

<https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-2-198-216>
УДК УДК 582.232 581.93



ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

ORIGINAL ARTICLE

СООБЩЕСТВА ВОДОРΟΣЛЕЙ ВОДОЕМОВ ОАЗИСА ШИРМАХЕРА, ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА

С.В. СМОРНОВА*, О.Я. ЧАПЛЫГИНА, А.Ф. ЛУКНИЦКАЯ

Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

*SSmirnova@binran.ru

Резюме

Континентальные водоемы антарктических оазисов содержат специфические сообщества водорослей. Целью исследования было изучение и описание различных типов сообществ водорослей континентальных водоемов оазиса Ширмахера (Земля Королевы Мод) и выявление их приуроченности к различным типам водоемов. Пробы были отобраны из 173 водных объектов: 151 со стоячей водой и 22 ручьев.

В результате проведенного исследования была выявлена разнообразная по видовому составу альгофлора. Основная часть выявленных таксонов была зафиксирована в сообществах водорослей бентоса, которые образуют маты и скопления разного цвета, толщины и структуры. В континентальных водоемах оазиса Ширмахера выделено 8 регулярно встречающихся типов бентосных сообществ водорослей, распределение которых зависит от типа водоема и глубины. Отмечены бедный видовой состав и низкая численность фитопланктона большинства исследованных озер оазиса, их зависимость от антропогенного фактора.

Ключевые слова: бентос, водорослевые маты, водорослевые пленки, планктон, Bacillariophyta, Charophyta, Chlorophyta, Cyanoprokaryota, Desmidiaceae, Dinoflagellata.

Для цитирования: Смирнова С.В., Чаплыгина О.Я., Лукницкая А.Ф. Сообщества водорослей водоемов оазиса Ширмахера, Восточная Антарктида // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 2. С. 198–216. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-2-198-216>.

Поступила 23.04.2020

После переработки 04.06.2020

Принята 09.06.2020

ALGAL COMMUNITIES OF THE WATERBODIES OF SCHIRMACHER OASIS, EAST ANTARCTICA

SVETLANA V. SMIRNOVA*, OLGA Y. CHAPLYGINA, ALIYA F. LUKNITSKAYA

Komarov Botanical Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

*SSmirnova@binran.ru

Summary

In continental waterbodies of Antarctic oases specific algal communities are forming. The structure and dominating complex of species of this communities due to different distance from the seashore and latitude, the composition of the constituent rocks, altitude and the presence in the past of periods of contact with sea water is unique for different oases. It may vary in different waterbodies within one oasis besides.

Aim of the research is to describe different types of algal communities from the continental waterbodies of Schirmacher Oasis and its confinement to the different types of waterbodies.

Samples were collected from 173 waterbodies: 151 with stagnant water and 22 streams.

During the study 64 species of Cyanoprokaryotes were found, and this group usually dominated in communities. Also 14 most frequent species of Chlorophyta, 12 most frequent species of Bacillariophyta, 6 species of desmid algae, 2 species of Xanthophyceae, 1 species of Eustigmatophyceae were noted in benthos. Usually resting stages and in one case — life cells of Golden algae (Chrysophyceae, Synurophyceae) were found in mats on the bottom of big lakes. Plankton algae in most of the waterbodies had very low abundance and diversity and were strongly influenced by trophic level. Benthic algal communities were much more diverse and abundant. Eight sustainable types of benthic algal communities were revealed in continental waterbodies of Schirmacher Oasis. Form, colour, and species composition of benthic films and mats strongly depended on temperature, conductivity and pH of the waterbody and its depth.

Keywords: algal films, algal mats, Bacillariophyta, benthos, Charophyta, Chlorophyta, Cyanoprokaryota, Desmidiaceae, Dinoflagellata, plankton.

For Citation: Smirnova S.V., Chaplygina O.Y., Luknitskaya A.F. Algal communities of the waterbodies of Schirmacher Oasis, East Antarctica. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2020, 66 (2): 198–216. [In Russian]. <https://doi.org/10.30758/0555-2648-2020-66-2-198-216>.

Received 23.04.2020

Revised 04.06.2020

Accepted 09.06.2020

ВВЕДЕНИЕ

В континентальных водоемах Антарктиды в силу изолированности и уникальных климатических особенностей континента слагаются своеобразные водорослевые сообщества. Разные антарктические оазисы отличаются друг от друга удаленностью от берега моря и широтой, составом слагающих горных пород (что, в свою очередь, влияет на минеральный состав воды в водоемах), высотой над уровнем моря и наличием в прошлом периодов контакта с морской водой. Кроме того, многие оазисы расположены на значительном расстоянии друг от друга и кросс-контаминация видами водорослей между ними незначительна или отсутствует. Все это приводит к тому, что в каждом оазисе слагается свой неповторимый набор водорослевых сообществ, который внутри оазиса может варьировать от водоема к водоему.

На территории оазиса Ширмахера расположено более 200 стоячих и текущих водоемов, довольно сильно отличающихся друг от друга по степени близости к леднику, типу водного питания, pH, минерализации, глубине, максимальной температуре воды. Все эти параметры сильно влияют на набор видов водорослей, которые там обитают, поэтому альгофлора разных водоемов может сильно отличаться, что часто приводит к образованию собственных, неповторимых комплексов видов в разных типах водоемов.

Существует несколько флористических статей, посвященных разнообразию водорослей оазиса Ширмахера. Однако разнообразие типов водорослевых сообществ различных водоемов, их внешнего вида, комплексов доминирующих видов, их слагающих, и их приуроченность к различным гидрохимическим параметрам водоемов, на наш взгляд, описаны недостаточно полно.

К настоящему моменту в публикациях для водоемов оазиса Ширмахера в сумме отмечено 309 видов и внутривидовых таксонов водорослей: 179 видов и внутривидовых таксонов цианопрокариот (Cyanophyta/Сyanobacteria/Сyanoprokaryota), 64 вида диатомовых водорослей (Bacillariophyta), 46 видов зеленых водорослей (Chlorophyta), 11 видов и 3 внутривидовых таксона десмидиевых водорослей (Charophyta, Zygnematomphyceae, Desmiales), 4 вида желтозеленых водорослей (Ochrophyta, Xanthophyceae) и по одному виду динофитовых (Dinoflagellata) и золотистых водорослей (Ochrophyta, Chrysophyceae) [1–7].

Существует одна статья, посвященная анализу водорослевых сообществ оазиса Ширмахера, — в ней рассмотрены ручьи [2]. Было выделено 5 типов сообществ: А — черные корки на ярко освещенных поверхностях, периодически заливаемых водой, — 11 видов, доминант *Leptolyngbya frigida* (F.E. Fritsch) Anagnostidis et Komárek; В — частично затемненное пространство между камней — 8 видов, по большей части диазотрофы, доминант *Nostoc commune* Vaucher ex Bornet et Flahault; С — красно-коричневые и сине-зеленые маты на боковых и нижних поверхностях свободно расположенных крупных камней в местах, хорошо освещаемых солнцем и постоянно находящихся в воде. В таких матах насчитывалось до 6 видов, доминировала зеленая нитчатая водоросль *Uronema* sp. и цианопрокариота *Calothrix gracilis* F.E. Fritsch; D — плоские или с пальцеобразными выступами 0,5–2,5 см высотой войлочные скопления осцилляторий красно-коричневого до сине-зеленого и черного цвета на дне небольших неглубоких луж, в местах, всегда находящихся под водой. Они состояли из 13 видов с доминированием *Oscillatoria limosa* C. Agardh ex Gomont и *Leptolyngbya frigida*; E — пятна цианобактерий на прибрежных участках, иногда заливаемых водой, и в ямках от сдвинутых камней. Доминировали *Nostoc commune*, *Cosmarium laeve* Rabenhorst, *Uronema* sp. Наиболее типичными для различных водоемов оазиса являются виды цианопрокариот: *Nostoc commune* и представители родов *Oscillatoria*, *Phormidium*; в некоторых водоемах доминировали *Leptolyngbya frigida*, *L. fragilis* (Gomont) Anagnostidis et Komárek, *Anabaena* sp., *Nostoc commune*, *N. sphaericum* Vaucher ex Bornet et Flahault, *Oscillatoria tenuis* C. Agardh ex Gomont, *Pseudanabaena limnetica* (Lemmermann) Komárek, также зеленые и диатомовые водоросли. В куртинах мха, растущих по берегам ручьев, доминировала *Stigonema minutum* Hassall ex Bornet et Flahault, кроме нее встречались *Nostoc commune* и *Gloeocapsa* spp.

В данной статье описано разнообразие типов водорослевых сообществ различных континентальных водоемов оазиса Ширмахера и их приуроченность к различным типам водоемов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оазис Ширмахера — район центральной части берега Принцессы Астрид (Земля Королевы Мод, Антарктида), представляет собой свободный ото льда участок коренных пород 19,55 км длиной, 3,35 км шириной, площадью 34 км² [8], отделенный от моря Лазарева шельфовым ледником. Максимальная высота — 228 м н.у.м. Климат оазиса с преобладанием признаков континентальности [9], средняя годовая температура воздуха около –10 °С, среднее годовое количество осадков 250–300 мм. Сплошного снежного покрова нет, так как большую часть выпадающего снега сдувает ветрами. В летнее время воздух прогревается до +6 °С, скальная поверхность иногда нагревается до +26,5 °С. Относительная влажность воздуха в среднем за год не превышает 52 % [10]. В оазисе расположены две круглогодичные полярные

станции — российская станция Новолазаревская на берегу оз. Глубокое, индийская станция Мейтри на берегу оз. Зуб и функционирующий летом туристический лагерь на берегу оз. Подпрудное.

