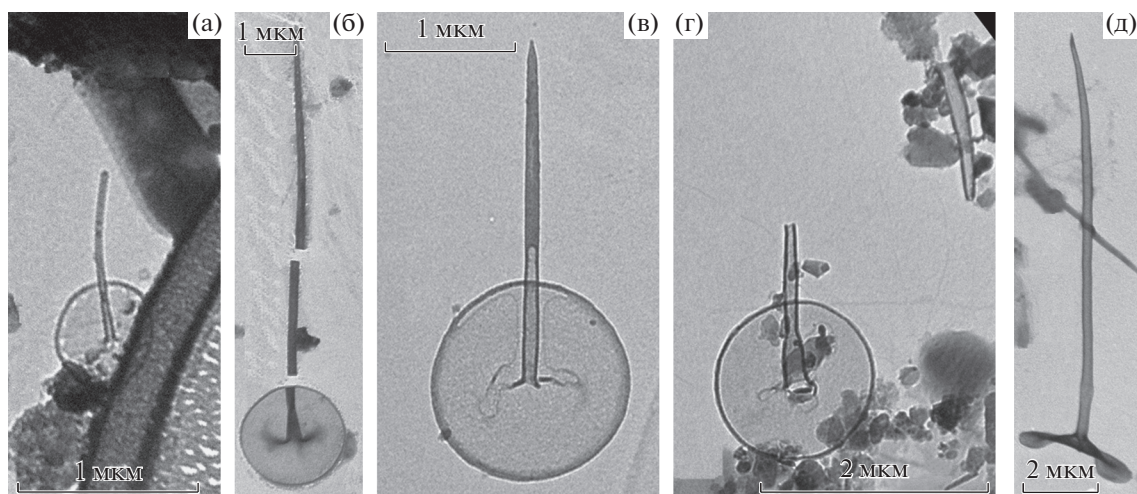


Рис. 3. Чешуйки таксонов рода *Paraphysomonas*: а – *P. bandaiensis*, б – *P. longispina*, в – *P. vulgaris* subsp. *vulgaris*, г – *P. vulgaris* cf. subsp. *brevispina*, д – cf. *P. sp.*

мером пор, структурой вторичного кремнеземного слоя, а также строением щетинок.

M. peronoides (K. Harris) Momeu & L.S. Péterfi (рис. 2з). Зарегистрирован на ст. 10. Большинство находок вида приурочено к водоемам тропической и субтропической зон, редкие находки отмечены в летнее время в умеренной зоне (Barreto, 2005). Считается космополитом (Kristiansen, Preisig, 2007). Во Вьетнаме обнаружен в провинциях Кханьхоа и Донгнай (Gusev, Nguyen, 2011; Gusev et al., 2017).

M. pseudomatvienkoae Jo, Shin, Kim, Siver & Andersén (рис. 2и, 2к). Найден на ст. 10. Недавно описан из Южной Кореи, отличается от *M. matvienkoae* (Matvienko) Asmund Kristiansen структурой вторичного кремнеземного слоя и расположением пор базальной пластинки, которые отсутствуют в проксимальной области чешуйки (Jo et al., 2013). Во Вьетнаме ранее отмечен в национальном парке Каттъян (Gusev et al., 2017) и заболоченных водоемах п-ова Камрань (Gusev et al., 2019а). Эндемик Восточной и Юго-Восточной Азии.

M. sp. (рис. 2л, 2м). Отмечен на ст. 10. По строению чешуек сходен с *M. pseudomatvienkoae*, отличается от него более крупными размерами чешуек ($5.3\text{--}5.6 \times 3.6\text{--}4.0$ мкм против $3\text{--}5 \times 2\text{--}3$ мкм у *M. pseudomatvienkoae*), строением вторичного кремнеземного слоя (формой ячеек сетчатой структуры) в дистальной части чешуек и наличием папилл на щите чешуек. Молекулярно-генетические исследования (по неопубликованным данным) показали идентичность этого организма штамму *M. sp.* 19 из Южной Кореи, описанному без иллюстраций в работе Siver et al. (2015) и отличающемуся от *M. pseudomatvienkoae*. Требуются дальнейшие исследования для уточнения таксономического статуса этого организма. Во Вьетнаме ранее отмечен в национальном парке Каттъян (Gusev et al., 2017) и заболоченных водоемах п-ова Камрань (Gusev, 2013; Gusev et al., 2019а).

