

На правах рукописи

Сафронова

Сафронова Татьяна Владимировна

ЗОЛОТИСТЫЕ ВОДОРОСЛИ (*CHRYSOPHYCEAE, SYNUROPHYCEAE*)
ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

03.02.01 — «Ботаника»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург

2019

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ботаническом институте им. В.Л. Комарова Российской академии наук.

Научный руководитель доктор биологических наук, доцент
Волошко Людмила Николаевна

Официальные оппоненты: **Комулайнен Сергей Федорович**
доктор биологических наук,
Институт биологии — обособленное
подразделение Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Федерального
исследовательского центра "Карельский научный
центр Российской академии наук", ведущий
научный сотрудник.

Анисимова Ольга Викторовна
кандидат биологических наук, Московский
государственный университет им. М.В.
Ломоносова, Биологический факультет,
Звенигородская биологическая станция имени
С.Н. Скадовского, ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное
учреждение науки Центральный Сибирский
ботанический сад Сибирского отделения
Российской академии наук

Защита диссертации состоится «15» мая 2019 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.211.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Ботаническом институте им. В.Л. Комарова Российской академии наук по адресу: 197376, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 2. Тел.:(812) 372-54-06, факс: (812) 372-54-43; dissovet.d00221101@binran.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанического института имени В.Л. Комарова Российской академии наук.

Автореферат разослан «___» марта 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук  Ольга Юрьевна Сизоненко

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Стремительный рост народонаселения, крупной промышленности и сельского хозяйства способствует активной эвтрофикации водоемов, даже в северных регионах. Это обстоятельство заставляет обращать особое внимание на охрану лесных территорий и водоемов, на создание специальных заповедников, национальных парков и других природных резерватов. Известно, что природа особо охраняемых природных территорий (ООПТ) является хранилищем естественного видового биологического разнообразия, охраняемый режим ООПТ обеспечивает чистоту водоемов и бережет естественные условия окружающей среды. ООПТ обладают огромными научными, образовательными и эстетическими возможностями. Поиск механизмов использования этого потенциала является одним из приоритетных направлений, а необходимость изучения биоразнообразия с целью его охраны и совершенствования сети ООПТ не вызывает сомнения. Большое значение имеет полная инвентаризация всех компонентов водной биоты и составление кадастров флоры.

Золотистые водоросли — это широко распространенная группа преимущественно пресноводных гидробионтов, которая характеризуется разнообразием структурных форм. Идентификация этой группы водорослей сложна из-за недостатка таксономически значимых признаков при использовании световой микроскопии (СМ). Во многих альгологических исследованиях золотистые водоросли практически отсутствуют, поскольку они обычно выполняются методами СМ. В настоящее время необходимым инструментом для изучения кремнистых структур панциря хризофитовых стал электронный микроскоп. Морфология кремнистых покровов имеет большую таксономическую значимость и дает возможность исследовать биогеографию и экологию золотистых водорослей, а также использовать их в качестве индикаторных организмов. Изучение видового состава различных таксономических групп хризофитовых требует комплексного подхода с использованием традиционных и современных методов (СМ, сканирующей (СЭМ) и трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ)).

Цель и задачи исследования. Оценка таксономического разнообразия золотистых водорослей в водных и болотных экосистемах ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга с использованием методов ТЭМ и СЭМ.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценить биологическое разнообразие золотистых водорослей водоемов и болот ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга с использованием методов световой и электронной микроскопии.
2. Провести анализ таксономической структуры выявленной флоры золотистых водорослей ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга.
3. Провести сравнительный анализ видового состава хризофитовых отдельных ООПТ.
4. Определить разнообразие стоматоцист золотистых водорослей в водоемах и болотах ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга с использованием методов сканирующей электронной микроскопии.

5. Провести эколого-географический анализ флоры хризофитовых. Выявить факторы среды, определяющие видовой состав и количественное развитие золотистых водорослей. Проанализировать и обобщить сведения по экологии и распространению отдельных таксонов.

6. Оценить сезонную динамику видового состава хризофитовых в водоемах г. Санкт-Петербурга.

7. Определить фоновые, редкие и нуждающиеся в охране виды, рекомендовать их для включения в региональные Красные книги.

Предмет защиты. Флористика, таксономия и экология золотистых водорослей.

Научная новизна и теоретическая значимость работы. В настоящей работе использован комплексный подход для изучения разнообразия золотистых водорослей, включающий в себя традиционные морфологические и современные ультраструктурные методы, применяемые в таксономии хризофитовых. В результате впервые исследована флора золотистых водорослей ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга. Установлено их высокое разнообразие — 127 видов и внутривидовых таксонов из 14 родов, относящихся к 5 семействам, 2 порядкам и 2 классам — Chrysophyceae и Synurophyceae. Впервые для флоры России указываются 8 видов и 1 подвид золотистых водорослей. В водоемах Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга впервые обнаружено 28 видов и внутривидовых таксонов хризофитовых. Большинство новых для исследованной флоры видов (22 вида или 79% от общего числа новых видов) принадлежат к хризофитовым с наружными кремнистыми покровами (чешуйки, щетинки), идентификация которых стала возможной благодаря использованию ТЭМ, а два новых для флоры России вида определены при помощи СМ и СЭМ по видоспецифическим стоматоцистам. Проведен сравнительный анализ и подсчитаны индексы сходства видового состава водоемов исследованных ООПТ. Идентифицировано 20 стоматоцист, 12 из которых соотнесены с видом, у 7 стоматоцист выявлен ранее опубликованный морфотип, и один морфотип 395/13 описан впервые. Впервые в России найдено 9 морфотипов цист. Полученные данные могут служить дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия золотистых водорослей в исследованных водоемах. Впервые прослежены сезонные изменения состава хризофитовых в водоемах ООПТ г. Санкт-Петербурга. В систематическом списке описания таксонов дополнены оригинальными данными по экологии и распространению видов. В приложении диссертации кремнистые чешуйки, домики (лорики) всех видов и внутривидовых таксонов и детали морфологии различных морфотипов стоматоцист иллюстрированы преимущественно оригинальными микрофотографиями.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Изучение видового состава золотистых водорослей на современном уровне существенно дополнило имеющиеся сведения и изменило представления о разнообразии хризофитовых в водоемах исследованных ООПТ.

2. Флора хризофитовых отдельных ООПТ имеет сходство среднего уровня, это обусловлено экологическими условиями, сложившимися в водоемах и болотах исследованных ООПТ.

3. Детальное изучение морфологии таксономически важных стадий жизненного цикла хризофитовых — стоматоцист может служить дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия золотистых водорослей в исследованных водоемах.

4. Факторами среды, контролирующими развитие золотистых водорослей, являются водородный показатель (рН), удельная электропроводность воды (УЭП) и температура воды. Особенности видового состава отдельных водоемов отражают экологические предпочтения хризофитовых и позволяют выявить экологические группы, характерные для разных условий среды.

5. Состав хризофитовых подвержен сезонным изменениям, которые четко прослеживаются на примере небольших прудов, расположенных в г. Санкт-Петербурге.

Практическое значение работы. Впервые изучен состав хризофитовых в водоемах и болотах ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга. Систематический список может быть использован при подготовке таксономических баз данных по водорослям. Часть материалов уже включена в базу данных по хризофитовым Европы (www.chrysophytes.eu). Полученные данные могут использоваться в качестве пособия при выполнении научно-исследовательской работы, в учебном процессе при подготовке специалистов в области альгологии, экологии, гидробиологии, палеоботаники и микробиологии, а также природоохранными организациями, осуществляющими контроль состояния окружающей среды изученного региона при планировании рациональной эксплуатации водоемов. В результате проделанной работы редкие таксоны хризофитовых (6 видов и 2 разновидности) включены в Красную книгу Ленинградской области (2018) и Красную книгу Санкт-Петербурга (2018). Охрана редких видов водорослей на территориях ООПТ поможет сохранить уникальные водоемы, в которых они обитают.