Оазис находится ниже континентального ледника, талыми водами которого и питается большинство водоемов, но выше шельфового. Классификация озер приведена по D.A. Hodgson [11]. Вдоль южного края оазиса расположено около 16 приледниковых озер. Большая часть озер оазиса находится в центре и со всех сторон окружена сушей, многие из них открытые (проточные) и сообщаются ручьями с ледником или приледниковыми озерами, а также между собой. Ближе к северному краю оазиса встречаются небольшие бессточные озера, не имеющие постоянного притока воды от ледника и пополняющиеся только редкими осадками в виде снега, в основном зимой. Их площадь и глубина существенно сокращаются в течение летнего сезона. На поверхности шельфового льда у северного края оазиса находятся около 15 эпишельфовых озер. Вода во многих приледниковых и эпишельфовых водоемах мутная из-за попадающих в нее вместе с талой водой частичек глины. Самое глубокое озеро оазиса — оз. Глубокое, глубина 34,5 м, самое большое по площади — оз. Зуб (Приадаршины) 0,5 км² [8].

Гидрологические исследования показали, что кондуктивность воды приледниковых озер в среднем составляет 5,5 мкСм/см, а в озерах, окруженных сушей, — до 546,44 мкСм/см; pH варьирует в пределах (4,8)–6–8,8 и увеличивается с повышением кондуктивности [12, 13].

Проточные озера с питанием от ледника богаты ионами Ca²⁺, HCO⁻, Cl⁻, NO₃⁻ и SO₄²⁻, а большая часть окруженных сушей и эпишельфовых — Na⁺ и Cl⁻ [2, 12]. Содержание биогенов от озера к озеру значительно варьирует [13], большинство озер олиготрофны [14, 15], а концентрация хлорофилла *a* во многих озерах низка [13]. Приток биогенных элементов происходит главным образом за счет птиц. Трофность незначительно повышена в тех озерах, на берегах которых расположены гнезда поморников (озера Западное, О43, Длинное, Зуб, О22, Поморник), и в различной степени в тех, которые испытывают антропогенное воздействие, то есть на берегах которых расположены станции и лагерь (озера Подпрудное, Зуб, Глубокое).

Пробы были собраны в континентальных водоемах в окрестности станции Новолазаревская на протяжении летнего сезона и начала южнополярной осени — с 9 декабря 2018 г. по 6 апреля 2019 г. Из близких к станции водоемов пробы были собраны по 3–4 раза за сезон, из удаленных от станции — по 1–3 раза. Всего была собрана 491 проба. Координаты точек сбора были зафиксированы с помощью GPS-навигатора Garmin eTrex.

Разница между большими и маленькими озерами и между маленькими озерами и лужами условна, так как их площадь меняется (некоторые даже могут полностью высохнуть) в зависимости от водного питания, которое, в свою очередь, зависит от скорости таяния ледника и количества осадков и может меняться год от года. Нами была принята условная нижняя граница в 20 тыс. м² для больших озер и в 5 тыс. м² для маленьких.

Отбор проб фитопланктона проводился при помощи ведра и планктонной сети Апштейна с размером ячеек 70 мкм в диаметре. Планктон из наиболее близких к станции озер (Верхнее (Питьевое), Поморник, Смирнова, Геодезистов, Глубокое) был собран три раза за сезон — 1–2 января, 30 января и 24 февраля, из остальных озер — по

два раза. Для грубого подсчета обилия водорослей планктон зачерпывался ведром объемом 5 л и проливался через сетку (по 75 л на пробу), полученный осадок сгущался до объема 15 мл. Количество клеток подсчитывалось в одной капле воды — 0,05 мл. Пробы фитобентоса были отобраны в стерильные контейнеры объемом 25 мл, снабженные индивидуальной стерильной ложечкой. Пробы фиксировались формалином (40 %) с конечной концентрацией 2 %. Сбор водорослей, обитающих на глубине, проведен с появлением на водоемах прочного льда (середина марта) методом бурения лунок, в которые были опущены пробоотборник и видеокамера GoPro Hero 3 в водонепроницаемом боксе для съемки глубоководных сообществ водорослей.

В период исследования в местах сбора проб проводилось фотографирование водоемов, отмечались цвет и структура водорослевых скоплений, измерялись температура, удельная электропроводность (УЭП) и водородный показатель (pH) воды. Для измерения pH воды использовали карманный pH-метр марки HM digital PH-80. Для измерения температуры и УЭП использовали кондуктометр-термометр марки HM digital SOM-80. Идентификацию водорослей проводили на световом микроскопе МИКМЕД-6 вар. 7 с использованием планхроматических объективов 40/0,65 и 100/1,25. С каждой пробы было изготовлено и просмотрено не менее двух препаратов. Оценки обилия приводили по С.М. Вислоуху [16]. В бентосных сообществах виды считались доминантными, если в каждом поле зрения микроскопа при использовании объектива 40/0,65 и покровного стекла 20×20 мм было встречено более чем по одной клетке. Фотографирование свежих проб на станции Новолазаревская сделано через окуляр микроскопа цифровым фотоаппаратом Canon PowerShot A460. Фотографии фиксированных проб в Ботаническом институте сделаны на световом микроскопе Zeiss AxioImager A1 с применением контраста Номарского и системой документации изображения AxioCam MRc5.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В окрестностях ст. Новолазаревская было собрано 490 проб. Всего было обследовано 173 водных объекта: 17 больших озер (приледниковые: О44, Подпрудное, О35, Смирнова, Верхнее (Питьевое); окруженные сушей: оз. Западное, О43, Искристое, Длинное, О26, О22, Зуб, Мелкое, Поморник, Глубокое; эпিশельфовые: Зигзаг, Ожидания) и 30 маленьких озер, 104 лужи и 22 ручья (рис. 1).

Температура водных объектов в период сбора проб колебалась от 0 до +19 °С, в больших озерах в разгар летнего сезона достигала +7... +13 °С, в приледниковых и эпিশельфовых водоемах, как правило, не поднималась выше +6 °С, некоторые из них так и не освободились полностью ото льда за летний сезон; отдельные мелкие бессточные лужи прогревались до +14... +19 °С. Показатель pH варьировал от 6 до 12; кондуктивность от 3,5 до 3500 мкСм/см. Приледниковые и окруженные сушей открытые водоемы имели невысокую кондуктивность (как правило, не выше 50 мкСм/см) и слабощелочной pH (7,5–8,5). Бессточные водоемы отличались высокими значениями pH (9,5 и выше) и кондуктивности (300 мкСм/см и выше). Самые высокие показатели были отмечены в двух лужах, расположенных к северо-западу от озера Зуб: температура в разгар сезона достигала +19 °С, кондуктивность 1925–3500 мкСм/см, pH 10,1–11,7.

В результате проведенного исследования в водоемах оазиса Ширмахера выявлено 64 вида цианопрокариот, 15 наиболее распространенных в различных водоемах оазиса видов зеленых водорослей, 12 наиболее распространенных видов диатомовых