M. portae-ferreae Péterfi & Asmund (рис. 2н, 2о). Найден на ст. 10. Ограничен в распространении

субтропическими и тропическими регионами (Kristiansen, 2000; Kristiansen, Preisig, 2007). Это один из наиболее обильных и часто встречаемых видов в эвтрофных водоемах Индии (Wujek, Saha, 1996). Ранее во Вьетнаме обнаружен в эвтрофном водохранилище в провинции Кханьхоа (Gusev, Nguyen, 2011).

M. spinosa Gusev em end. Wei & Kristiansen (рис. 2п). Отмечен на ст. 1. Недавно описан из Вьетнама (провинции Донгнай и Кханьхоа), имеет уникальную структуру чешуек, вооруженных длинным и мощным четырехгранным шипом (Gusev, 2012). Редкий вид, единичные находки в Малайзии (Dürschmidt, Croome, 1985), тропической части Китая (Wei et al., 2014) и Индонезии (Karustin, Gusev, 2019). Эндемик Юго-Восточной Азии. Во Вьетнаме найден во временном водоеме в национальном парке Каттъян и эвтрофном водохранилище в провинции Кханьхоа (Gusev, 2012).

Synura longitubularis Jo, Shin, Kim & Siver (рис. 2р). Найдена на ст. 2 и 8. Описана в 2016 г. из Южной Кореи на основании молекулярно-генетических данных (Jo et al., 2016). По морфологическому строению чешуек почти неотличима от *S. curtispina* (Petersen & Hansen) Asmund. Хотя у *S. longitubularis* немного больше диаметр пор базальной пластинки и диаметр ячеек вторичного кремнеземного слоя, а также более длинные трубчатые хвостовые чешуйки, однако значения этих показателей перекрываются у видов. Достоверно идентифицировать этот вид можно только используя молекулярно-генетический подход. Наши неопубликованные данные по 15 штаммам из 12 водоемов четырех провинций Вьетнама по маркеру ITS rDNA свидетельствуют, что в водоемах Вьетнама встречается только *S. longitubularis*, поэтому мы указываем именно этот таксон. Ранее этот вид был отмечен в других районах Вьетнама как *S. curtispina* (Gusev, Nguyen, 2011; Gusev et al., 2017, 2019а).

Paraphysomonas bandaiensis Takahashi (рис. 3а). Зарегистрирован на ст. 10. Характеризуется очень

мелкими чешуйками диаметром 0.5 мкм и шипом длиной 1 мкм, утолщенным ободком, а также наличием мелких пор вдоль ободка. Рецкий вид, описан из пресноводных водоемов Японии (Takahashi, 1976), также найден в Европе, Северной Америке (Preisig, Hibberd, 1982) и России (Волошко, 2017). Во Вьетнаме отмечен впервые.

***P. longispina* J.M. Scoble & T. Cavalier-Smith** (рис. 3б). Найден на ст. 2, 8. Обнаруженные чешуйки с утолщенным краем, их диаметр 1.5–2.0 мкм. Шипы длиной 5.0–7.5 мкм, постепенно суживающиеся от основания к концу. Соотношение длины шипа с диаметром чешуйки – 3–4. Описан из Мексики (Scoble, Cavalier-Smith, 2014), во Вьетнаме отмечен впервые.

***P. vulgaris* subsp. *vulgaris* J.M. Scoble & T. Cavalier-Smith** (рис. 3в). Найден на ст. 4, 10. Обнаруженные чешуйки (диаметр 1.6–2.4 мкм) были с утолщенным краем и часто выраженной центральной складкой. Шипы длиной 2.7–3.1 мкм, постепенно суживающиеся от основания к концу. Отношение длины шипа к диаметру чешуйки 1.6–1.7. Молекулярно-генетические данные показали, что вид обычен и в умеренной, и в тропической зоне (Scoble, Cavalier-Smith, 2014). Обнаружен в Великобритании, Швейцарии и Индии (Scoble, Cavalier-Smith, 2014). Во Вьетнаме отмечен впервые.