Личный вклад автора. Вклад автора заключается в проведении полевых исследований, отборе проб, измерении гидрохимических параметров (водородного показателя, температуры воды, электропроводности), обработке материала на СМ, ТЭМ и СЭМ, идентификации объектов, анализе и обобщении полученного материала. Работа проводилась в рамках плановой темы лаборатории альгологии БИН РАН при поддержке программ фундаментальных исследований Президиума РАН «Биологическое разнообразие» (2009–2011), «Живая природа: современное состояние и проблемы развития» (2012–2017) и «Биоразнообразие природных систем. Биологические ресурсы России: оценка состояния и фундаментальные основы мониторинга» (2018).

Апробация работы. Материалы диссертации были представлены на III Международной конференции «Территориальные проблемы охраны природы. Особо охраняемые природные территории» (Санкт-Петербург, Россия, 2008), The Second European Large Lakes Symposium (Norrtaälje, Sweden, 2009), IV Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии» (Киев, Украина, 2012), Eighth International Chrysophyceae Symposium (Prague, Czech Republic, 2012), Альгологической секции Российского Ботанического Общества (БИН РАН, Санкт-Петербург, Россия, 2008, 2010, 2011,

2012, 2013), X и XI ежегодной молодежной экологической Школе-конференции в усадьбе «Сергиевка» (г. Петергоф, Санкт-Петербург, Россия, 2015, 2017) и IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» (Санкт-Петербург, Россия, 2018).

Публикации результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликовано 26 работ, из них 6 статей опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 1 статья включена в базу данных «Сеть науки» (WoS).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 8 глав, выводов, заключения и приложения. Текст изложен на 179 страницах диссертации и 25 страницах приложения. Работа иллюстрирована 18 таблицами и 20 рисунками. Стоматоциты и детали структуры покровов клеток отдельных видов иллюстрированы 24 таблицами с 204 преимущественно оригинальными микрофотографиями. Список литературы включает 281 название, из которых 105 на русском и 176 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю Л.Н. Волошко; К.Л. Виноградовой, О.Я. Чаплыгиной и А.Д. Потемкину за советы и замечания; Л.А. Карцевой, Л.Е. Муравник, О.В. Яковлевой, П.А. Цинману и М.Д. Воронцову за помощь в проведении ЭМ исследований; всем сотрудникам лаборатории альгологии за помощь и советы. Работа выполнялась на оборудовании ЦКП БИН РАН (отделения СЭМ, ТЭМ и СМ) и на оборудовании ЦКП «ХРОМАС» СПбГУ.

СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава 1. Обзор исследований по золотистым водорослям Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга

На Северо-Западе России исследования золотистых водорослей начались в начале XX века (Болохонцев, 1909; Вислоух, 1914; Воронихин, 1931 и др.), но проводились они только на уровне СМ. Отдельные сведения по составу хризофитовых региона (в основном Ладожского оз. и впадающих в него рек) были получены Л.Н. Волошко (2012, 2013а, 2017). На территориях ООПТ Ленинградской обл. целенаправленного исследования состава хризофитовых не проводилось, хотя охраняемые водоемы наиболее интересны, поскольку испытывают меньшую антропогенную нагрузку, чем остальные. В загрязненных водоемах хризофитовые не выдерживают конкуренции с другими группами водорослей, для которых условия высокой трофности водоемов являются приоритетными.

Глава 2. Характеристика района исследований

В этой главе приведены сведения о географическом положении, климатических и гидрологических характеристиках исследованных территорий. В рамках оценки биоразнообразия нами был изучен видовой состав золотистых водорослей водоемов и болот ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга (Рис. 1).

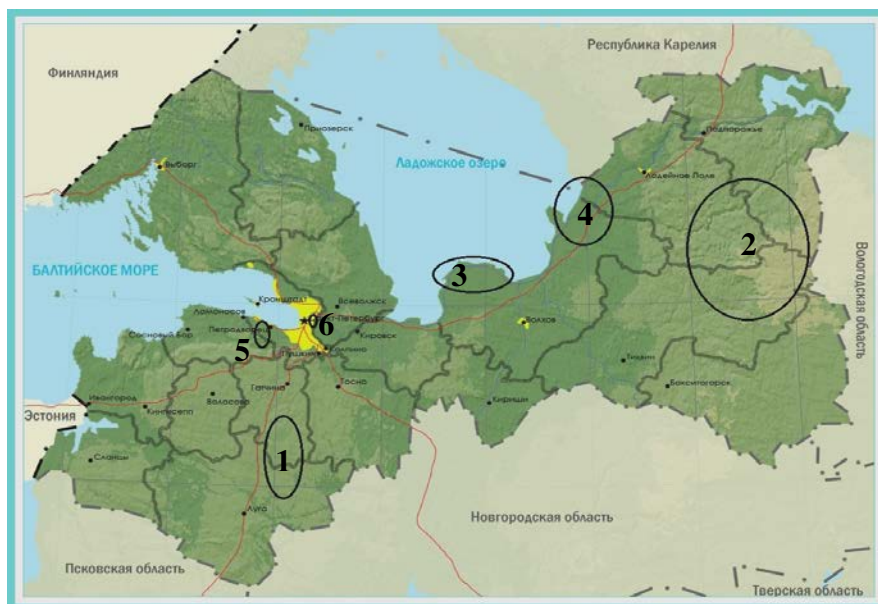


Рисунок 1. Карта Ленинградской обл., исследованные ООПТ отмечены овалами: 1 — водно-болотное угодье международного значения «Мшинская болотная система»; 2 — природный парк «Вепсский лес»; 3 — проектируемая ООПТ «Южное Приладожье»; 4 — водно-болотное угодье международного значения «Свирская губа Ладожского озера»; 5 — ООПТ г. Петергофа: комплексный памятник природы парк «Сергиевка» и «Луговой парк»; 6 — парк Ботанического института (БИН РАН).

Глава 3. Материал и методы исследований

Материалом для работы послужили личные сборы автора и сотрудников БИН РАН (451 альгологическая проба, из них автором отобраны 433 пробы) в период с 2009 по 2016 гг. Исследование общей морфологии и съемку объектов проводили в СМ. Кремнистые покровы хризофитовых изучались методами ТЭМ. Изучение морфологии стоматоцист проводилось при помощи СЭМ. Для определения сходства видового состава золотистых водорослей водоемов отдельных ООПТ был рассчитан коэффициент общности по Серенсену (Новичкова-Иванова, 1980; Новаковский, 2006).

Глава 4. Очерк флоры золотистых водорослей особо охраняемых природных территорий Ленинградской области и г. Санкт-Петербурга

Очерк флоры составлен на основании собственных исследований видового состава хризофитовых в водоемах ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга. Он включает в себя сведения о 127 видах и внутривидовых таксонах из 14 родов, относящихся к 5 семействам, 2 порядкам и 2 классам — Chrysophyceae и Synurophyceae (Табл.1).

Класс Chrysophyceae с единственным порядком Chromulinales наиболее разнообразен в исследованных водоемах и представлен 67 видами и внутривидовыми таксонами из трех семейств: Chromulinaceae, Dinobryaceae и Paraphysomonadaceae. Из сем. Chromulinaceae найдено всего 8 видов из 4 родов (*Ochromonas*, *Synuroopsis*, *Uroglena* и *Uroglenopsis*). Сем. *Dinobryaceae* с лорикатными формами, которые хорошо идентифицируются по форме лорики в

СМ, СЭМ и ТЭМ, насчитывает 32 вида и занимает одну из ведущих позиций по видовому разнообразию (роды *Chrysococcus*, *Dinobryon*, *Epipyxis*, *Kephyrion* и *Pseudokephyrion*). Сем. Paraphysomonadaceae включает 27 видов из 3 родов: *Chrysosphaerella*, *Paraphysomonas* и *Spiniferomonas*. Заметную роль во флоре играли таксоны этого семейства, отмеченные на всех исследованных ООПТ: *Paraphysomonas imperforata*, *P. vestita* subsp. *vestita* и *S. trioralis* f. *trioralis*. Класс Synurophyceae представлен 60 видами и внутривидовыми таксонами, входящими в порядок Synurales, который включает 2 семейства: Mallomonadaceae и Synuraceae и 2 рода: *Mallomonas* и *Synura*. По числу видов доминирует род *Mallomonas* (44 вида), род *Synura* включает 16 таксонов. Ведущими по таксономическому разнообразию в водоемах исследованных ООПТ были 4 семейства хризофитовых: Mallomonadaceae (34.6%), Dinobryaceae (25.1%), Paraphysomonadaceae (21.3%) и Synuraceae (12.6%), объединяющие 119 (93.7%) видов и внутривидовых таксонов.