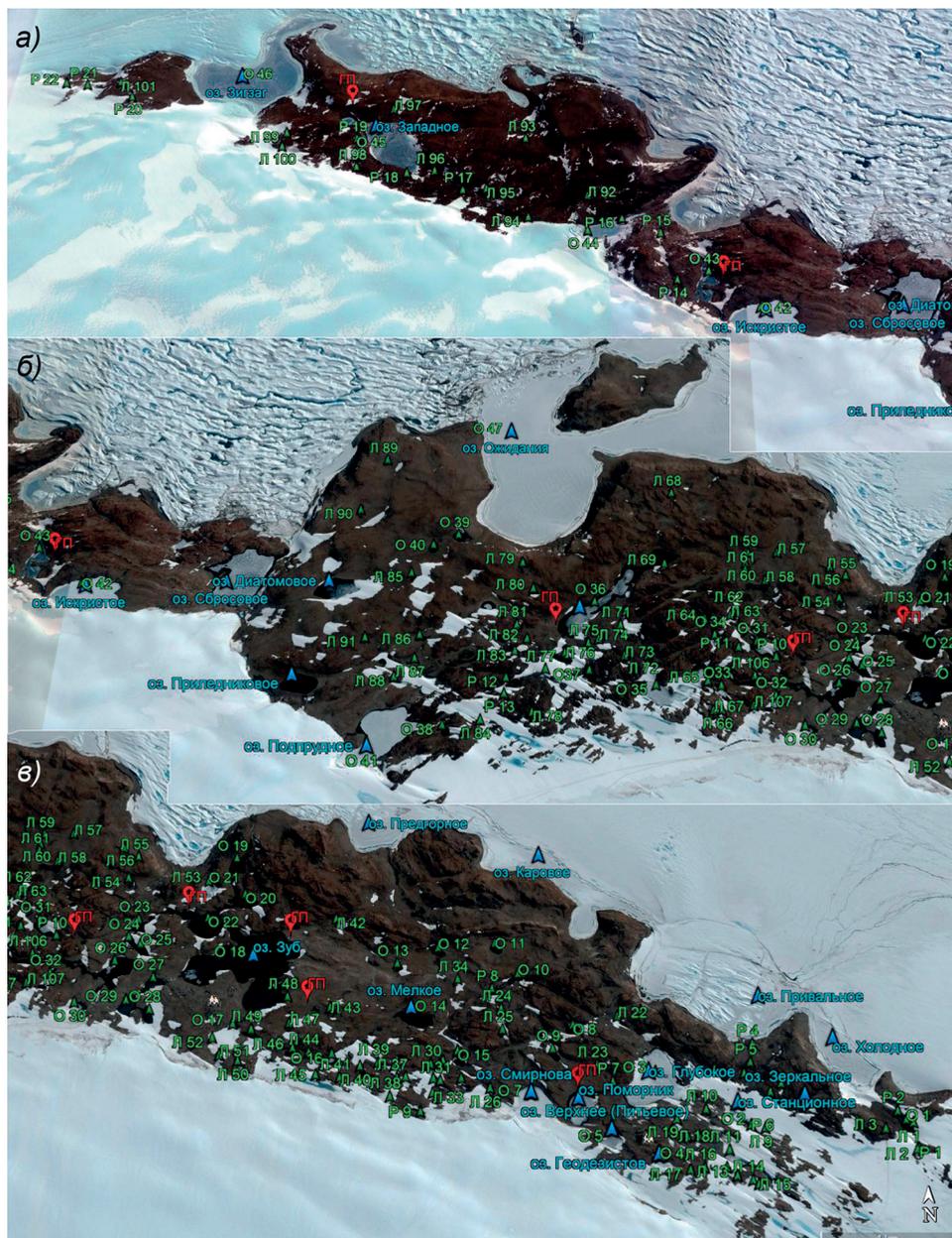


Рис. 1. Карта озиса Ширмахера и обследованные водоемы:

а — западная часть озиса; б — центральная часть озиса; в — восточная часть озиса. О — озера, Л — лужи, Р — ручьи, ГП — гнезда поморников

Fig. 1. Map of the Schirmacher oasis and waterbodies investigated:

а — western part of the oasis; б — central part of the oasis; в — eastern part of the oasis. O — lakes, Л — ponds, Р — streams, ГП — Skujas' nests

водорослей, шесть видов десмидиевых водорослей, два вида динофитовых, два вида желтозеленых, один вид эустигматофитовых. В матах на дне крупных водоемов были обнаружены стоматоцисты и, в одном случае, живые клетки золотистых. Несмотря на то, что десмидиевые водоросли в водоемах были представлены всего лишь 6 видами, иногда в некоторых сообществах они являлись доминантами.

В небольших, плотно прилегающих к леднику и, соответственно, плохо прогреваемых приледниковых лужах водорослей либо вообще не было отмечено, либо встречались представители зеленых одноклеточных водорослей. Самые богатые и разнообразные водорослевые сообщества были обнаружены в окруженных сушей водоемах. Водорослевые сообщества крупных приледниковых озер, площадь поверхности соприкосновения которых с ледником невелика (например, озера Верхнее (Питьевое), Подпрудное), и окруженных сушей проточных озер в целом были схожи между собой. Они отличались от бессточных водоемов с высокой кондуктивностью комплексом доминирующих видов. В эпишельфовых озерах заметных невооруженному глазу водорослевых скоплений не наблюдалось.

Фитопланктон

Планктонные водоросли были обнаружены в больших и средних проточных озерах, вода в которых не была замутнена частичками глины (озера Западное, О43, Подпрудное, Длинное, О35, О34, О31, О22, О21, Зуб, Смирнова, Поморник, Глубокое, Верхнее (Питьевое), Геодезистов). В бессточных озерах с высокой кондуктивностью и мелких водоемах планктонные водоросли не были обнаружены. Фитопланктон большинства антропогенно нарушенных озер оазиса Ширмахера в летний период отличался крайне низкими показателями обилия (5–100 кл./л) и разнообразия водорослей (всего 8 видов, по 2–4 вида в каждом отдельном озере). В фитопланктоне почти всех озер Ширмахера была встречена зеленая водоросль *Gonium* sp., довольно часто обнаруживались два вида динофитовых водорослей (*Dinoflagellata*) *Gymnodinium* sp. 1 и *Gymnodinium* sp. 2, реже — десмидиевые водоросли *Cosmarium laeve* и *Cylindrocystis brebissonii* (Menegh ex Ralfs) De Bary (рис. 2). В конце летнего сезона десмидиевые водоросли встречались чаще, а в озерах Верхнее (Питьевое) и Поморник стали доминирующей группой. В озерах, которые испытывали антропогенную нагрузку разной интенсивности или на берегах которых были отмечены гнезда поморников, отмечено появление цианопрокариот *Aphanocapsa* sp., *Pseudoanabaena* sp. и *Anabaena* sp.

С наличием на берегу гнезд поморников или антропогенной нагрузки (и, соответственно, увеличением трофности) отмечено повышенное обилие планктонных водорослей. Так, в озерах Зуб и Подпрудное количество клеток планктона ненамного превышало таковое в большинстве озер (160–180 кл./л) и сравнимо с теми, на берегах которых выводили птенцов поморники. Самым высоким обилием планктонных водорослей отличалось озеро Глубокое, испытывающее сильное антропогенное влияние: в середине декабря ≈ 25000 кл./л, в конце февраля ≈ 64000 кл./л, доминирующим видом был *Gonium* sp. Примерно с середины сезона (конца января) помимо *Gonium* sp. в планктоне озера появились десмидиевые водоросли и цианопрокариоты. В планктоне озера, расположенного на самом восточном краю оазиса, в которое зимой сливают сточные воды, отсутствовали типичные для оазиса планктонные водоросли, отмечены только единичные коккоидные синезеленые водоросли и гетеротрофные организмы.

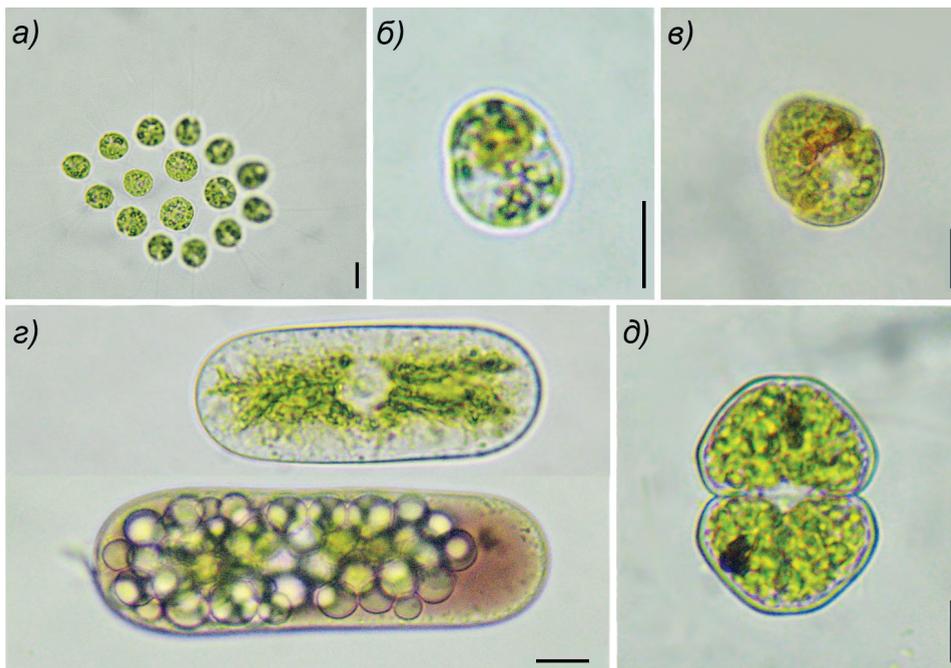


Рис. 2. Типичные планктонные водоросли озера оазиса Ширмахера:

a — *Gonium* sp.; *б* — *Gymnodinium* sp. 1; *в* — *Gymnodinium* sp. 2; *г* — *Cylindrocystis brebissonii*; *д* — *Cosmarium laeve*. Масштабная линейка — 10 мкм

Fig. 2. Typical planktic algae of Scirmacher oasis:

a — *Gonium* sp.; *б* — *Gymnodinium* sp. 1; *в* — *Gymnodinium* sp. 2; *г* — *Cylindrocystis brebissonii*; *д* — *Cosmarium laeve*. Scale bar — 10 mkm

Фитобентос

В мелких приледниковых лужах и ручьях разнообразие водорослей было невысоко. В них под небольшим слоем песка встречались нитчатки *Lyngbya antarctica* Gain, *L. fritschii* Anagnostidis, *L. martensiana* Meneghini ex Gomont и *Microcoleus* cf. *autumnalis* (Gomont) Strunecky et al., *Phormidium corium* Gomont ex Gomont и другие нитчатые цианопрокарियोты (таблица, тип № 1). В некоторых случаях были отмечены только зеленые водоросли (cf. *Chlamydomonas* sp.).