***P. vulgaris* cf. subsp. *brevispina* J.M. Scoble & T. Cavalier-Smith** (рис. 3г). Найден на ст. 10. Обнаруженная чешуйка (диаметр 1.4 мкм) с утолщенным краем. Хотя шип был сломан, по его структуре можно утверждать, что его длина не превышает 2 мкм. Меньший диаметр чешуек и длина шипа характерны для подвиды *P. vulgaris* subsp. *brevispina*. По последовательности SSUr DNA этот подвид не отличается от типа. Описан из Великобритании (Scoble, Cavalier-Smith, 2014). Первая находка во Вьетнаме.

cf. *P. sp.* (рис. 3д). Одна чешуйка диаметром 3.3 мкм и с длиной шипа 11 мкм обнаружена на ст. 13. Вид сбоку не позволяет достоверно идентифицировать данный организм, но, по-видимому, он относится к роду *Paraphysomonas*.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При гидробиологических исследованиях водоемов и водотоков Вьетнама, в том числе р. Меконг, зарегистрировано несколько видов золотистых водорослей с кремнеземными покровами: *Mallomonas caudata*, *M. tonsurata* и *Synura uvella* (Dang et al., 2002; Le, 2001, 2010). Однако эти находки не были подтверждены электронно-микроскопическими исследованиями и считаются сомнительными. Для выявления разнообразия этой группы водорослей требуется применение комплекса современных подходов, в первую очередь трансмиссионной и сканирующей электронной микроскопии (Kristiansen, 2005; Škaloud et al., 2013). Для идентификации ряда таксонов необходимо применение молекулярно-генетических методов (Jo et al., 2013, 2016). С помощью этих методов можно проводить корректную иденти-

фикацию, решать вопросы биогеографии водорослей и в дальнейшем использовать данную группу в целях биоиндикации в палеолимнологических исследованиях (Siver, 1995; Smol, 2005). В ходе наших исследований из обнаруженных 15 таксонов 6 впервые отмечены для Вьетнама: *Mallomonas* cf. *corymbosa*, *Synura longitubularis*, *Paraphysomonas bandaiensis*, *P. longispina*, *P. vulgaris* ssp. *vulgaris*, *P. vulgaris* ssp. *brevispina*. Данный факт отражает своеобразие условий в дельте р. Меконг. С учетом предыдущих флористических исследований золотистых водорослей Вьетнама количество таксонов, известных из водоемов страны, увеличилось до 66. Из них шесть таксонов *Mallomonas spinosa*, *M. pseudomatvienkoeae*, *M. paragrandidis*, *M. lamii*, *M. sp.*, *Synura longitubularis* пока можно считать эндемиками Восточной и Юго-Восточной Азии, однако все они – недавно описанные виды, и в дальнейшем возможны их находки в других тропических районах. Еще один вид – *Mallomonas portae-ferreae* обнаружен в тропических и субтропических областях. Широко распространенные и космополитные таксоны представлены тремя видами – *M. multisetigera*, *M. peronoides* и *Paraphysomonas vulgaris* ssp. *vulgaris*. Для остальных таксонов пока недостаточно подтвержденных данных, чтобы отнести их к какой-либо категории видов по географическому распространению.

Выявлено неравномерное распределение найденных таксонов по станциям. Чаще всего на станциях было по 1–2 вида, однако на ст. 10 их отмечено 12. Это было неожиданно, поскольку здесь зарегистрированы довольно высокие значения минерализации воды (>1 г/л), хотя все обнаруженные на станции виды относились к пресноводным организмам. Считается, что чешуйчатые хризифиты (за исключением морских видов *Paraphysomonas*) предпочитают низкоминерализованные воды (Sandgren, 1988; Siver, 1991). Однако имеется ряд немногочисленных исследований, которые показывают, что некоторые виды могут встречаться и в солоновато-водных условиях, в частности, в Балтийском море (Ikavalko, 1994; Ikavalko, Thomsen, 1996). По данным Немцовой и др. (Němcová et al., 2016), соленость – один из важных факторов, формирующих состав золотистых водорослей прибрежных озер и заливов Балтийского моря, и с возрастанием солености количество видов снижается. В этой же работе показано, что распространение отдельных видов чешуйчатых хризифит было положительно скоррелировано с величинами солености (в пределах 0.01–3.08 г/л), в частности, *Mallomonas tonsurata* и *M. alpina*. Довольно богатая флора чешуйчатых хризифит обнаружена в мангровых водоемах на п-ове Камрань, где также наблюдался градиент солености (Gusev, 2013). При солености >1.5 г/л чешуек золотистых водорослей не находили. Однако среди видов, присутствующих в водах с повышенной соленостью до 1.5 г/л, отмечены *Mallomonas korshikovii* Gusev, *Mallomonas guttata*

Wujek, *M. furtiva* Gusev, Certnerová, Škaloudová & Škaloud, *M. cf. matvienkoae*, *Synura papillosa* Kapustin, Gusev & Siver. Наши исследования расширили список видов, обнаруженных при солености ~1 г/л.