Таблица 1. Структура флоры золотистых водорослей ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга.

Таксон	Число видов и внутривидовых таксонов	%
Класс Synurophyceae	60	47.2
Пор. Synurales	60	47.2
Сем. Mallomonadaceae	44	34.6
<i>Mallomonas</i>	44	34.6
Сем. Synuraceae	16	12.6
<i>Synura</i>	16	12.6
Класс Chrysophyceae	67	52.8
Пор. Chromulinales	67	52.8
Сем. Paraphysomonadaceae	27	21.3
<i>Chrysosphaerella</i>	3	2.4
<i>Paraphysomonas</i>	18	14.2
<i>Spiniferomonas</i>	6	4.7
Сем. Dinobryaceae	32	25.1
<i>Chrysococcus</i>	4	3.2
<i>Dinobryon</i>	17	13.3
<i>Epipyxis</i>	1	0.8
<i>Kephyrion</i>	5	3.9
<i>Pseudokephyrion</i>	5	3.9
Сем. Chromulinaceae	8	6.4
<i>Ochromonas</i>	2	1.6
<i>Uroglena</i>	3	2.4
<i>Uroglenopsis</i>	2	1.6
<i>Synuroopsis</i>	1	0.8
Число таксонов	127	100

Впервые для флоры России указываются 8 видов и 1 подвид: *Mallomonas asmundiae*, *M. mangofera*, *M. pseudocratis*, *M. trummensis*, *Synura americana*, *Paraphysomonas eiffelii* и *P. punctata* subsp. *simplicior*, *Uroglena kukki* и cf. *Uroglenopsis lindii*. Для флоры Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга — 28 видов и внутривидовых таксонов: *Chrysococcus furcatus*, *Chrysosphaerella coronacircumspina* var. *grandibasa*, *Dinobryon crenulatum*, *D. sociale* var. *americanum*, *Mallomonas alata* f. *alata*, *M. areolata*, *M. corcontica*, *M. costata*, *M. crassisquama* var. *papillosa*, *M. cratis*, *M. flora*, *M. intermedia*, *M. multiunca* var. *pocosinensis*, *M. paludosa*, *M. pillula* var. *pillula*, *M. pugio*, *M. pumilio* var. *munda*, *M. striata* var. *serrata*, *Paraphysomonas bandaiensis*, *P. homolepis*, *P. undulata*, *P. uniformis* subsp. *hemiradia*, *Pseudokephyrion conicum*, *P. tatricum*, *Spiniferomonas trioralis* f. *cuspidata*, *Synura macropora*, *S. splendida* и *Uroglenopsis soniaca*.

В водоемах ООПТ Ленинградской обл. выявлено 87 видов и внутривидовых таксонов из 12 родов (Табл. 2).

В водно-болотном угодье международного значения «Мишинская болотная система» идентифицирован 61 вид и внутривидовой таксон хризофитовых из 2 классов, 2 порядков, 5 семейств и 12 родов (Табл. 2). В составе флоры обнаружены очень редкие виды и разновидности: *Chrysosphaerella coronacircumspina* var. *grandibasa*, *Mallomonas multiunca* var. *pocosinensis*, cf. *Ochromonas magnifica* и *Uroglenopsis soniaca*. Два вида, найденные в водоемах этой территории, указываются впервые для флоры России: *Mallomonas asmundiae* и *M. pseudocratis*. Самыми обычными были виды, найденные в 20–50% образцов: *Dinobryon bavaricum*, *D. sertularia*, *D. sociale*, *Paraphysomonas vestita*, *Mallomonas multiunca*, *M. papillosa*, *M. tonsurata*, *Synura curtispina*, *S. petersenii*, *S. sphagnicola* и *S. uvella*. Встречаемость остальных видов была менее 20%. Довольно высокое видовое разнообразие золотистых водорослей в водоемах «Мишинской болотной системы» объясняется физиологическими особенностями этих микроводорослей, а именно способностью продуцировать кислые фосфатазы, что дает им преимущество в кислых условиях по сравнению с другими группами водорослей (Siver, 1995).

В водоемах Природного парка «Вепсский лес» идентифицировано 43 вида и внутривидовых таксона золотистых водорослей из 2 классов, 2 порядков, 5 семейств и 9 родов (Табл. 2). В составе флоры обнаружены редкие виды *Ochromonas magnifica*, *Mallomonas pillula* и *M. trummensis*. Наиболее часто встречающимся видом в водоемах ООПТ, найденным в 64% проб, был *Mallomonas tonsurata*. Обычными в водоемах «Вепсского леса» были: *Dinobryon bavaricum*, *D. suecicum* var. *suecicum*, *Paraphysomonas vestita*, *Spiniferomonas trioralis* f. *trioralis*, *Mallomonas alpina*, *M. crassisquama* var. *crassisquama*, *M. multiunca*, *M. punctifera*, *Synura petersenii* f. *petersenii*. Впервые для водоемов России указывается *Mallomonas trummensis*. В озерах «Вепсского леса» обнаружена разновидность *Mallomonas crassisquama* var. *papillosa*, которая считается реликтовым таксоном, имеющим прерывистое распространение в Северной Америке и России (Siver et al., 2005, Бессудова и др., 2016; Волошко, 2017).

Таблица 2. Таксономическая структура флоры золотистых водорослей ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга.

Таксон	ООПТ						
	Ленинградская обл.				Санкт-Петербург		
	Мшинская болотная сис-ма	Вепский лес	юг Ладожского озера	Число таксонов	БИН	ООПТ г. Петергофа	Число таксонов
Mallomonadaceae	28	18	18	37	11	23	27
<i>Mallomonas</i>	28	18	18	37	11	23	27
Dinobryaceae	15	11	12	22	9	23	25
<i>Dinobryon</i>	10	8	7	11	6	15	15
<i>Kephyrion</i>	1	2	2	4	1	4	4
<i>Epiryxis</i>	1	–	–	1	–	–	–
<i>Chrysococcus</i>	–	–	1	1	1	3	4
<i>Pseudokephyrion</i>	3	1	2	5	1	1	2
Paraphysomonadaceae	6	5	10	13	16	18	24
<i>Paraphysomonas</i>	3	2	5	6	11	11	16
<i>Spiniferomonas</i>	2	2	3	4	4	4	5
<i>Chrysosphaerella</i>	1	1	2	3	1	3	3
Synuraceae	9	7	9	11	7	11	12
<i>Synura</i>	9	7	9	11	7	11	12
Chromulinaceae	3	2	–	4	3	3	6
<i>Ochromonas</i>	1	2	–	2	–	1	1
<i>Uroglena</i>	1	–	–	1	2	1	3
<i>Synuroopsis</i>	–	–	–	–	–	1	1
<i>Uroglenopsis</i>	1	–	–	1	1	–	1
Число семейств	5	5	4	5	5	5	5
Число родов	12	9	9	13	11	12	13
Число видов	61	43	49	87	46	77	94
Среднее число видов в семействе	12	9	12	17	9	15	19
Среднее число видов в роде	5	5	5	7	4	6	7

Примечание. ООПТ г. Петергофа — Природный парк «Сергиевка» и «Луговой парк»; юг Ладожского озера — «Свирская губа Ладожского озера» и «Южное Приладожье».

