

На правах рукописи

Широян Армине Георгиевна

**ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРОСЛИ ЭПИФИТОНА МАКРОФИТОВ
КРЫМСКОГО ПРИБРЕЖЬЯ ЧЁРНОГО МОРЯ**

1.5.16. Гидробиология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата биологических наук

Севастополь – 2022

Работа выполнена в отделе аквакультуры и морской фармакологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Научный руководитель:

Рябушко Лариса Ивановна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела аквакультуры и морской фармакологии ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», г. Севастополь

Официальные оппоненты:

Комулайнен Сергей Фёдорович, доктор биологических наук, заслуженный деятель науки РФ, ведущий научный сотрудник лаборатории экологии рыб и водных беспозвоночных ФГБУН Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск

Цой Ира Борисовна, доктор геолого-минералогических наук, заведующая лабораторией геологических формаций ФГБУН Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, г. Владивосток

Ведущая организация:

ФГБУН Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН, г. Владивосток

Защита состоится «16» июня 2022 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 24.1.221.01 при ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» по адресу: 299011, г. Севастополь, пр. Нахимова, 2. e-mail: dissovet@ibss-ras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН» по адресу: 299011, РФ г. Севастополь, проспект Нахимова, 2, и на сайте по адресу: <https://ibss-ras.ru/science/dissertation-council-24-1-221-01/announcement/1672/>

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Учёный секретарь диссертационного совета 24.1.221.01,

кандидат биологических наук

Наталья Валериевна Поспелова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Известно, что диатомовые водоросли являются важным компонентом и преобладающей группой среди микроводорослей (МВ) бентали морей. Они поддерживают кислородный режим в море, служат источником органического вещества и пищи для различных гидробионтов. Бентосные виды активно поселяются на поверхности разнообразных субстратов и донной растительности, и вносят существенный вклад в продукционную составляющую морских экосистем. В прибрежье они являются единым экологическим и флористическим комплексом, образующиеся под воздействием течений, сгонно-нагонных явлений и других факторов среды (Рябушко, Рябушко, 2001). Исследование их видового разнообразия и структурно-функциональных характеристик является одной из основных задач гидробиологии, связанных с проблемами определения качества воды и охраны природных ресурсов.

Диатомовые водоросли широко исследованы на различных типах субстратов в разных экотопах и регионах Чёрного моря (Бодяну, 1979; Vodeanu, 1987-1988; Гусяков, 2002; Рябушко, 2009, 2013; Неврова, 2015; Давидович, 2020), но в меньшей степени в эпифитоне макрофитов. Поэтому необходимость установления таксономического статуса видов диатомовых водорослей и макрофитов, их взаимодействия на качественном и количественном уровне, выявление новых, редко встречающихся, потенциально опасных и сапробионтных видов явилось теоретическим и практическим обоснованием выполнения данной работы. Недостаточная изученность видового разнообразия диатомовых водорослей эпифитона донной растительности крымского прибрежья Чёрного моря, малочисленность данных об их количественном составе и структурных показателях в зависимости от типа макрофита, сезона года и района исследования под влиянием изменения факторов среды определяет актуальность выбранной темы.

Степень разработанности темы. Микроводоросли эпифитона макрофитов Чёрного моря исследованы фрагментарно. Основные работы относятся к изучению качественного состава и отчасти количественных данных по диатомовым водорослям на макрофитах (Куваева, 1962; Маккавеева, 1960, 1979; Кучерова, 1973). В то время не были разработаны методы количественного учёта ДВ в зависимости от площади поверхности макрофита по его таксономическому статусу и поэтому не определены количественные характеристики ДВ (численность, биомасса и др.) на единицу площади поверхности макрофита. Также отсутствовали сведения по структуре сообществ с учётом количественных индексов разнообразия. Позже эти данные были

получены по отдельным видам грацилярий, филлофор и других видов макрофитов (Рябушко, 1991, 1993, 1994). Дальнейшее усовершенствование методологии и методов исследования ДВ микрофитобентоса (Рябушко, 2009, 2013) позволило нам провести комплексное и одновременное изучение качественного состава и количественного распределения видов ДВ в эпифитоне разных видов макрофитов крымского побережья Чёрного моря в зависимости от сезона года и районов исследования.

Цель работы – изучить видовое разнообразие и количественные характеристики сообществ диатомовых водорослей эпифитона макрофитов крымского побережья Чёрного моря.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить видовой состав микроводорослей эпифитона макрофитов из разных районов крымского побережья, охватывая места расположения мидийно-устричных ферм.

2. Определить общность видов диатомовых водорослей в эпифитоне бурых, красных, зелёных водорослей-макрофитов и морских трав.