В лужах, находящихся недалеко от ледника и питающихся его талой водой, и в некоторых озерах, в основном холодных приледниковых, на камнях и песке были распространены тонкие ровные или слегка бугристые пленки коричневого или черного цвета, состоящие из переплетенных между собой тонких нитчатых с вкраплением одноклеточных цианопрокарियोтов и зеленых водорослей (рис. 3а). Коричневую и черную окраску им придает доминирование *Gloeocapsopsis tagma* (Brébisson) Komárek et Anagnostidis и *Phormidesmis nigrescens* (Komárek) Raabová et al. (рис. 3б). Схожий состав доминантов отмечен в скоплениях водорослей, образующих игольчатую форму и обитающих на вертикальных поверхностях камней и скал в прибрежной зоне проточных низкокондуктивных озер. Иногда на поверхности таких сообществ заметны кустистые скопления *Coelodesmis* sp. (таблица, тип № 2).

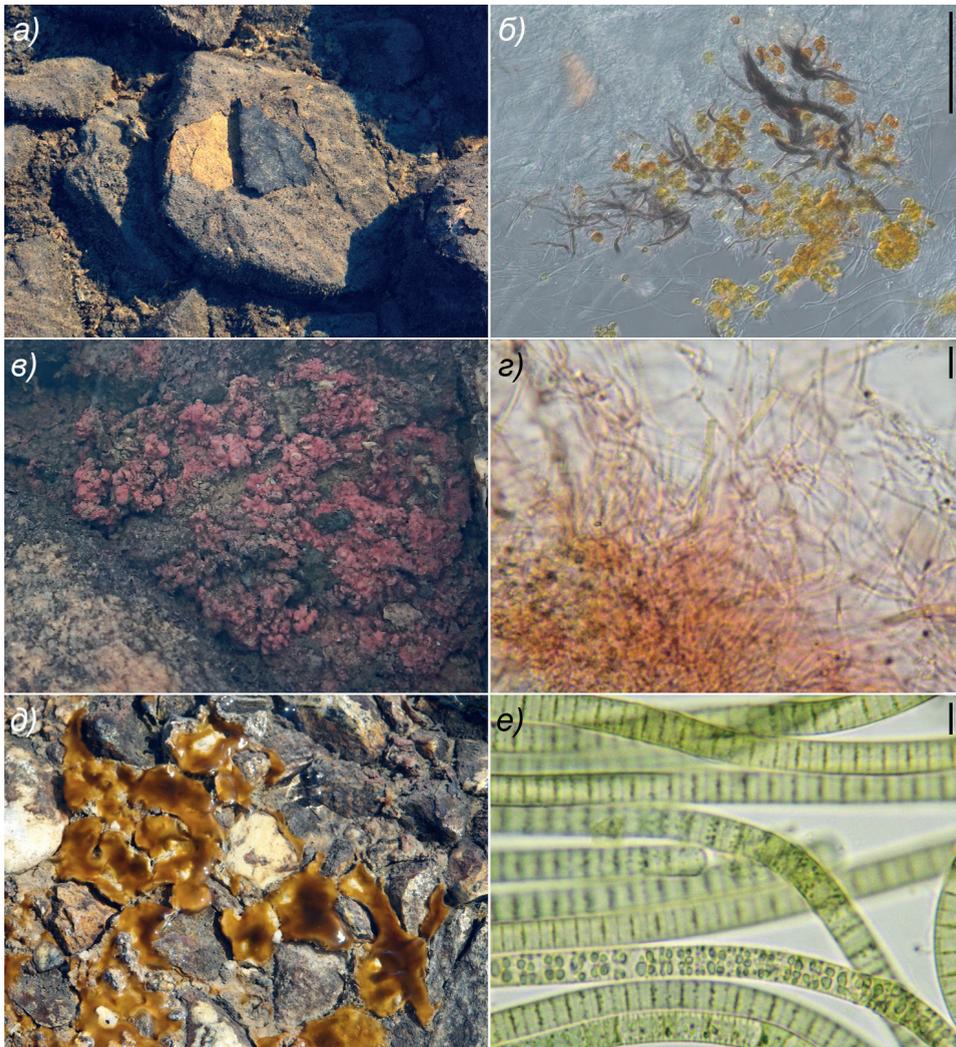


Рис. 3. Водорослевые сообщества мелких ручьев и луж:

а, б — тонкие водорослевые пленки в низкоминерализованных лужах с доминированием *Gloeocapsopsis magma*, *Phormidesmis nigrescens* и *Leptolyngbya* spp.; *в, г* — розоватые бугорчатые маты в ручье с доминированием *Leptolyngbya frigida*, *L. cf. perelegans*, *Wilmottia murrayi*, *Phormidium cf. corium*; *д, е* — волокнистые темно-оливковые скопления *Oscillatoria cf. sancta* в ручье. Масштабная линейка — 10 мкм

Fig. 3. Algal communities of shallow streams and pools of Scirmacher oasis:

а, б — thin algal films in low-mineralized puddles dominated by *Gloeocapsopsis magma*, *Phormidesmis nigrescens* and *Leptolyngbya* spp.; *в, г* — pinkish tuberous mats in a creek dominated by *Leptolyngbya frigida*, *L. cf. perelegans*, *Wilmottia murrayi*, *Phormidium cf. corium*; *д, е* — fibrous dark olive clusters of *Oscillatoria cf. sancta* in a creek. Scale bar — 10 mkm

Во временных водоемах и водотоках, образованных талой водой, а также в прибрежной зоне озер были обнаружены маты по структуре плотные, гладкие или бугорчатые, сверху бледно-коричневые или розоватые до бордового, снизу сине-зеленые (рис. 3в). В верхней розовой части таких матов доминировали тонкие нитчатые цианопрокариоты *Leptolyngbya frigida* и *L. cf. perelegans* Anagnostidis et Komárek, *Wilmottia murrayi* (W. et G.S. West) Strunecký et al., *Phormidium cf. corium* Gomont ex Gomont и другие виды рода *Phormidium*, среди которых изредка встречались одиночные экземпляры *Calothrix* sp. и *Hassallia* sp. (рис. 3з). Нижнюю сине-зеленую часть мата составляли *Phormidium cf. autumnale* (Agardh) Trevisan ex Gomont и виды родов *Lyngbya* Agardh ex Gomont, *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont и *Phormidium* Kützing ex Gomont (таблица, тип № 3). В тех же мелководных ручьях рядом с описанными выше матами часто можно было заметить волокнистые скопления темно-оливкового или коричневого цвета (рис. 3д). Они состояли практически исключительно из *Oscillatoria sancta* Kützing ex Gomont (рис. 3е) (таблица, тип № 4).

В бессточных озерах с повышенной минерализацией у берега встречались тонкие черные пленки, внешне и по составу видов водорослей похожие на черные пленки из временных водоемов (таблица, тип № 2). На более глубоких участках можно было встретить довольно толстые (до 6 см) маты, имеющие игольчатую или ячеистую структуру. Верхняя часть таких матов, как правило, имела светло-коричневую, коричнево-оранжевую или желто-оранжевую окраску, состояла из тонких нитчатых цианопрокариот рода *Leptolyngbya* Anagnostidis et Komárek. Нижняя часть — темно-зеленая или темно-сине-зеленая, состояла из представителей *Lyngbya antarctica*, *L. fritschii*, *L. martensiana* и *Microcoleus cf. autumnalis*, либо из *Leptolyngbya* spp., *Nostoc cf. punctiforme* с добавлением *Phormidium* spp. (рис. 4б) (таблица, тип № 5). Часто в таких водоемах на дне у берега или поверх матов в большом количестве встречались субшаровидные довольно крупные (до 5 мм в диаметре) темно-оливковые колонии *Nostoc sphaericum* (рис. 4а) (таблица, тип № 6).

В водоемах различных типов в обилии встречались хламидомонады в пальмелоидном состоянии, часто с гранулами красного пигмента; подвижные клетки отмечались гораздо реже. Клетки *Scotinosphaera paradoxa* Klebs встречались обычно в матах, образованных *Leptolyngbya* sp. на дне некоторых озер. Также в матах разных водоемов встречались ярко-оранжевые клетки эустигматофитовой водоросли *Chlorobotrys cf. regularis* (West) Bohlin. Во многих, особенно в высокоминерализованных водоемах отмечены нитчатая стадия и начальная стадия образования пластины *Prasiola* sp. Из диатомовых водорослей наиболее часто в матах встречались *Hantzschia amphioxys* (Ehrenberg) Grunow, *Pinnularia borealis* Ehrenberg и *Stauroneis anceps* Ehrenberg. Довольно широко были распространены стоматоцисты золотистых водорослей.