*В водоемах водно-болотного угодья международного значения «Свирская губа Ладожского озера» и проектируемой ООПТ «Южное Приладожье» обнаружено 49 видов и внутривидовых таксонов золотистых водорослей из 2 классов, 2 порядков, 4 семейств и 9 родов (Табл. 2). К часто встречающимся видам мы отнесли: *Dinobryon bavaricum* var. *bavaricum*, *Dinobryon divergens*, *D. suecicum* var. *suecicum*, *Pseudokephyrion conicum*,*

P. ellipsoideum, *Paraphysomonas vestita* var. *vestita*, *Mallomonas acaroides* var. *acaroides*, *M. akrokomos*, *M. caudata*, *M. crassisquama* var. *crassisquama*, *M. tonsurata*, *Synura petersenii* f. *petersenii*, *S. spinosa* f. *spinosa* и *S. uvella*.

В водоемах ООПТ г. Санкт-Петербурга установлено 94 вида и внутривидовых таксона из 12 родов (Табл. 2).

В прудах БИН РАН обнаружено 46 видов и внутривидовых таксонов золотистых водорослей из 2 классов, 2 порядков, 5 семейств и 10 родов (Табл. 2). В составе флоры обнаружены редкие таксоны: *Chrysococcus furcatus*, *Paraphysomonas punctata* subsp. *simplicior*, *P. undulata*, *Spiniferomonas trioralis* f. *cuspidata*, *Uroglena kukki* и cf. *Uroglenopsis lindii*. Наиболее часто встречающимся представителем в водоемах парка, найденным в 53% исследованных проб, был *Paraphysomonas vestita* var. *vestita*. Обычными в прудах БИН РАН были: *Dinobryon sociale* var. *sociale*, *Mallomonas akrokomos*, *M. alpina*, *M. caudata*, *M. heterospina*, *M. striata* var. *striata*, *M. striata* var. *serrata*, *Synura curtispina*, *S. echinulata*, *S. glabra*, *S. petersenii* f. *petersenii*, *S. spinosa* f. *spinosa* и *S. uvella*. Следует отметить редко встречающийся вид *Paraphysomonas undulata*, который включен в Красную книгу г. Санкт-Петербурга (2018). В России он отмечен в Большеземельской тундре (Волошко, 2012, 2017), на северо-западе России встречен только на территории БИН РАН. Исследованные пруды парка сильно отличаются от выше описанных водоемов ООПТ Ленинградской обл., рассчитанный коэффициент (по Серенсену) показал, что их сходство ниже среднего уровня (43–49%). Возможно, это связано с тем, что пруды расположены в центре крупного мегаполиса и испытывают более значительную антропогенную нагрузку по сравнению с другими ООПТ. Так, в Длинном пруду БИН РАН зафиксировано самое высокое значение УЭП воды среди исследованных водоемов (650–690 $\mu\text{S cm}^{-1}$), указывающее на высокую минерализацию пруда. Тем не менее, в прудах парка БИН РАН идентифицированно 13 таксонов, не отмеченных нами в водоемах других ООПТ, 5 из них (*Mallomonas mangofera*, *Uroglena kukki*, cf. *Uroglenopsis lindii* и *Paraphysomonas punctata* subsp. *simplicior*, *Synura americana*) отмечены впервые в России.

В водоемах природного парка «Сергиевка» и «Лугового парка» идентифицированно 77 таксонов золотистых водорослей из 2 классов, 2 порядков, 5 семейств и 10 родов (Табл. 2). В составе флоры обнаружены редкие представители: *Chrysosphaerella coronacircumspina* var. *grandibasa*, *Paraphysomonas homolepis*, *P. subquadrangularis*, *P. uniformis* subsp. *hemiradia*, *Spiniferomonas alata*, *Synuroopsis danubiensis* и *Mallomonas acaroides* var. *inermis*. Редкая разновидность *Chrysosphaerella coronacircumspina* var. *grandibasa* включена нами в Красную книгу г. Санкт-Петербурга (2018). Обычными в водоемах ООПТ г. Петергофа были: *Dinobryon sertularia* var. *sertularia*, *D. sociale* var. *sociale*, *Chrysosphaerella brevispina*, *Paraphysomonas vestita* subsp. *vestita*, *Spiniferomonas trioralis* f. *trioralis*, *Mallomonas acaroides* var. *acaroides*, *M. akrokomos*, *M. alata*, *M. alpina*, *M. heterospina*, *M. multiunca*, *M. tonsurata*, *Synura echinulata*, *S. petersenii* f. *petersenii*. Встречаемость остальных видов не превышала 20%.

Состав золотистых водорослей, доминирующих в водоемах ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга. В образовании доминирующих комплексов исследованных водоемов участвовали хризофитовые из 2 классов, 2 порядков, 4 семейств, 4 родов и 15 видов. По видовому разнообразию в доминирующих комплексах преобладали виды родов: *Mallomonas* (5) и *Synura* (5). Оставшиеся два рода *Dinobryon* и *Paraphysomonas* включали три и два вида соответственно. Виды доминирующего комплекса составляют 12% от всего видового состава хризофитовых. Согласно географическому анализу, почти все виды доминирующего комплекса — широко распространенные виды и космополиты (14 видов), также в его состав входит 1 аркто-бореальный вид — *Mallomonas multiunca*.

Степень сходства флоры золотистых водорослей ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга. При определении степени сходства видового состава был вычислен коэффициент общности флор золотистых водорослей исследованных ООПТ по Серенсену (Новичкова-Иванова, 1980). Рассчитанный коэффициент показал сходство флор среднего уровня (46–62%). Наибольшее сходство видового состава отмечено между заболоченными территориями «Мшинской болотной системой» и «Вепским лесом» (62%), что обусловлено наиболее сходными физико-химическими показателями воды (рН и содержание гуминовых веществ). Более низкое сходство выявлено между видовым составом водоемов БИН РАН с остальными ООПТ (43–49%), так как пруды БИН РАН расположены в центре мегаполиса и испытывают более значительную антропогенную нагрузку по сравнению с другими водоемами. Самое низкое сходство установлено между флорами парка БИН РАН и заболоченными территориями «Мшинской болотной системой», где коэффициент не превышал 43%.

Сезонные изменения видового состава золотистых водорослей в водоемах ООПТ г. Санкт-Петербурга были прослежены на протяжении вегетационного периода 2013 г. в прудах парка «Сергиевка», «Лугового парка» и парка БИН РАН.

Парк БИН РАН. По сведениям С.Д. Sandgren (1988), оптимальная температура для развития золотистых водорослей — 10–20 °С. Наши данные подтверждают наблюдения С.Д. Sandgren. Так в апреле и ноябре, когда температура воды была ниже 10 °С, разнообразие хризофитовых было низким, причем в состав входили виды свойственные почти всем месяцам. В летнее время (июль), при температуре свыше 25 °С, разнообразие хризофитовых сокращалось до 10 видов (рис. 2). Видовое разнообразие хризофитовых было наиболее высоким в сентябре, при температуре 14–16 °С, а также в июне, при 19–21 °С. Виды родов *Paraphysomonas* и *Synura* отмечались на протяжении всех месяцев, однако наибольшего видового разнообразия достигали в августе и сентябре.

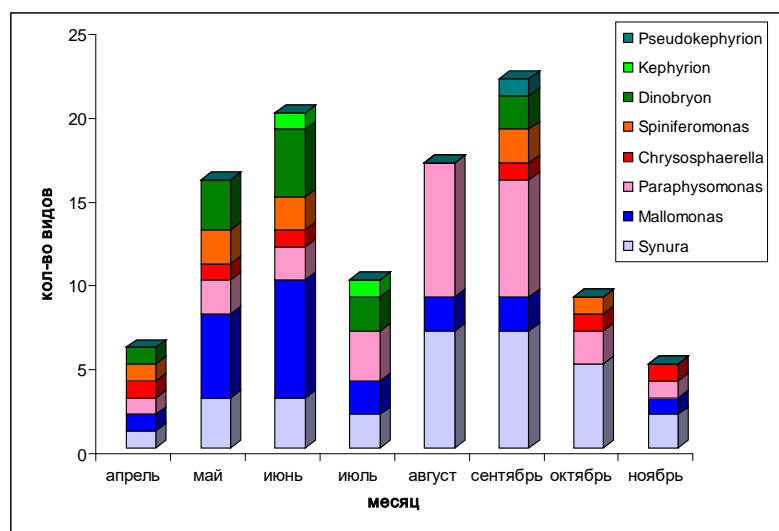


Рисунок 2. Видовое разнообразие золотистых водорослей в прудах БИН РАН в разные месяцы 2013 г.