Выводы. Флора дельты р. Меконг достаточно своеобразна, включает большую долю эндемичных для региона Юго-Восточной и Восточной Азии видов. Шесть из пятнадцати обнаруженных видов — новые для флоры Вьетнама. Наибольшее количество видов обнаружено при солености воды ~1 г/л.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы глубоко признательны вьетнамским и российским коллегам, администрации и персоналу Тропического центра за помощь в организации и выполнении экспедиционных работ, а также персоналу Центра коллективного пользования электронной микроскопии Института биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН за помощь при работе с электронными микроскопами.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследования выполнены в рамках международной программы “ЭКОЛАН 3.4” Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волошко Л.Н. 2017. Золотистые водоросли севера России. Санкт-Петербург: Реноме.
- Barreto S. 2005. The silica-scaled chrysophyte flora of Hungary // *Nova Hedwigia*. Beih. V. 128. P. 11.
- Cosslett T.L., Cosslett P.D. 2014. Water Resources and Food Security in the Vietnam Mekong Delta. Switzerland: Springer International Publishing.
- Dang N.T., Ho T.H., Duong D.T., May D. 2002. Hydrobiology in inland freshwaters of Viet Nam. Hanoi: Science and Technique Publisher. (in Vietnamese).
- Dürschmidt M. 1982. Studies on the Chrysophyceae from South Chilean inland waters by means of scanning and transmission electron microscopy, II // *Algol. Stud.* V. 31. P. 121.
- Dürschmidt M., Cronberg G. 1989. Contribution to the knowledge of tropical Chrysophytes: Mallomonadaceae and Paraphysomonadaceae from Sri Lanka // *Algol. Stud.* V. 54. P. 15.
- Dürschmidt M., Croome R. 1985. Mallomonadaceae (Chrysophyceae) from Malaysia and Australia // *Nord. J. Bot.* V. 5. P. 285.
- Glushchenko A.M., Kulikovskiy M.S. 2017. Taxonomy and distribution of the genus *Eunotia* Ehrenberg in water ecosystems of Vietnam. *Inland Water Biology* 10(2): 130–139.
- Glushchenko A.M., Kulikovskiy M.S. 2019. First Record of *Cyatopleura aquastudia* Kociolek & You and *C. xinjiangiana* You & Kociolek in Aquatic Ecosystems of Vietnam. *Inland Water Biology* 12(2): 254–257.
- Gusev E.S. 2012. A new species of the genus *Mallomonas* (Synurophyceae), *Mallomonas spinosa* sp. nov., from Vietnam // *Phytotaxa*. V. 66. P. 1.
- Gusev E.S. 2013. Studies on synurophycean algae from mangrove wetlands (Vietnam) // *Nova Hedwigia*. Beih. V. 142. P. 87.
- Gusev E.S. 2015a. A new species of the genus *Mallomonas* (Synurales, Chrysophyceae), *Mallomonas fimbriata* sp. nov. // *Phytotaxa*. V. 195. P. 291.
- Gusev E.S. 2015b. A New Species in Genus *Mallomonas* Perty (Synurales, Chrysophyceae) from Vietnam // *Int. J. Algae*. V. 17. P. 351.
<https://doi.org/10.15407/alg25.04.428>
- Gusev E.S., Nguyen T.H.T. 2011. Silica-scaled chrysophytes (Chrysophyceae and Synurophyceae) from Vietnam (Khanh Hoa and Quang Nam provinces) // *Nova Hedwigia*. V. 93. P. 191.
<https://doi.org/10.1127/0029-5035/2011/0093-0191>
- Gusev E.S., Siver P.A. 2017. *Mallomonas neoampla* sp. nov. from Vietnam, a new species that bridges the gap between fossil and modern taxa // *Nova Hedwigia*. V. 104. P. 521.
https://doi.org/10.1127/nova_hedwigia/2016/0389
- Gusev E.S., Doan N.H., Nguyen N.L. 2017. Silica-scaled chrysophytes from Cat Tien National Park (Dong Nai Province, Vietnam) // *Nova Hedwigia*. V. 105. P. 347.
- Gusev E.S., Doan N.H., Nguyen N.L. et al. 2019a. Silica-scaled chrysophytes from Cam Ranh Peninsula (Khanh Hoa Province, Vietnam) // *Nova Hedwigia*. Beih. V. 148. P. 63.
- Gusev E., Kulizhin P., Guseva E. et al. 2019b. *Mallomonas lamii* sp. nov. (Synurales, Chrysophyceae), a new species bearing large scales described from the tropics // *Phytotaxa*. V. 423. P. 266.
<https://doi.org/10.11646/phytotaxa.423.4.5>
- Ikavalko J. 1994. Observations on silica-scaled flagellates (Chrysophyceae and Synurophyceae) in the brackish water of Pojo Bay, SW coast of Finland // *Ann. Bot. Fenn.* V. 31. P. 1.
- Ikavalko J., Thomsen H.A. 1996. Scale-covered and loricate flagellates (Chrysophyceae and Synurophyceae) from Baltic Sea ice // *Nova Hedwigia*. Beih. V. 114. P. 147.
- Jo B.Y., Shin W., Kim H.S. et al. 2013. Phylogeny of the genus *Mallomonas* (Synurophyceae) and descriptions of five new species on the basis of morphological evidence // *Phycologia*. V. 52. P. 266.
<https://doi.org/10.2216/12-107.1>
- Jo B.Y., Kim J.I., Škaloud P., Siver P.A., Shin W. 2016. Multigene phylogeny of *Synura* (Synurophyceae) and descriptions of four new species based on morphological and DNA evidence // *Eur. J. Phycol.* V. 51. P. 413.
- Kapustin D.A., Gusev E.S. 2019. Silica-scaled chrysophytes from West Java (Indonesia) including description of a new *Chrysosphaerella* species // *Nova Hedwigia*. Beih. V. 148. P. 11.
<https://doi.org/10.1127/nova-suppl/2019/025>
- Kim J.H., Han S.K. 2011. Seasonal occurrence of silica-scaled chrysophytes in a small eutrophic swamp, South Korea // *Nova Hedwigia*. V. 93. P. 411.
- Kristiansen J. 2000. Cosmopolitan chrysophytes // *Syst. Geogr. Pl.* V. 70. P. 291.
<https://doi.org/10.2307/3668648>
- Kristiansen J. 2001. Biogeography of silica-scaled chrysophytes // *Nova Hedwigia*. Beih. V. 122. P. 23.
- Kristiansen J. 2005. Golden algae: a biology of chrysophytes. Königstein: Koeltz Scientific Books.