Богатые по видовому разнообразию водорослевые маты, состоящие в начале сезона из коротких иголок, а ближе к концу — длинных тяжей ярко-зеленого и ярко-оранжевого цвета, были обнаружены в толще и на поверхности воды двух небольших бессточных озер с щелочным рН и высокой проводимостью (1925–3500 мкСм/см), расположенных к северо-западу от оз. Зуб, у северного края оазиса (J155 и J156) (рис. 4в, 4з). Зеленые участки матов состояли из зеленых водорослей *Binuclearia* sp. и *Prasiola* sp., бледно-оранжевые участки — из цианопрокариот *Geitlerinema* sp., *Phormidismis* sp., колоний *Aphanothece cf. caldariorum* P. Richter, *Chamaesiphon*

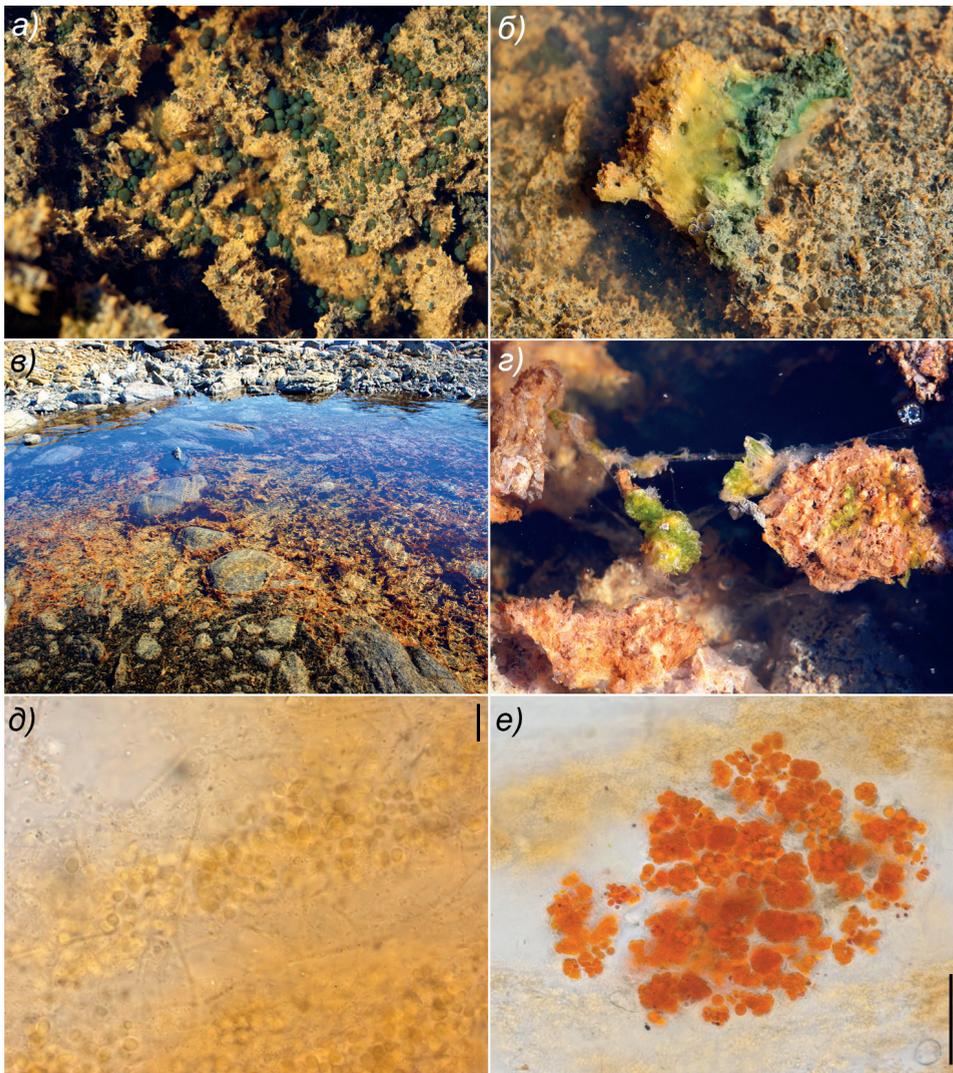


Рис. 4. Водорослевые сообщества бессточных водоемов:

а, б — игольчатые маты с *Nostoc sphaericum* в озере к северо-западу от оз. Длинное; в — небольшое бессточное озерцо к северо-западу от оз. Зуб, декабрь; г — небольшое бессточное озерцо к северо-западу от оз. Зуб, зеленые и оранжевые маты на поверхности, конец января; д — *Chamaesiphon subglobosus*, *Geitlerinema* sp.; е — *Tetracystis* sp. и *Chlorobotrys* cf. *regularis*. Масштабная линейка — 10 мкм

Fig. 4. Algal communities of closed waterbodies:

а, б — pinnacle mats with *Nostoc sphaericum* in the lake to the NW from lake Dlinnoye; в — small closed pond to the NW from lake Zub; г — small closed pond to the NW from lake Zub, green and orange algal mats on the surface; д — *Chamaesiphon subglobosus*, *Geitlerinema* sp.; е — *Tetracystis* sp. and *Chlorobotrys* cf. *regularis*. Scale bar — 10 mkm

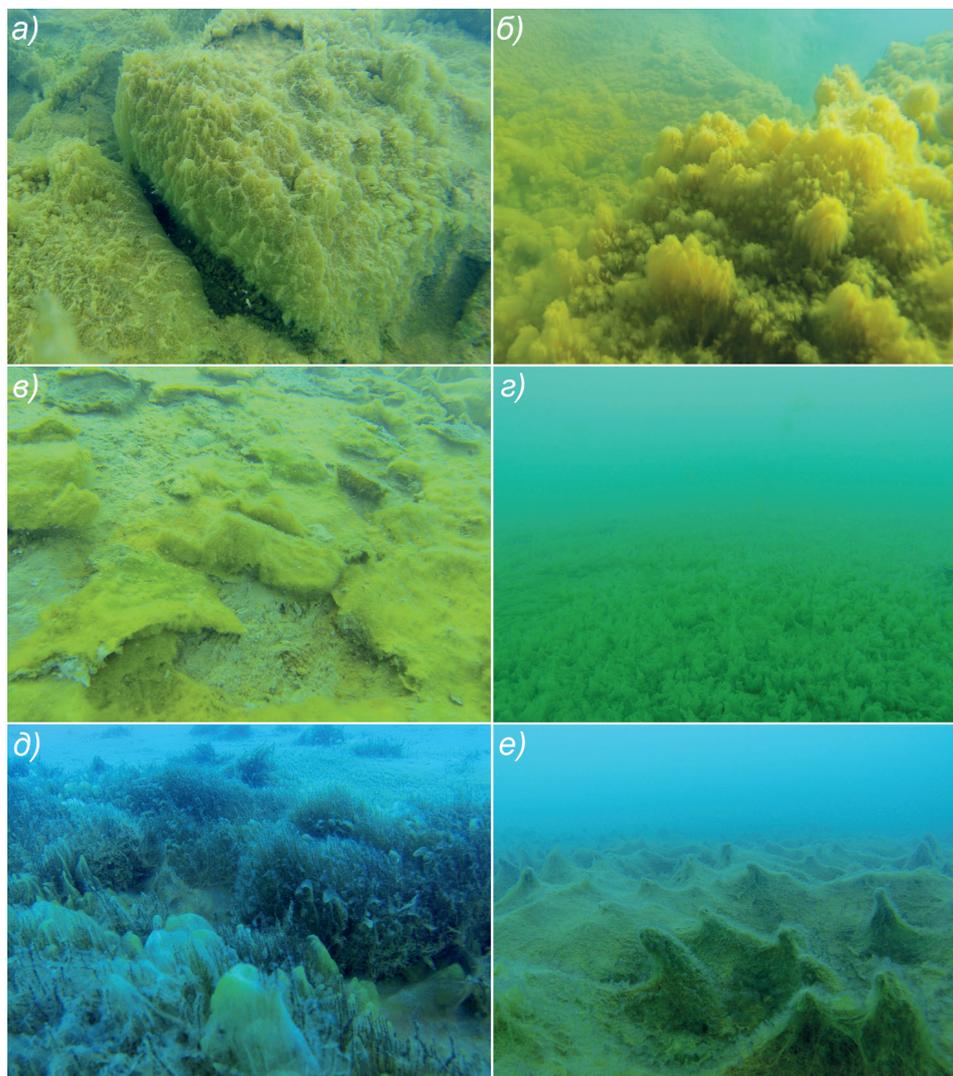


Рис. 5. Глубоководные маты:

a — оз. Длинное, глубина 5 м; *б* — оз. к северу от оз. Зуб, глубина 3 м; *в* — оз. Верхнее (Питьевое), глубина 10 м; *г* — оз. Подпрудное, глубина 10 м; *д* — оз. к югу от г. Приметной, под однолетним льдом, глубина 5,5 м; *е* — оз. к югу от г. Приметной, под многолетним льдом, глубина 4,5 м

Fig. 5. Deep-water mats:

a — lake Dlinnoye, depth 5 m; *b* — lake to the north from the lake Zub, depth 3 m; *в* — lake Verkhneye (Pit'evoye), depth 10 m; *г* — lake Podprudnoye, depth 10 m; *д* — lake to the South from mount. Primetnaya, under annual ice cover, depth 5,5 m; *e* — lake to the South from mount. Primetnaya, under perennial ice cover, depth 4,5 m

subglobosus (Rostafinski) Lemmermann (рис. 4д), более ярко-оранжевые — из скопления зеленой водоросли *Tetracystis* sp. и эустигматофитовой *Chlorobotrys* cf. *regularis* (рис. 4е) (таблица, тип № 7). В придонных участках мата были встречены небольшие скопления диатомовых водорослей *Luticola muticopsis* и *Hantzschia amphioxys*. В некоторых частях мата, имевших более темный оттенок, преобладала цианопрокариота *Gloeocapsopsis magma*. По краям водоемов на дне были отмечены темно-оливковые скопления колоний *Nostoc sphaericum*.