Парк «Сергиевка» и «Луговой парк». В водоемах парков наибольшее видовое разнообразие золотистых водорослей (до 20 видов) отмечалось в мае–июне. В этот период наибольшим количеством видов были представлены роды *Dinobryon*, *Mallomonas* и *Synura*. В июле, с повышением температуры воды до 23.5 °С, разнообразие хризифитовых сокращалось до 13 видов (Рис. 3). В августе, при температуре воды 23 °С, были обнаружены только 3 эвритермных вида, которые присутствовали на протяжении всего вегетационного периода (*Dinobryon sertularia*, *Paraphysomonas vestita*, и *Synura petersenii*). В сентябре при снижении температуры воды до 16 °С видовое разнообразие возросло в 5 раз. Осенью наиболее разнообразно был представлен род *Synura* (6 видов). В октябре с понижением температуры до 7.5 °С разнообразие золотистых сокращалось до 4 видов.

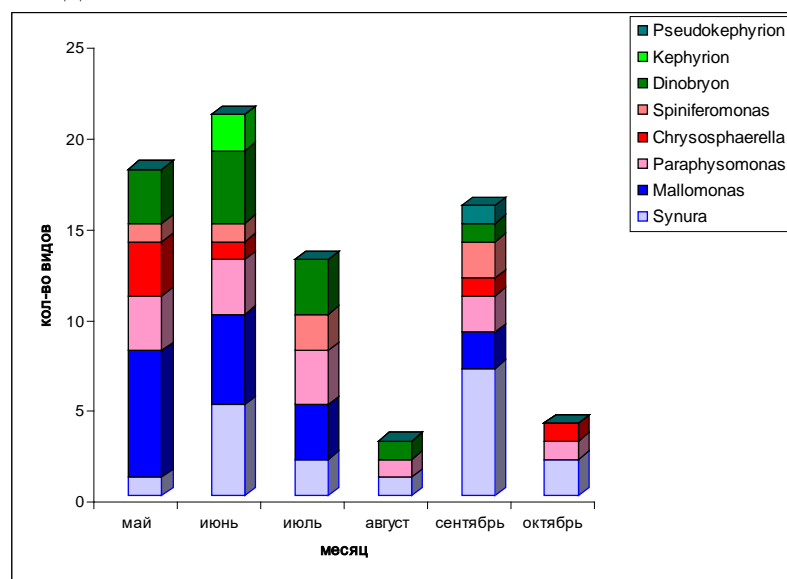


Рисунок 3. Видовое разнообразие золотистых водорослей в прудах ООПТ г. Петергофа в разные месяцы 2013 г.

В результате изучения сезонных изменений состава золотистых водорослей было отмечено, что число видов в течение вегетационного периода сильно различалось, весь сезон встречались только 3 эвритермных вида. Наибольшее разнообразие в прудах БИН РАН отмечалось в сентябре, а в прудах парков г. Петергофа в мае–июне. Виды двух родов *Dinobryon* и *Mallomonas* были представлены наиболее разнообразно в мае и июне во всех водоемах. В осенний период особенно разнообразно были представлены виды родов *Paraphysomonas* и *Synura*.

Глава 5. Разнообразие стоматоцист золотистых водорослей

В главе приводится обзор данных по стоматоцистам (покоящейся стадии жизненного цикла) золотистых водорослей. Описываются особенности процесса формирования стоматоцист и сложности их видовой идентификации. Для стоматоцист, видовую принадлежность которых невозможно определить, международная рабочая группа ISWG (Cronberg, Sandgren, 1986) разработали идентификационную систему, в которой стоматоцистам вместо названия даются номера и их морфотип подробно описывается. К описанию прилагаются микрофотографии, географические и экологические сведения. Принадлежность стоматоцисты к определенному виду указывается, если название достоверно известно. Эта идентификационная система является общепризнанной и используется при описании стоматоцист. В главе приводится обзор имеющихся работ по исследованиям современных и ископаемых стоматоцист в России. В водоемах исследованных ООПТ по системе ISWG идентифицировано 20 стоматоцист, 12 из которых соотнесены с видами *Chrysococcus furcatus*, *Chrysophaerella longispina*, *Ochromonas globosa*, cf. *O. magnifica*, cf. *Spiniferomonas trioralis*, *Mallomonas hamata* / *M. heterospina*, *M. striata* var. *striata*, *M. variabilis*, *Uroglena europea*, *U. kukkii*, *U. volvox* и cf. *Uroglenopsis lindii*, для 7 стоматоцист определен ранее опубликованный морфотип, и 1 морфотип 395/13 описан нами впервые (Рис. 4). Впервые в России найдено 9 морфотипов цист. Для всех стоматоцист приведены описание морфотипа, микрофотографии, географические и экологические данные. Полученные результаты служат дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия хризифитовых в исследованных водоемах.

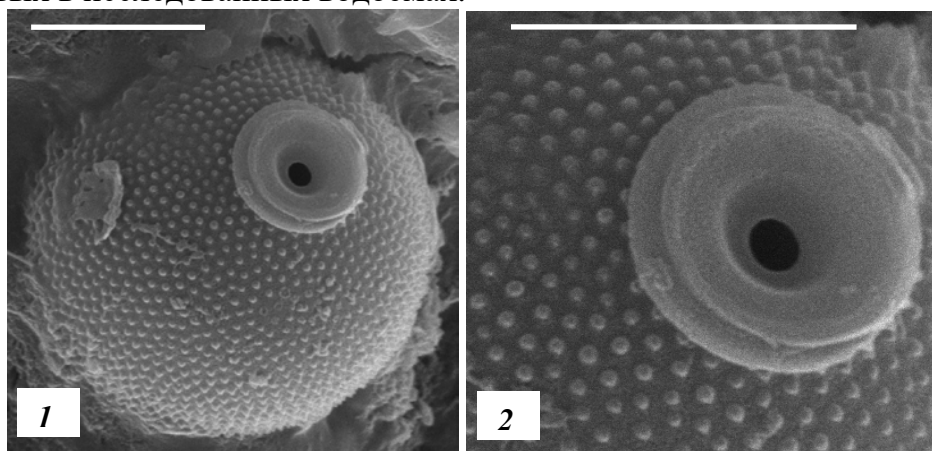


Рисунок 4. Стоматоциста 395/13 (Safronova, 2015). 1 — общий вид; 2 — воротничок. Масштабная линейка: 2 мкм.

Глава 6. Эколого-географическая характеристика золотистых водорослей

Водородный показатель среды (рН). Наибольшее разнообразие золотистых водорослей отмечается при рН 5.5–6.5 (Siver, Hamer, 1989). Преимущественное развитие хризофитовых в кислых водах связано с их способностью продуцировать кислые фосфатазы (Siver, 1995). В исследованных водоемах и болотах рН находился в пределах 3.6–7.9. Более 10 видов в пробе было отмечено при рН 5.0–7.5. Максимальное число видов в пробе (17) отмечено при рН 6.5. Среди исследователей хризофитовых принято мнение, что при рН ниже 5.5 и выше 7.5 разнообразие золотистых значительно сокращается (Siver, 1989; Siver, Hamer, 1989; Волошко, 2012; 2017). Наши наблюдения доказывают, что хризофитовые имеют более широкую экологическую валентность по отношению к рН. В водоемах и болотах ООПТ «Мшинская болотная система» обнаруженные виды (61) способны выживать при более низких значениях рН (менее 5.5). Нужно отметить, что почти все пробы (97 %), отобранные в «Мшинской болотной системе» имели рН ниже 5.5. Даже при самом низком значении рН в пределах 3.6–4.5 отмечено два вида, предпочитающих водоемы с экстремально кислыми условиями: *Mallomonas corcontica*, *M. paxillata* (Рис. 5). При этом большое количество видов отмечено в довольно широком градиенте рН (рН-индифферентные). Считается, что при рН выше 7.5 хризофитовые практически исчезают (Siver, 1995). При изучении состава золотистых водорослей в водоемах исследованных ООПТ было обнаружено, что рН-индифферентные виды встречались при значениях рН до 7.9 (Рис. 5).