3. Провести эколого-флористический (с выявлением индикаторов сапробности воды) и фитогеографический анализ флор диатомовых водорослей эпифитона макрофитов.

4. Исследовать количественную структуру сообществ диатомовых водорослей эпифитона макрофитов (обилие видов, численность, биомасса, индексы видового разнообразия, выровненности, доминирования) по сезонам и районам исследования.

Научная новизна. В пяти районах крымского побережья Чёрного моря изучены МВ эпифитона 35-ти видов донной растительности, из них на 24 видах – впервые. Обнаружен 151 вид и ввт микроводорослей, в том числе 141 таксон Bacillariophyta, относящийся к 3 классам, 15 порядкам, 30 семействам и 57 родам, из них 11 новых видов для Крыма и Чёрного моря. Определены качественные и количественные характеристики ДВ. Установлено, что во флоре ДВ преобладают бентосные виды (83%). Впервые для ДВ эпифитона приведены эколого-флористические и фитогеографические характеристики элементов флоры, а также количественные данные (количество видов, численность, биомасса и структурные показатели), характеризующие сообщества ДВ эпифитона макрофитов по сезонам года и районам исследования.

Теоретическая значимость. Работа расширяет знания о видовом составе, эколого-флористических и фитогеографических характеристиках диатомовых водорослей эпифитона донной растительности в побережье Чёрного моря. Общий список микроводорослей дополнен 11 новыми для моря и 15 редко встречающимися в крымском побережье видами ДВ. Установлены

сходство и различия видового состава диатомовых в эпифитоне бурых, красных и зелёных водорослей-макрофитов, а также морских трав. Данные об обилии и количестве видов, численности, биомассе, индексах видового разнообразия, выровненности, доминирования видов в структуре сообществ диатомовых водорослей дополняют сведения о микрофитобентосе Чёрного моря.

Практическая значимость. Выявлено 44 вида – индикаторов качества воды с преобладанием бета-мезосапробионтных (52 %) видов умеренного органического загрязнения. Отмечено 12 потенциально опасных и токсичных видов микроводорослей из отделов Dinophyta, Bacillariophyta, а также Cyanobacteria. Эти сведения необходимы для оценки экологического состояния среды в районах размещения ферм по культивированию моллюсков и контроля качества продукции марихозяйств. Данные по изучению МВ эпифитона макрофитов, загрязняющих Чёрное море, можно использовать для комплексного биомониторинга морского побережья.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в рамках гос. задания ФИЦ ИнБЮМ по теме: «Исследование механизмов управления продукционными процессами в биотехнологических комплексах с целью разработки научных основ получения биологически активных веществ и технических продуктов морского генезиса» № 121030300149–0; Гранта РФФИ № 18-44-920012 p_a (2018-2021 гг.) «Морские технологии биоминерализации с помощью бентосных диатомовых водорослей для создания инновационных инженерных материалов в Севастопольской бухте (Чёрное море)».

Методы исследования. При отборе и обработке качественных и количественных проб ДВ эпифитона донной растительности использованы стандартные гидробиологические методы, методы диатомового анализа, методология и методы изучения морского микрофитобентоса (Диатомовые водоросли ..., 1974; Рябушко, 2009, 2013). Микрофотографии ДВ выполнены с помощью светового микроскопа (СМ) Axioskop 40 C. Zeiss и электронного сканирующего микроскопа (СЭМ) Hitachi HTA SU3500.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Видовое разнообразие диатомовых водорослей эпифитона донной растительности является основой для оценки количественной составляющей структуры их сообществ.

2. Экологические, фитогеографические и количественные характеристики сообществ диатомовых водорослей эпифитона можно использовать при комплексном анализе состояния водной среды обитания гидробионтов Чёрного моря.

3. Количественные характеристики сообществ диатомовых водорослей эпифитона макрофитов зависят от типа таллома, сезона года и района исследования.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечена большим количеством собранных проб, применением современных методов световой, электронной микроскопии и определителей ДВ. Используются стандартные гидробиологические методы и методы диатомового анализа обработки материала. Обработка данных выполнена с применением программы MS Excel и пакета статистических программ PRIMER® 5.2.8. Все полученные результаты и выводы подкреплены данными и представлены в рисунках и таблицах