В большинстве крупных приледниковых (с небольшой площадью поверхности контакта с ледником) и окруженных сушей проточных озер на глубинах от 2,5 до 25 м обнаружены донные водорослевые сообщества бледно-зеленого цвета, полупрозрачные, слизистые на ощупь, легко распадающиеся в руках, на срезе тонкослоистые. На более мелководных участках верхние слои были окрашены в коричнево-оранжевый цвет. Толщина таких матов — 1,5–6 см или более. Поверхность могла иметь игольчато-сетчатую структуру, как в оз. Длинное (рис. 5а); быть в виде ребристых столбцов, как в озере к северу от оз. Зуб (О21) (рис. 5б); почти гладкой, как, например, в западной части оз. Западное, озерах Зуб и Верхнее (Питьевое) (рис. 5в); или как в центральной части оз. Западное, оз. Подпрудное, безымянном озере к западу от оз. Искристое (О43) и оз. Поморник на глубинах 8–25 м — в виде полупрозрачных иголок (рис. 5г). Их основу составляют десмидиевые водоросли: *Cosmarium laeve*, реже — *Staurostrum* sp. и в одном случае *Actinotaenium cucurbitinum* (Bisset) Teiling и выделяемая ими слизь (таблица, тип № 8). Кодоминантами были цианопрокариоты *Leptolyngbya* spp., *Phormidesmis priestleyi* (F.E. Fritsch) Komárek et al., *Plectonema* sp., *Stigonema* cf. *mesentericum* Geitler. Чем больше в таком мате содержалось нитчатых цианопрокариот, тем плотней он был на ощупь. Изредка встречались обрывки нитей cf. *Trichormus* sp. Под этими матами в песке находились пустые створки диатомовых водорослей, обычно представителей родов *Humidophila* и *Stauroneis*. В оз. Верхнее (Питьевое) на глубине 10 м (рис. 5в) в матах доминантом была зеленая водоросль *Schizochlamys* sp. с участием нитчатых цианопркариот *Plectonema* sp. и *Leptolyngbya* sp. и колоний золотистых водорослей *Dinobryon* sp. В восточной части озера, расположенного к югу от г. Приметной (О35), под однолетним льдом на глубине 5,5 м были отмечены куртины мха, местами покрытые полупрозрачными скоплениями *Cosmarium laeve* (рис. 5г), а в центральной части озера под многолетним льдом на глубине 4,5 м — водорослевые сообщества в виде крупных конусов, пробы которых собрать не удалось ввиду их большой плотности (рис. 5д). В других приледниковых озерах, покрытых многолетним льдом, глубоководные сообщества либо отсутствовали, либо были недоступны из-за большой толщины льда.

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения видового разнообразия водорослей и образуемых ими сообществ бентоса континентальных водоемов оазиса Ширмахера выявлена довольно разнообразная альгофлора и многообразие водорослевых сообществ. Это явление связано с тем, что на территории оазиса представлены многочисленные водоемы и ручьи, отличающиеся друг от друга гидрохимическими показателями воды — температурой, кондуктивностью, рН. Водоросли приурочены к этим параметрам, а также на их развитие влияет наличие или отсутствие течения, освещенность, глубина, минеральный состав воды. Учитывая вышеперечисленные факторы, нами выделены 8 типов устойчивых бентосных сообществ водорослей, отличающихся друг от друга

Основные типы водорослевых сообществ и их приуроченность к различным типам водоемов оазиса Ширмахе́ра

С.В. СМІРНОВА и др.

S.V. SMIRNOVA et al.

Table

The main types of algal communities and their confinement to various types of waterbodies of the Schirmacher Oasis

№	Внешний вид сообщества	Виды-доминанты	Тип водоема	Кондуктивность, мксм/см	pH	Максимальная температура, °C
1	Песок, на поверхности скрепленный нитчатыми водорослями в тонкий слой	<i>Lyngbya antarctica</i> , <i>L. fritschii</i> , <i>L. marteniana</i> и <i>Microcoleus</i> cf. <i>autumnalis</i> , <i>Phormidium corium</i>	Приледниковые лужи	7–39	6,9–8	8,5–9
2	Тонкие ровные или слегка бугристые пленки или короткие иголки коричневого или черного цвета	<i>Gloeocapsopsis magna</i> , <i>Phormidismis nigrescens</i> , <i>Coelodesmis</i> sp.	Лужи недалеко от ледника, связанные с ним ручьями, и приледниковые озера, имеющие большую площадь контакта с ледником	3,5–29(401)	7,5–8 (8,7)	7–12
3	Маты плотные, гладкие или бугорчатые, сверху бледно-коричневые или розоватые до бордового, снизу синие-зеленые	<i>Leptolyngbya frigida</i> и <i>L. cf. perelegans</i> , <i>Wilmotia mirgayi</i> , <i>Phormidium</i> cf. <i>corium</i> , <i>Ph. cf. autumnale</i> , <i>Lyngbya</i> spp., <i>Oscillatoria</i> spp., <i>Oscillatoria sancta</i>	Временные ручьи и проточные лужи талой воды, проточные озера (глубина 1–20 см)	8–93(186)	7,3–8,6	7,5–11(16)
4	Волокнистые скопления темно-оливкового или коричневого цвета	<i>Leptolyngbya</i> spp., <i>Lyngbya antarctica</i> , <i>L. fritschii</i> , <i>L. marteniana</i> и <i>Microcoleus</i> cf. <i>autumnalis</i> , <i>Nostoc</i> cf. <i>punctiforme</i> , <i>Phormidium</i> spp., <i>Nostoc sphaericum</i>	Временные ручьи и проточные лужи талой воды	8–93(186)	7,3–8,6	7,5–11(16)
5	Толстые маты, имеющие игольчатую или ячеистую структуру, сверху светло-коричневые, коричнево-оранжевые или желто-оранжевые, снизу темно-зеленые или темно-синие-зеленые	<i>Leptolyngbya</i> spp., <i>Lyngbya antarctica</i> , <i>L. fritschii</i> , <i>L. marteniana</i> и <i>Microcoleus</i> cf. <i>autumnalis</i> , <i>Nostoc</i> cf. <i>punctiforme</i> , <i>Phormidium</i> spp., <i>Nostoc sphaericum</i>	Бессточные озера	(153)300–933(1684)	7,7–9,8	11–16
6	Круглые или суб-шаровидные темно-оливковые колонии	<i>Binuclearia</i> sp., <i>Prasiola</i> sp., <i>Geitlerinema</i> sp., <i>Phormidismis</i> sp., <i>Aphanothece</i> cf. <i>caldariorum</i>	Бессточные озера	300–933 (1684)	7,7–9,8	11–16
7	Длинные тяжи ярко-зеленого и ярко-оранжевого цвета	<i>P. Richter</i> , <i>Chamaesiphon subglobosus</i> , <i>Tetracystis</i> sp., <i>Chlorobaryx</i> cf. <i>regularis</i>	Бессточные озера	1925–3500	10,1–11,7	14–19
8	Маты бледно-зеленого цвета, полупрозрачные, слизистые на ощупь, легко распадающиеся в руках, на срезе тонкостолстые, толщиной 1,5–6 см	<i>Cosmarium laeve</i> , <i>Staurastrum</i> sp., <i>Actinoetaenium sucubritinum</i> , <i>Leptolyngbya</i> spp., <i>Phormidismis priestleyi</i> , <i>Plectonema</i> sp., <i>Stigonema cf. mesentericum</i> , <i>Humidophila</i> sp., <i>Stauroneis</i> sp., <i>Schizochlamys</i> sp.	Глубокие проточные озера, окруженные сушей или имеющие небольшую площадь контакта с ледником (глубина 2,5–25 м)	6–104	7,1–9	7,5–13

внешним видом и набором видов-доминантов и приуроченных к определенным типам водоемов (см. табл.). Кроме этих 8 типов встречались и другие водорослевые маты и пленки, но четкой связи их внешнего вида с видовым составом и привязки к конкретным типам водоемов нами не выявлено.