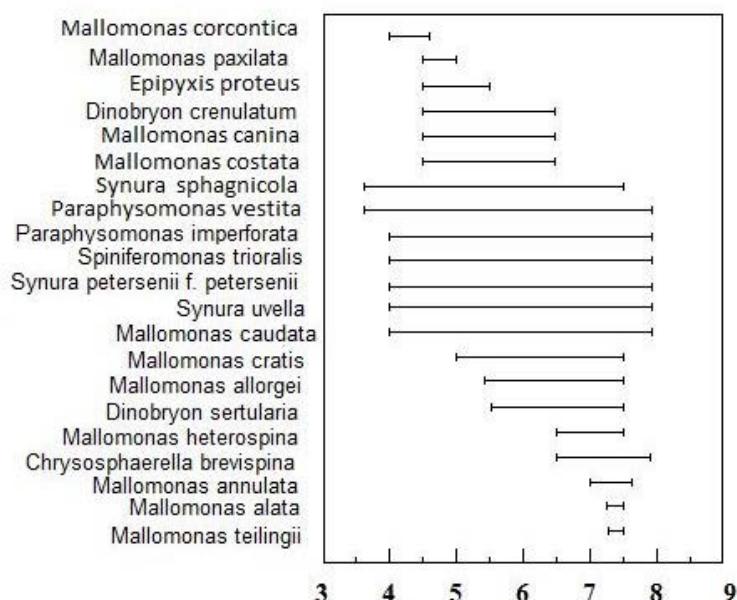


Рисунок 5. Распределение отдельных видов хризофитовых в градиенте рН.

Удельная электропроводность (УЭП) воды является одним из важных факторов, контролирующих распространение хризофитовых (Siver, Hammer, 1989). По значениям УЭП воды можно судить об уровне ее минерализации. P. Siver (1995) выделил 3 группы видов в зависимости от их устойчивости к УЭП. К первой группе он отнес виды, живущие в воде с низкой УЭП (ниже 40

$\mu\text{S cm}^{-1}$ и не встречающиеся при УЭП выше $90 \mu\text{S cm}^{-1}$). Во вторую группу — виды, обитающие при УЭП равной $40\text{--}100 \mu\text{S cm}^{-1}$. К третьей группе — виды, обнаруженные при УЭП выше $100 \mu\text{S cm}^{-1}$.

В проведенных исследованиях значения УЭП измерялась в водоемах ООПТ г. Санкт-Петербурга и колебалась в пределах $150\text{--}670 \mu\text{S cm}^{-1}$. При этих условиях обнаружено 94 таксона хризофитовых. Самое высокое разнообразие золотистых отмечено при УЭП $300 \mu\text{S cm}^{-1}$. Свыше 10 видов в пробе выявлено в широком диапазоне УЭП $250\text{--}530 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Рис. 6).

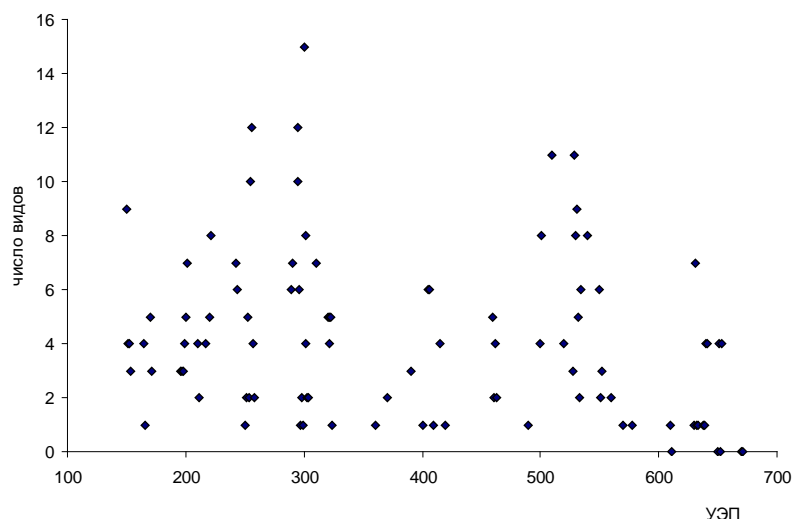


Рисунок 6. Разнообразие золотистых водорослей в водоемах ООПТ г. Санкт-Петербурга при разных значениях УЭП.

В связи с полученными данными для оценки устойчивости видов хризофитовых к УЭП воды предлагается новая шкала значений. Третью группу, в которой были виды, обнаруженные при УЭП выше $100 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Siver, 1995), рекомендуется разделить на несколько групп. Тогда в третью группу войдут виды, обычные при значениях проводимости от 100 до $300 \mu\text{S cm}^{-1}$. К этой группе из водоемов ООПТ г. Санкт-Петербурга можно отнести: *Dinobryon asymmetricum*, *D. sertularia*, *Kephyrion boreale*, *Paraphysomonas butcheri*, *P. subrotacea*, *P. undulata*, *Mallomonas annulata*, *M. elongata*. К четвертой группе мы отнесли виды, обнаруженные при высоких значениях УЭП $300\text{--}500 \mu\text{S cm}^{-1}$ (*Chrysosphaerella brevispina* и *Mallomonas teilingii*). В пятую группу мы включили только один вид *Chrysosphaerella coronacircumspina*, встреченный при очень высоких значениях УЭП (выше $500 \mu\text{S cm}^{-1}$). Необходимо также выделить группу индифферентных (устойчивых) к УЭП видов, имеющих более широкую экологическую валентность, нежели выделенные группы, и обитающие в широком диапазоне значений УЭП воды. В эту группу мы отнесли виды, которые встречались в водоемах, где УЭП была высокой ($150\text{--}670 \mu\text{S cm}^{-1}$). Эти же виды встречались в водоемах Севера России (Волошко и др., 2002; Волошко, 2012, 2017), где значения УЭП были низкими ($18\text{--}200 \mu\text{S cm}^{-1}$). В группу индифферентных видов вошли: *Paraphysomonas imperforata*, *P. vestita*, *Spiniferomonas trioralis*, *Mallomonas akrokomos*, *M. caudata*, *Synura echinulata*, *S.*

petersenii и *S. uvella*. Вид *Mallomonas cratis*, который обильно встречался в прудах БИН РАН при УЭП $670 \mu\text{S cm}^{-1}$, вероятно, тоже является индифферентным по отношению к УЭП. В западной Европе этот вид отмечен при УЭП $130\text{--}2540 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Barreto, 2005), $312\text{--}371 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Pichrtová et al., 2013), $642\text{--}666 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Hartmann, Steinberg, 1989).

Температура воды в исследованных водоемах изменялась в пределах $5\text{--}25$ °С. К индифферентным к температуре видам мы отнесли: *Chrysosphaerella brevispina*, *Paraphysomonas imperforata*, *P. vestita*, *Spiniferomonas trioralis*, *Mallomonas akrokomos*, *M. caudata*, *M. punctifera*, *Synura curtispina*, *S. echinulata*, *S. petersenii*, *S. spinosa* и *S. uvella*. К тепловодным относятся: *Dinobryon sertularia*, *D. pediforme*, *D. cylindricum*, *Mallomonas annulata*, *M. cratis*, *M. flora* и *M. papillosa*. Проведенные исследования показали, что высокое разнообразие (более 10 видов в 1 пробе) золотистых водорослей наблюдается при температуре $12\text{--}20$ °С. Ниже 10 °С и выше 23 °С количество видов в пробе не превышало 5 (Рис. 7). Наибольшее видовое разнообразие (16–17 видов) отмечено в июне при температуре 20 °С в планктоне озер природного парка «Вепсский лес»: оз. Капшозера (17) и оз. Пашозера (16). Ранней весной, поздней осенью и летом (в июле) количество видов значительно снижалось.