Личный вклад соискателя. Автор диссертации принимал непосредственное участие в сборе проб, обработке материала, анализе данных, обсуждении результатов и написании текстов статей и материалов конференций, представлении устных докладов на научных семинарах, школе диатомологов, международных и отечественных конференциях, самостоятельно интерпретировал и обобщал полученные данные. Диссертационная работа написана лично соискателем.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы были представлены: Всероссийская конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию кафедры микологии и альгологии биол. ф-та МГУ им. М.В. Ломоносова, 110-летию со дня рождения проф. М.В. Горленко, памяти проф. Ю.Т. Дьякова. «Микология и альгология России XX-XXI век: смена парадигм» (Москва, 2018); 2nd International UNIDOCAP Black Sea Symposium on Biodiversity (Samsun, Turkey, 2018); Междунар. науч.-техн. конф. SKOC-19 «Системы контроля окружающей среды» (Севастополь, 2019); XI всерос. науч.-практ. конф. молодых учёных по проблемам водных экосистем, посвящён. памяти д.б.н., проф. С.Б. Гулина «Понт Эвксинский – 2019» (Севастополь, 2019); 2-ая междунар. науч.-практ. школа-конф. «Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана» (пос. Курортное, 2020); Всерос. онлайн-конф. «Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем» (Севастополь, 2020); Всерос. науч. конф. с междунар. участием «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире» (Казань, 2021); XVII междунар. науч. конф. «Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия» (Минск, 2021); Междунар. науч. конф. «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», посвящён. 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий» (Севастополь, 2021).

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 167 страницах, включает введение, 5 глав, заключение, выводы, список литературы, состоящий из 214 источников, из них иностранных 60, Приложения I-V. Текст иллюстрирован 53 рисунками и 22 таблицами.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 научных работ (3 без соавторов), из которых: 6 – в специализированных научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в т.ч. свидетельство о гос. регистрации базы данных. 4 статьи входят в базы Wos и Scopus, 10 работ – в сборниках материалов и тезисов международных и российских конференций. В статьях, опубликованных в соавторстве, вклад соискателя состоит в выборе и разработке методов исследования, получении экспериментальных данных, обсуждении и написании текста статей и тезисов. Права соавторов публикаций не нарушены.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю диссертационной работы, д.б.н., ст.н.с. Л. И. Рябушко за методологическую и методическую помощь, консультации при постановке цели и задач работы, обсуждение полученных результатов и совместные публикации. А также за поддержку и совместные публикации кандидатам биологических наук Д. С. Балычевой, А. В. Бондаренко, Е. С. Мирошниченко, А. А. Благининой, а также к.б.н. И. К. Евстигнеевой, к.б.н. В. В. Александрову и м.н.с. Е. Б. Чернышёвой – за консультации по определению видов донной растительности; м.н.с. Д. Н. Лишаеву – за сбор проб, техническую помощь и совместные публикации; н.с. С. В. Щурову и А. М. Щербич – за участие в сборе материала, а также В. Н. Лишаеву – за помощь при подготовке препаратов диатомовых водорослей для работы на СЭМ и получении микрофотографий.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 Состояние изученности диатомовых водорослей эпифитона крымского побережья Чёрного моря (литературный обзор). На основании анализа литературных источников показано, что микроводоросли эпифитона крымского побережья изучены недостаточно, в том числе и ДВ донных сообществ, в частности, эпифитона макрофитов. В районах мидийно-устричных ферм отсутствуют не только сведения о видовом составе, но и о количественных показателях и сезонной динамике их в эпифитоне макрофитов, нет даже обобщённых списков видов.

Глава 2 Общая характеристика районов исследования. Диатомовые водоросли бентоса, обитающие на разных субстратах, в том числе и на поверхности донной растительности являются объектом наших исследований в

следующих районах крымского побережья Чёрного моря: I – залив Донузлав, акватория и районы мидийно-устричных ферм; II – бухта Карантинная; III – район мидийно-устричной фермы (бух. Карантинная); IV – Инкерманская бухта; V – акватория б/с Батилиман (рис. 1).



Рисунок 1 – Карта-схема районов исследования эпифитона донной растительности крымского побережья Чёрного моря

Для каждого района приведены данные по основным параметрам среды, которые варьировали по солёности от 13,10 до 18,52‰, температуре воды от 3 °С до 26,6 °С, а также указаны гидрохимические характеристики. Показано, что исследованные акватории различаются своими гидролого-гидрохимическими параметрами, находящиеся под воздействием разнообразных факторов в каждом конкретном местообитании, влияющих на качественный и количественный состав ДВ и структуру их сообществ.