Гидрохимические показатели водоемов оазиса, такие как температура, проводимость и рН, могут в большей или меньшей степени меняться в течение сезона, так как зависят от погодных факторов (поступления в водоемы воды от таяния ледника, намеченных за зиму локальных сугробов или снегопадов в летнее время). Однако определенная связь типов водоемов и указанных параметров имеется — водоемы, расположенные ближе к континентальному леднику, обычно имеют более низкую температуру и проводимость, а вот в далеких от ледника бессточных водоемах проводимость и температура заметно выше. Не столь отчетливую связь с близостью к леднику имеет рН, но в бессточных озерах этот показатель обычно выше, чем в проточных.

Выявленные нами максимальные значения рН и проводимости значительно выше отмеченных ранее в водоемах оазиса [12, 13] (рН 11,7 против 8,8 и проводимость 3500 мкСм/см против 546,44 мкСм/см), что связано не с резкими повышениями этих значений в исследованных водоемах, а с включением в наш анализ проб из маленьких бессточных водоемов, не обследованных ранее другими исследователями (Л55 и Л56). Внешний вид их водорослевых сообществ отличался от тех, что были обнаружены в водоемах с более низкими значениями рН и проводимости, но виды, доминировавшие в них (кроме *Chlorobotrys cf. regularis*), ранее были отмечены для этого оазиса [1–7].

Фитопланктон водоемов оазиса оказался бедным как по видовому составу, так и по численности водорослей. Выявлено 8 видов водорослей — типичных обитателей планктона. Отмечено антропогенное влияние на состав и численность планктонных водорослей, так как в испытываемом сильное антропогенное влияние оз. Глубокое численность клеток планктонных водорослей была заметно выше, чем в других озерах. В то же время бентосные мелководные сообщества этого озера по внешнему виду и составу видов водорослей были схожи с таковыми в большинстве крупных проточных озер оазиса.

Описанные нами сообщества водорослей ручьев (см. табл., тип сообщества № 4) сходны с типом сообществ D с доминированием *Oscillatoria limosa* и *Leptolyngbya frigida*, описанных в работе К.Д. Pandey с соавторами [2]. Однако в этой статье «скопления осцилляторий красно-коричневого до сине-зеленого и черного цвета» отнесены к одному типу. Мы же хотим подчеркнуть, что это два разных, четко отличающихся по цвету, структуре и составу доминантов типа сообществ — (1) розоватые до бордового, гладкие или с пальцеобразными выростами, с доминированием *Leptolyngbya* (см. рис. 3в) и (2) темно-оливковые волокнистые скопления *Oscillatoria sancta* (см. рис. 3д). *Oscillatoria limosa*, отмеченная в [2] и *O. sancta*, выявленная нами, — морфологически схожие виды и отличаются друг от друга только наличием у *O. sancta* калиптры (выrost в виде колпачка на завершающей клетки трихома). В нашем материале нити с выраженными калиптрами встречались редко, можно предположить, что со схожей проблемой могли столкнуться другие исследователи, поэтому *O. sancta* при беглом просмотре могла быть определена как *O. limosa*.

Интересной особенностью озиса Ширмахера является преобладание насыщенных красных и розовых пигментов в верхних слоях матов в мелководных ручьях и лужах талой воды. Кирпично-красный цвет характерен для мелководных матов приморской Антарктики (острова Кинг Джордж, Джеймс Росс) [17], но ее климат довольно сильно отличается от прибрежных озисов Восточной Антарктиды, а в лужах и ручьях талой воды более близкого к Ширмахеру по широте и климатическим условиям озиса Холмы Ларсеманн, по нашим наблюдениям, маты имеют темно-коричневую, почти черную окраску за счет интенсивно окрашенных в коричневый цвет чехлов цианопрокариот.

Окраска розово-красно-оразежевых тонов, обусловленная, видимо, высоким содержанием каротиноидов, встречается и во многих других типах водорослевых сообществ озиса. При этом такую окраску приобретают обычно не столько слизистые чехлы, сколько клетки как прокариотических, так и эукариотических водорослей. Окрашиваются даже такие виды, для которых подобная цветовая гамма нетипична. Как правило, наиболее яркие водоросли красно-оранжевого оттенка встречаются в высокоминерализованных мелких водоемах вдоль северного края озиса. Похожий эффект был отмечен нами и другими авторами в водоемах озиса Холмы Ларсеманн: на глубине 3–4 м маты имели окрашенный оранжевыми пигментами слой 5–7 мм толщиной. Анализ пигментов таких матов, проведенный J.C. Ellis-Evans с соавторами, показал, что в них наблюдается довольно высокое отношение каротиноидов к хлорофиллам [18]. Однако, по нашим визуальным оценкам, верхний слой некоторых матов озиса Ширмахера имеет значительно более яркий оранжево-красный оттенок, чем таковой озиса Холмы Ларсеманн.

Согласно литературным источникам [4] в альгофлоре водоемов озиса Ширмахера отмечен только один вид динофитовых водорослей — *Ceratium hirundinella* f. *piburgense* (Zederbauer) Bachmann. Нами данный вид отмечен не был, но были выявлены еще два новых для данной территории вида из этой систематической группы — представители рода *Gymnodinium*, которые были довольно широко распространены в планктоне исследованных озер. Вероятно, причина того, что они не были зафиксированы ранее, заключается в том, что их обнаружение и идентификация возможны только тогда, когда клетки находятся в живом состоянии.

Легко распадающиеся маты, состоящие главным образом из десмидиевых, примечательны тем, что это нетипичный для Антарктиды тип сообществ. Обычно основу мата составляют цианопрокариоты, они же придают ему структуру. В литературе упоминание водорослевых сообществ материка, в которых бы эдификатором был какой-нибудь вид десмидиевой водоросли, встречается редко: в одном из озер озиса Холмы Ларсеманн (Heart lake) в больших количествах обнаружен *Cosmarium* sp. [18], а *Actinotaenium cucurbita* и *Cosmarium clepsydra* Nordstedt доминировали в водоемах долины Yukidori Zawa в окрестностях японской полярной станции Сёва [19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования пресных водоемов озиса Ширмахера была выявлена довольно разнообразная по видовому составу альгофлора. Основная часть выявленных таксонов была зафиксирована в сообществах водорослей бентоса, которые образуют маты и скопления разного цвета, толщины и структуры.

Выявлено 8 типов сообществ, общих для схожих по гидрохимическим условиям водоемов, и множество комплексов видов водорослей, встречающихся в одном

или нескольких водоемах. Наблюдалась зависимость внешнего вида водорослевых пленок и матов и видового состава доминантов водорослевых сообществ от типа водоема и глубины, на которой они обитают. Отмечено антропогенное влияние на состав и численность планктонных водорослей.

Впервые для оазиса были зафиксированы представители эустигматофитовых — (*Chlorobotrys cf. regularis*) и динофитовых (*Gymnodinium* sp. 1 и sp. 2) водорослей.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках плановой темы «Региональные таксономические и флористические исследования водорослей морских и континентальных водоемов» (№ 0120125605). Работа проводилась в рамках подпрограммы «Организация и обеспечение работ и научных исследований в Антарктике» Государственной программы Российской Федерации «Охрана окружающей среды» на 2012–2020 гг.

Вклад авторов. Смирнова С.В. — полевые работы (сбор проб и измерение параметров среды), первичный просмотр проб и определение видов цианопрокариот и родов динофитовых и диатомовых водорослей, изготовление микрофотографий. Чаплыгина О.Я. — определение зеленых и эустигматофитовых водорослей. Лукницкая А.Ф. — определение десмидиевых водорослей.

Благодарности. Микрофотографии были сделаны на оборудовании ЦКП «Клеточные и молекулярные технологии изучения растений и грибов» Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург). За организацию работ на месте и постоянную помощь выражаем искреннюю благодарность начальнику станции Новозазаревская 63-й РАЭ Юрию Ивановичу Нездерову, за активную помощь в подготовке оборудования и сборе материала и фотографировании внешнего вида сообществ — не менее искреннюю благодарность сотрудникам зимовочного состава станции Кириллу Чиликину, Дмитрию Башмашникову и Дмитрию Смирнову, а Елене Шевниной — за консультации по гидробиологии.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Funding. The work was carried out within the framework of the planned theme “Regional taxonomic and floristic studies of algae in marine and continental waterbodies” (№ 0120125605). The work was carried out within the framework of the subprogram “Organization and support of works and scientific research in the Antarctic” State program of the Russian Federation “Environmental Protection” for 2012–2020.

Authors input. Smirnova S.V. — field work and measurements, initial viewing of samples and species identification of cyanoprokaryotes and genera of Dinophyta and Diatoms, taking microphotographs. Chaplygina O.Ya. — identification of Green and Eustigmatophytic algae. Luknitskaya A.F. — identification of Desmid algae.