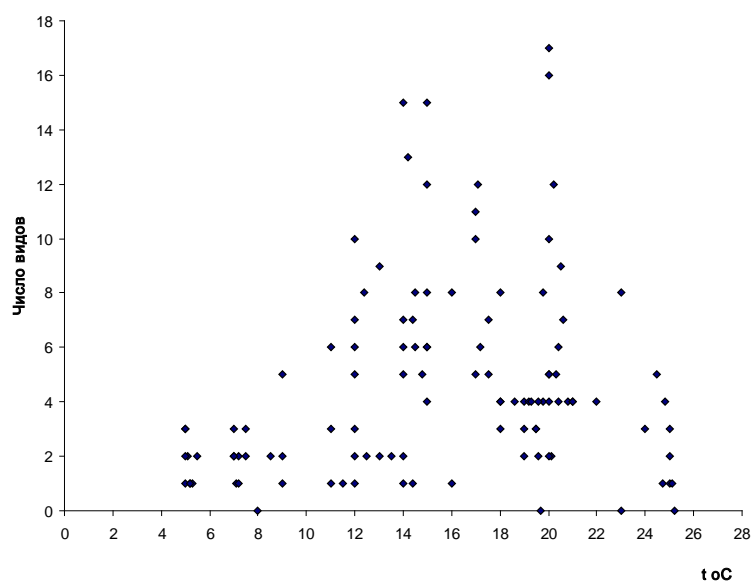


Рисунок 7. Разнообразие золотистых водорослей в водоемах ООПТ г. Санкт-Петербурга при разных значениях температуры воды.

Географическая характеристика. Поскольку зональная приуроченность и конфигурации ареалов пресноводных водорослей, в том числе хризофитовых, еще недостаточно детально изучены, то географический анализ носит довольно общий характер. В нашей работе при характеристике географического распространения хризофитовых мы использовали метод географических координат (Юрцев, 1968; Юрцев, Камелин, 1991), который лег в основу географического анализа золотистых водорослей, предложенного Л.Н. Волошко (2012, 2013а, 2017). В водоемах исследованных ООПТ в долготной группе почти половину хризофитовых составляют широко распространенные виды и космополиты (48%). Таксоны с рассеянным распространением составляют

примерно четверть (26%) от общего числа обнаруженных видов. Представители европейской, евроазиатской и евроамериканской подгруппы представлены 4–8% от общего числа видов каждая. В подгруппе биполярных видов отмечены: *Mallomonas canina*, *M. pumilio* var. *munda*. Эндемичных видов обнаружено не было. В составе широтной группы наиболее разнообразно представлена подгруппа полизональных (49%) видов. Аркто-бореальные (26%) и бореальные виды (16.5%) занимают вторую и третью позицию соответственно. Арктические и аркто-альпийские виды не обнаружены. Отмечено, что относительная доля бореальных видов заметно выше в ООПТ г. Петергофа, чем в остальных ООПТ.

Глава 7. Список редких видов хризофитовых, рекомендованных для включения в Красные книги Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга

На основе критериев и рекомендаций Международного Союза Охраны Природы (IUCN) и Красной книги Российской Федерации (2008) 8 видов, включая две разновидности, рекомендованы к охране в исследуемом регионе и включены в Красную книгу Ленинградской области (2018) (7 таксонов) и Красную книгу Санкт-Петербурга (2018) (2 таксона).

Глава 8. Систематическая часть

В этой главе таксономический состав золотистых водорослей представлен в виде списка, в котором учтены последние номенклатурные и таксономические изменения. В данной работе система золотистых водорослей представлена на основании работ Л.Н. Волошко (2008, 2017), R.A. Andersen (2004); J. Kristiansen, H.R. Preisig (2001, 2007). Близкородственные классы Chrysophyceae и Synurophyceae рассматриваются вместе как отдел Chrysophyta s. str., либо как таксон без номенклатурного ранга Chrysophytes в составе гетероконтных водорослей (Stramenochromes = Heterocontophyta = Ochrophyta). В приложении все виды, детали структуры их панциря и стоматоцисты иллюстрированы преимущественно оригинальными микрофотографиями.

ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных исследований впервые составлен очерк флоры золотистых водорослей ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга. Установлено высокое разнообразие — 127 видов и внутривидовых таксонов из 14 родов, относящихся к 5 семействам, 2 порядкам и 2 классам — Chrysophyceae и Synurophyceae.

2. В ходе исследования впервые в водоемах России обнаружены 8 видов и 1 подвид золотистых водорослей. В водоемах Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга впервые найдено 28 видов и внутривидовых таксонов хризофитовых.

3. Ведущими по таксономическому разнообразию в водоемах исследованных ООПТ выделены 4 семейства: *Mallomonadaceae*, *Dinobryaceae*, *Paraphysomonadaceae* и *Synuraceae*. В группу таксономически значимых, численно ведущих родов вошли: *Mallomonas*, *Dinobryon*, *Paraphysomonas* и *Synura*. В исследованных водоемах выявлено 16 видов, участвующих в формировании доминирующих комплексов хризофитовых.

4. На основе обобщения собственных данных установлена флористическая общность среднего уровня отдельных ООПТ (по Серенсену). Наибольшее сходство флор выявлено между заболоченными ООПТ «Мшинская болотная система» и «Вепсский лес» (до 74%).

5. В водоемах исследованных ООПТ идентифицировано 20 морфотипов стоматоцист, один морфотип описан нами как новый для науки, 9 морфотипов стоматоцист отмечены впервые в России. Полученные данные служат дополнительным критерием оценки таксономического разнообразия хризифитовых в исследованных водоемах.

6. Установлено, что хризифитовые имеют более широкий диапазон толерантности по отношению к рН и УЭП воды, чем это было установлено ранее. Для оценки устойчивости к минерализации воды предложена новая шкала значений УЭП.

7. Исследование сезонной динамики золотистых водорослей в прудах г. Санкт-Петербурга выявило их высокое видовое разнообразие в мае, июне и сентябре. В мае и июне наиболее разнообразно развивались представители родов *Dinobryon* и *Mallomonas*. В осенний период чаще встречались виды родов *Paraphysomonas* и *Synura*.

8. В результате работы были обнаружены редкие для мировой флоры таксоны хризифитовых (6 видов и 2 разновидности), которые включены нами в Перечни объектов растительного мира, занесенных в Красные книги Ленинградской обл. и Санкт-Петербурга.

9. В систематическом списке описания видовых и внутривидовых таксонов дополнены новыми данными по экологии и распространению видов. Все виды, детали структуры клеток, их панциря и стоматоцисты иллюстрированы микрофотографиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе изучения оригинальных материалов представлен очерк флоры хризифитовых водоемов ООПТ Ленинградской обл. и г. Санкт-Петербурга, включающий в себя 127 видов и внутривидовых таксонов. Результаты, полученные в ходе выполнения диссертационной работы, значительно дополнили сведения о таксономическом разнообразии хризифитовых исследованного региона. Природа ООПТ является хранилищем естественного видового биологического разнообразия, охранный режим ООПТ обеспечивает чистоту водоемов и сберегает естественные условия окружающей среды. Проведенное исследование показало, что видовое богатство ООПТ более разнообразно по сравнению с неохраняемыми территориями. В водоемах ООПТ присутствует большее число редких видов. Так, ранее в Ладожском озере и его притоках было установлено 35 таксонов хризифитовых (Волошко и др., 2002). Наше исследование двух ООПТ («Свирская губа Ладожского озера» и «Южное Приладожье»), расположенных в Ленинградской обл. на юге Ладожского озера, позволило идентифицировать 49 таксонов. В результате, составлен список, на 30% превышающий ранее известный, в который включен новый вид для флоры Ленинградской обл. и выявлены новые редкие виды. Ведущими по таксономическому разнообразию в водоемах исследованных ООПТ были 4