- Kristiansen J., Preisig H.R.* 2007. Chrysophyte and Haptophyte algae. Part 2: Synurophyceae // Süßwasserflora von Mitteleuropa. Freshwater Flora of Central Europe. V. 1/2. Berlin: Spektrum Akademischer.
- Kristiansen J., Škaloud P.* 2017. Chrysophyta // Handbook of the Protists. Switzerland: Springer International Publishing. P. 331.
- Kuenzer C., Renaud F.G.* 2012. Climate and Environmental Change in River Deltas Globally: Expected Impacts, Resilience, and Adaptation // The Mekong Delta System. Interdisciplinary Analyses of a River Delta. Dordrecht: Springer Science + Business Media. P. 7.
- Le T.C.* 2001. Checklist of plant species of Viet Nam. V. 1. Ha Noi. (in Vietnamese).
- Le T.* 2010. Changes in species composition and abundance of phytoplankton in Ea Nhai and Ea Sup reservoirs, Dak Lak Province. PhD thesis. Dak Lak: Dak Lak University. 214 p. (in Vietnamese).
- Němcová Y., Pusztaí M., Škaloudová M., Neustupa J.* 2016. Silica-scaled chrysophytes (Stramenopiles, Ochrophyta) along a salinity gradient: a case study from the Gulf of Bothnia western shore (northern Europe) // Hydrobiologia. V. 764. P. 187.
- Preisig H.R., Hibberd D.J.* 1982. Ultrastructure and taxonomy of *Paraphysomonas* (Chrysophyceae) and related genera II // Nord. J. Bot. V. 2. P. 601. <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1983.tb01056.x>
- Räsänen T.A.* 2014. Hydrological changes in the Mekong River Basin – The effects of climate variability and hydropower development. Helsinki: School of Engineering.
- Sandgren C.D.* 1988. The ecology of chrysophyte flagellates: their growth and perennation strategies as freshwater phytoplankton // Growth and Reproductive Strategies of Freshwater Phytoplankton. Cambridge: Cambridge University Press. P. 9.
- Scoble J.M., Cavalier-Smith T.* 2014. Scale evolution in Paraphysomonadida (Chrysophyceae): Sequence phylogeny and revised taxonomy of *Paraphysomonas*, new genus *Clathromonas*, and 25 new species // Europ. J. Protistol. V. 50. P. 551.
- Siver P.A.* 1991. The Biology of Mallomonas. Morphology, Taxonomy, Ecology. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Siver P.A.* 1995. The distribution of chrysophytes along environmental gradients: their use as biological indicators // Chrysophyte Algae. Cambridge: Cambridge University Press. P. 232.
- Siver P.A., Lott A.M.* 2012. Biogeographic patterns in scaled chrysophytes from the east coast of North America // Freshwater Biol. V. 57. P. 451.
- Siver P.A., Jo B.Y., Kim J.I. et al.* 2015. Assessing the evolutionary history of the class Synurophyceae (Heterokonta) using molecular, morphometric, and paleobiological approaches // Am. J. Bot. V. 102. P. 921.
- Siver P.A., Kapustin D.A., Gusev E.S.* 2018. Investigations of two-celled colonies of *Synura* formerly described as *Chrysodidymus* with descriptions of two new species // Eur. J. Phycol. V. 53. P. 245.
- Škaloud P., Kristiansen J., Škaloudová M.* 2013. Developments in the taxonomy of silica scaled chrysophytes – From morphological and ultrastructural to molecular approaches // Nord. J. Bot. V. 31. P. 385.
- Smol J.P.* 2005. Applications of chrysophytes to problems in paleoecology // Chrysophyte Algae. Cambridge: Cambridge University Press. P. 232.
- Takahashi E.* 1976. Studies on genera *Mallomonas* and *Synura*, and other plankton in freshwater with the electron microscope X. The genus *Paraphysomonas* (Chrysophyceae) // British Phycol. J. V. 11. P. 39.
- Wei Y.-X., Yuan X.-P., Kristiansen J.* 2014. Silica-scaled chrysophytes from Hainan, Guangdong Provinces and Hong Kong Special Administrative Region, China // Nord. J. Bot. V. 32. P. 881.
- Wujek D.E., Saha L.C.* 1996. Scale-bearing chrysophytes (Chrysophyceae and Synurophyceae) from India. II // Nova Hedwigia. Beih. V. 112. P. 367.