Acknowledgments. Some microphotographs were made on the equipment of the CCP “Cellular and molecular technologies for studying plants and fungi” of the V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences (Saint-Petersburg). We would like to express our sincere gratitude to Yuri I. Nezderov, the head of the Novolazarevskaya station (63-rd RAE), for the organization of field work, field photos and constant assistance, and to Kirill Chilikin, Dmitry Bashmashnikov, Dmitry Smirnov, and Elena Shevnina for their active assistance in preparing equipment and collecting material.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веркулич С.Р., Пушина З.В., Татур А., Гиличинский Д.А., Абрамов А.А., Меллес М. Изменения природной обстановки и диатомовая флора в оазисе Ширмахера (Восточная Антарктида) в конце позднего Плейстоцена и в Голоцене // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 2 (92). С. 27–42.
2. Pandey K.D., Kashyap A.K., Gupta R.K. Nutrient status, algal and cyanobacterial flora of six fresh water streams of Schirmacher Oasis, Antarctica // Hydrobiol. 1995. V. 299. P. 83–91.
3. Pandey K.D., Shukla S.P., Shukla P.N., Giri D.D., Singh J.S., Singh P. Kashyap A.K. Cyanobacteria in Antarctica: ecology, physiology and cold adaptation // Cell. and Molec. Biol. 2004. V. 50. № 5. P. 575–584.
4. Richter W. Biology // The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its Surroundings / Ed. Bormann P., Fritzsche D. Gotha: Justus Perthes Verlag, 1995. P. 321–347.
5. Shukla S.P., Gupta R.K., Kashyap A.K. Algal colonisation of Schirmacher oasis, Antarctica // Fifteenth Indian Expedition to Antarctica, Scientific Report, Department of Ocean Development, Technical Publication. 1999. № 13. P. 109–116.
6. Singh S.M., Singh P., Thajuddin N. Biodiversity and distribution of cyanobacteria at Dronning Maud Land, East Antarctica // Acta Bot. Malacitana. 2008. V. 33. P. 17–28.
7. Huang J.P., Hoover R.B., Swain A., Murdock C., Andersen D.T., Bej A.K. Comparison of the microbial diversity and abundance between the freshwater land-locked lakes of Schirmacher Oasis and the perennially ice-covered Lake Untersee in East Antarctica // Proc. of SPIE. 2010. V. 7819. doi: 10.1117/12.863131.
8. Swain A.K. Bathymetry of Schirmacher lakes as a tool for geomorphological evolution studies // Geological Society, London, Special Publications. 2017. V. 461. № 1. P. 77–93.
9. Александров В.Я. Климатические особенности российской антарктической станции и аэродрома «Новолазаревская» // Ученые записки РГГМУ. 2014. № 39. С. 109–119.
10. Симонов И.М. Оазисы Восточной Антарктиды. Л.: Гидрометеоздат, 1971. 176 с.
11. Hodgson D.A. Antarctic lakes // Encyclopedia of Lakes and Reservoirs / Ed. Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge R.W. Dordrecht: Springer, 2012. P. 26–31.
12. Kumar P., Shokri M.R., Mehrotra I. Eighteenth Indian Expedition to Antarctica // Scientific Report. Technical Publication № 16. Department of Ocean Development. New Delhi, India, 2002. P. 273–292.
13. Verlecar X.N., Ingole B.S., Parulekar A.H. Characteristics of the freshwater lakes at the Schirmacher Oasis in Antarctica // Proc. of Workshop on Antarctic Studies / Ed. Dwivedi S.N., Mathur B.S., Hanjura A.K. New Delhi, 1990. P. 144–153.
14. Kaup G. Loads and concentrations of nutrients in the lakes of the Schirmacher Oasis in the season 1983/84 // Limnological studies in Queen Maud Land (East Antarctica) / Ed. Martin J. Tallin: Academy of Science of the Estonian SSR, 1988. P. 66–77.
15. Ingole B.S., Parulekar A.H. Limnology of freshwater lakes at Schirmacher Oasis, East Antarctica // Proc. Indian Nat. Sci. Acad. Part B. 1993. № 59. P. 589–600.
16. Вислоух С.М. К познанию микроорганизмов Невской губы // Изв. Рос. гидрол. ин-та. 1921. № 1–3. С. 3–48.
17. Komárek J., Elster J. Ecological background of cyanobacterial assemblages of the northern part of James Ross Island, Antarctica // Polish Polar Research. 2008. V. 29. № 1. P. 17–32.
18. Ellis-Evans J.C., Layborn-Parry J., Bayliss P.R., Perriss S.J. Physical, chemical and microbial community characteristics of lakes of the Larsemann Hills, Continental Antarctica // Arch. Hydrobiol. 1998. V. 141. № 2. P. 209–230.
19. Hirano M. Freshwater algae from Yukidori Zawa, near Syowa Station, Antarctica // Memoirs of the National Institute of Polar Research, Special Issue. 1979. № 11. P. 1–25.

REFERENCES

1. Verkulich S.R., Pushina Z.V., Tatur A., Gilichinsky D.A., Abramov A.A., Melles M. Late Pleistocene — Holocene environmental changes and diatom flora in the Schirmacher oasis (East Antarctic). *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of Arctic and Antarctic. 2012, 2 (92): 23–41. [In Russian].
2. Pandey K.D., Kashyap A.K., Gupta R.K. Nutrient status, algal and cyanobacterial flora of six fresh water streams of Schirmacher Oasis, Antarctica. *Hydrobiol.* 1995, 299: 83–91.
3. Pandey K.D., Shukla S.P., Shukla P.N., Giri D.D., Singh J.S., Singh P., Kashyap A.K. Cyanobacteria in Antarctica: ecology, physiology and cold adaptation. *Cell. and Molec. Biol.* 2004, 50, 5: 575–584.
4. Richter W. Biology. The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings. Ed. Bormann P., Fritzsche D. Gotha: Justus Perthes Verlag, 1995: 321–347.
5. Shukla S.P., Gupta R.K., Kashyap A.K. Algal colonisation of Schirmacher oasis, Antarctica. Fifteenth Indian Expedition to Antarctica, Scientific Report, Department of Ocean Development, Technical Publication. 1999, 13: 109–116.
6. Singh S.M., Singh P., Thajuddin N. Biodiversity and distribution of cyanobacteria at Dronning Maud Land, East Antarctica. *Acta Bot. Malacitana*. 2008, 33: P. 17–28. doi: 10.24310/abm.v33i0.6964.
7. Huang J. P., Hoover R.B., Swain A., Murdock C., Andersen D.T., Bej A.K. Comparison of the microbial diversity and abundance between the freshwater land-locked lakes of Schirmacher Oasis and the perennially ice-covered Lake Untersee in East Antarctica. *Proc. of SPIE*. 2010, 7819. doi: 10.1117/12.863131.
8. Swain A.K. Bathymetry of Schirmacher lakes as a tool for geomorphological evolution studies. Geological Society, London, Special Publications. 2017, 461, 1: 77–93.
9. Alexandrov V.Ya. The climatic conditions of the russian antarctic station and airfield “Novolazarevskaya”. *Uchonyye zapiski rossyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta*. Scientific notes of the Russian State Hydrometeorological University. 2014, 39: 109–119. [In Russian].
10. Simonov I.M. *Oazisy vostochnoy Antarktity*. The oases of East Antarctica. Leningrad: Gidrometisdat, 1971: 176 p. [In Russian].
11. Hodgson D. A. Antarctic lakes. *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs*. Ed. Bengtsson L., Herschy R.W., Fairbridge, R.W. Dordrecht: Springer, 2012: 26–31.
12. Kumar P., Shokri M. R., Mehrotra I. Eighteenth Indian expedition to Antarctica. Scientific Report. Technical Publication. Department of Ocean Development. New Delhi, India, 2002, 16: 273–292.
13. Verlekar X.N., Ingole B.S., Parulekar A.H. Characteristics of the freshwater lakes at the Schirmacher Oasis in Antarctica. *Proc. of Workshop on Antarctic Studies*. Ed. Dwivedi S.N., Mathur B.S., Hanjura A.K. New Delhi, 1990: 144–153.
14. Kaup G. Loads and concentrations of nutrients in the lakes of the Schirmacher Oasis in the season 1983/84. *Limnological studies in Queen Maud Land (East Anlarctica)*. Ed. Martin J. Tallin: Academy of Science of the Estonian SSR, 1988: 66–77.
15. Ingole B.S., Parulekar A.H. Limnology of freshwater lakes at Schirmacher Oasis, East Antarctica. *Proc. Indian Nat. Sci. Acad. Part B*. 1993, 59: 589–600.
16. Wyslouch S.M. To the knowledge of the microorganisms of the Neva Bay. *Izvestiya Rossiyskogo Gidrologicheskogo instituta*. Proceedings of the Russian Hydrological Institute. 1921, 1–3: 3–48. [In Russian].
17. Komárek J., Elster J. Ecological background of cyanobacterial assemblages of the northern part of James Ross Island, Antarctica. *Polish Polar Research*. 2008, 29, 1: 17–32.
18. Ellis-Evans J.C., Layborn-Parry J., Bayliss P.R., Perriss S.J. Physical, chemical and microbial community characteristics of lakes of the Larsemann Hills, Continental Antarctica. *Arch. Hydrobiol.* 1998, 141, 2: 209–230. doi: 10.1127/archiv-hydrobiol/141/1998/209.
19. Hirano M. Freshwater algae from Yukidori Zawa, near Syowa Station, Antarctica. *Memoirs of the National Institute of Polar Research, Special Issue*. 1979, 11: 1–25.