семейства: *Mallomonadaceae*, *Dinobryaceae*, *Paraphysomonadaceae* и *Synuraceae*. В группу таксономически значимых и численно ведущих родов вошли: *Mallomonas*, *Dinobryon*, *Paraphysomonas* и *Synura*. Они объединяют 95 таксонов (75% от общего числа найденных таксонов). На основе обобщения собственных данных установлена флористическая общность среднего уровня отдельных ООПТ (по Серенсену). Наибольшее сходство флор выявлено между заболоченными территориями «Мшинская болотная система» и «Вепсский лес». Исследование сезонной динамики хризифитовых в прудах Санкт-Петербурга показало их высокое видовое разнообразие в мае, июне и сентябре при температуре 14–20 °С. На протяжении всех сезонов встречались только три эвритермных вида: *Paraphysomonas vestita* ssp. *vestita*, *Synura petersenii* f. *petersenii* и *Chrysosphaerella brevispina*. В мае и июне наибольшее видовое разнообразие отмечалось у представителей родов *Dinobryon* и *Mallomonas*. В осенний период чаще встречались виды родов *Paraphysomonas* и *Synura*. В результате проведенного эколого–географического анализа флоры критически проанализированы условия, способствующие значительному развитию золотистых водорослей в водоемах. Установлено, что хризифитовые имеют более широкий диапазон толерантности по отношению к рН и УЭП, чем это было установлено ранее. Для оценки устойчивости к минерализации воды предложена новая шкала значений УЭП.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

Сафронова Т.В. Видовой состав *Chrysophyta* в водоемах водно-болотного угодья международного значения «Мшинская болотная система» (Ленинградская область) // Бот. журн. – 2011. – Т. 96 (№ 8). – С. 1037–1052.

Сафронова Т.В. Сезонные изменения состава золотистых водорослей (*Chrysophyceae*, *Synurophyceae*) в прудах Ботанического сада БИН РАН (Санкт-Петербург) // Бот. журн. – 2014. – Т. 99 (№ 4). – С. 443–458.

Волошко Л.Н., **Сафронова Т.В.**, Шадрина С. Н. Виды рода *Ochromonas* (*Chrysophyta*, *Chromulinaceae*) в водоемах Ленинградской области // Бот. журн. – 2015. – Т. 100 (№ 5). – С. 452–459.

Волошко Л.Н., **Сафронова Т.В.** Золотистые водоросли водоемов Севера России. Роды *Epiruxis*, *Kephyrion* и *Pseudokephyrion* (*Dinobryaceae*) // Астраханский вестник экологического образования. – 2018. – № 3 (45). – С. 113–132.

Статьи в российских журналах, индексируемых Scopus:

Gogorev R.M., Shadrina S.N., **Safronova T.V.** New records of algae. 1 // Новости сист. низш. раст. – Novosti Sist. Nizsh. Rast. – 2018. – 52(2). – Р. 355–358.

Статьи в российских журналах, индексируемых WoS (BIOSIS, ZR):

Гельтман Д.В., Гимельбрант Д.Е., Конечная Г.Ю., Коткова В.М., Лукницкая А.Ф., Потемкин А.Д., **Сафронова Т.В.** и др. Виды сосудистых растений, мохообразных, водорослей, лишайников, грибов и миксомицетов, нуждающихся в региональной охране на территории Ленинградской области. // Бот. журн. – 2018. – Т. 103 (№ 6). – С. 764–811.

Статьи в изданиях, индексируемых WoS:

Safronova T.V., Voloshko L.N. Silica-scaled chrysophytes in the waterbodies of protected areas of the North-West of Russia // Nov. Hedw. – 2013. – Vol. 142. – P. 97–115.

Прочие публикации:

Сафронова Т.В., Волошко Л.Н. Использование новых подходов к изучению золотистых водорослей в экосистеме болот особо охраняемых природных территорий Северо-Запада России // Территориальные проблемы охраны природы. Докл. III Межд. конф. «Особо охраняемые природные территории». – СПб, 2008. – С. 251–255.

Сафронова Т.В., Волошко Л.Н. Разнообразие хризофитовых (*Chrysophyceae, Synurophyceae*) в водоемах Северо-запада России // IV Межд. конф. «Актуальные проблемы современной альгологии» (23–25 мая 2012 г., Киев, Украина). – Киев, 2012. – С. 267–268.

Сафронова Т.В. Новые для флоры Ленинградской области виды Chrysophyta // Нов. сист. низ. раст. – 2012. – Т. 46. – С. 60–67.

Волошко Л.Н., **Сафронова Т.В.** Экология золотистых водорослей (Chrysophyta) и «цветение» воды // Астраханский вестник экологического образования. – 2015. – № 3 (33). – С. 23–27.

Сафронова Т.В., Шадрина С.Н. Экология золотистых водорослей (*Chrysophyceae, Synurophyceae*) в водоемах особо охраняемых природных территорий Ленинградской области и Санкт-Петербурга. В сборнике: Рациональное использование природных ресурсов и проблемы сохранения биоразнообразия. Мат. X ежегодной молодежной экологической Школы-конференции в усадьбе «Сергиевка» - памятнике природного и культурного наследия. – СПб, 2015. – С. 80–85.

Сафронова Т.В., Шадрина С.В., Волошко Л.Н. Разнообразие золотистых водорослей (*Chrysophyceae, Synurophyceae*) в водоемах Петергофа // Мат. ежегодной молодежной экологической Школы-конференции в усадьбе «Сергиевка». – СПб, 2017. – С. 57–62.

Сафронова Т.В. Золотистые водоросли (*Chrysophyceae, Synurophyceae*) особо охраняемых природных территорий Ленинградской области и Санкт-Петербурга // Материалы докладов IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге» 24–28 сентября 2018 г. Санкт-Петербург. – СПб. 2018. – С. 383–387.

Сафронова Т.В. Динобрион несимметричный – *Dinobryon asymmetricum* D.K. Hilliard et Asmund // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – СПб.: Марафон, 2018. – С. 401–402.

Сафронова Т.В. Псевдокефирион Шиллера – *Pseudokephyron schilleri* W. Conrad // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – СПб.: Марафон, 2018. – С. 402–403.

Сафронова Т.В. Псевдокефирион татринский – *Pseudokephyron tatricum* (Juriš) Starmach // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – СПб.: Марафон, 2018. – С. 403–404.

Сафронова Т.В. Хризосферелла шиповатокорончатая крупноосновная – *Chrysosphaerella coronacircumspina* Wujek et Kristiansen var. *grandibasa* Balonov // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. — СПб.: Марафон, 2018. – С. 404–405.

Сафронова Т.В. Малломонас собачий – *Mallomonas canina* Kristiansen // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – СПб.: Марафон, 2018. – С. 415–416.

Сафронова Т.В. Малломонас промежуточный – *Mallomonas intermedia* Kisselev // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – СПб.: Марафон, 2018. – С. 416–417.

Сафронова Т.В. Малломонас многокрючковый покосинский – *Mallomonas multiunca* Asmund var. *rocasinensis* Siver // Красная книга Ленинградской области: объекты растительного мира / Гл. ред. Д. В. Гельтман. – СПб.: Марафон, 2018. – С. 417–418.

Сафронова Т.В. Хризосферелла шиповатокорончатая крупноосновная – *Chrysosphaerella coronacircumspina* Wujek et Kristiansen var. *grandibasa* Balonov // Красная книга Санкт-Петербурга / Д. В. Гельтман (отв. ред.) и др. – СПб.: Дитон, 2018. – С. 185.

Сафронова Т.В. Парафизомонас волнистый – *Paraphysomonas undulata* Preisig et Hibbert // Красная книга Санкт-Петербурга / Д. В. Гельтман (отв. ред.) и др. – СПб.: Дитон, 2018. – С. 186.

Voloshko L.N., **Safronova T.V.** Biodiversity of Chrysophycean algae in lakes of the arctic region (Russia) // Abstr. of the Second European Large Lakes Symposium (August 10-14, 2009). – Norrtälje, Sweden, 2009. – P. 55–56.

Safronova T.V. Species composition of chrysophytes in the water bodies of the North-West of Russia // Eighth International Chrysophycean Symposium (12–17 August, Prague, Czech Republic). – Prague, 2012. – P. 15.

Safronova T.V. A new morphotype of chrysophycean stomatocyst from the pond of Peter the Great Botanical Garden (Saint Petersburg). // *Novosti Sist. Nizsh. Rast.* – 2015. – 49. – P. 47–51.