Flora of Silica-Scaled Chrysophytes (Chrysophyceae: Synurales, Paraphysomonadales) of the Mekong Delta

E. S. Gusev^{1,3,*}, V. A. Gusakov^{2,3}, E. E. Guseva¹, M. S. Kulikovskiy¹,
A. I. Tsvetkov^{2,3}, and Cù Nguyễn Đình³

¹*Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Nekouzskii raion, Yaroslavl oblast, Russia*

³*Joint Russian–Vietnamese Tropical Research and Technological Center, Hanoi, Vietnam*

*e-mail: alogus@yandex.ru

The paper presents the first data on the flora of silica-scaled chrysophytes (orders of Synurales and Paraphysomonadales) in the delta of the river Mekong (Vietnam). A total of 15 taxa were identified: nine from the genus *Mallomonas*, one from *Synura*, five from *Paraphysomonas*. Six taxa are reported for the first time in Vietnam. At most points, 1–2 species per station were recorded. The maximum diversity (12 taxa) was revealed at the station with salinity >1 g/L. Based on previous floristic studies of Vietnam's silica-scaled chrysophytes, the number of taxa known from the country increased to 66. Our studies have expanded the list of species which have tolerance to salinity of about 1 g/L.

Keywords: Silica-scaled chrysophytes, *Mallomonas*, *Synura*, *Paraphysomonas*, flora, delta of the River Mekong