Глава 3 Материалы и методы исследований. Дано описание методов отбора и обработки качественных и количественных проб диатомовых водорослей, собранных в пяти районах на глубинах от 0,1 до 17 м за период 2018–2020 гг. в эпифитоне 35 видов макрофитов: бурые: *Cladostephus spongiosus*, *Gongolaria barbata* (= *Cystoseira barbata*), *Ericaria crinita* (= *Cystoseira crinita*), *Ectocarpus siliculosus*, *Feldmannia paradoxa*, *Nereia filiformis*, *Pylaiella littoralis*; красные: *Callithamnion corymbosum*, *Ceramium secundatum*, *Ceramium arborescens*, *Ceramium virgatum*, *Gelidium latifolium*,

Gelidium spinosum, *Laurencia coronopus*, *Phyllophora crista*, *Polysiphonia denudata*, *P. elongata*, *P. subulifera*; зелёные: *Bryopsis adriatica*, *Br. plumosa*, *Cladophora coelotrix*, *Cl. laetevirens*, *Cl. liniformis*, *Cl. vadorum*, *Cladophoropsis membranacea*, *Codium vermilara*, *Ulva clathrata*, *U. compressa*, *U. linza*, *U. rigida*, *U. torta*; харовые: *Lamprothamnium papulosum*; морские травы: *Zostera marina*, *Ruppia cirrhosa*, *Stuckenia pectinata*. Собрано и обработано 378 проб макрофитов и ДВ (табл. 1), в т.ч. 207 количественных проб и 600 препаратов ДВ.

Таблица 1 – Объём материала эпифитона макрофитов, собранного из разных районов крымского побережья Чёрного моря

Глубина, м	Солёность, ‰	T, °C	Количество проб
Залив Донузлав (9 станций), включая мидийно-устричные фермы			
0,1-6	16,58-19,01	7,0-25,3	111
Бухта Карантинная, побережье (2 станции)			
0,1-6	15,67-19,7	3-25,2	93
Бухта Карантинная, мидийно-устричная ферма (1 станция)			
1-17	15,2-19,17	8,1-26,6	108
Инкерманская бухта (1 станция)			
0,1-1	13,1-17,02	3-26	39
Акватория биостанции Батилиман (1 станция)			
0,5-14	15,67-18,03	14-16,5	27
Всего:			378

Видовой состав микроводорослей изучали с помощью СМ (Axioskop 40 C. Zeiss с программой AxioVision Rel. 4.6) и СЭМ Hitachi HTA SU3500 (Япония). При изучении таксономической структуры Bacillariophyta эпифитона макрофитов использовали классификационную систему (Round et al., 1990) с дополнениями. Видовую принадлежность исследуемых объектов определяли по атласам, определителям и литературным источникам (Диаг. ан., 1949; 1950; Прошкина-Лавренко, 1955, 1963; Диатомовые ..., 1974; Гусяков и др., 1992; Рябушко, 2013; Рябушко, Бегун, 2016; Smith, 1853, 1856; Hustedt 1962; Kuylenstierna (1989-1990); Al-Yamani, Saburova, 2011), а также использовали международную альгобазу (Guiry, Guiry, 2019-2021).

При анализе экологической и фитогеографической характеристик ДВ, включая индексы сапробности, использовали источники (Рябушко, 2013; Рябушко и др., 2019; Varinova et al., 2019). Анализ структуры сообществ эпифитона макрофитов проводили с помощью индексов видового разнообразия Шеннона-Вивера (Shannon, Weaver, 1949), выровненности видов Пиелу (Pielou, 1966), доминирования видов в сообществе Бергера-Паркера (Berger, Parker, 1970) и коэффициента флористического сходства видов Сёренсена (Sørensen, 1948). Площадь поверхности макрофита вычисляли по формуле

аллометрической зависимости площади его удельной поверхности от диаметра слоевища (Миничева, 1989). Обработка данных выполнена с применением программы MS Excel и пакета статистических программ PRIMER® 5.2.8. (Clarke, Warwick, 2001).

Глава 4 Таксономическая структура и флористический состав диатомовых водорослей эпифитона донной растительности. Исследован видовой состав микроводорослей эпифитона 35 видов макрофитов (7 видов бурых, 11 – красных, 13 – зелёных и 1 – харовой), а также 3 вида морских трав, из них ДВ эпифитона 24 видов макрофитов изучены впервые. Обнаружен 151 вид и ввт МВ, в том числе таксономическая структура Bacillariophyta представлена 141 видом и ввт, относящихся к трём классам: Coscinodiscaceae (13 видов и ввт), Fragilariaceae (22), Bacillariophyceae (106), 15 порядкам, 30 семействам и 57 родам. Отмечены потенциально опасные и токсичные микроводоросли из отделов Dinophyta: *Gymnodinium sanguineum*, *Prorocentrum balticum*, *P. cordatum*, *P. lima*, *P. micans*, *Protoceratium reticulatum*, *Protoperidinium brevipes*, а также Cyanobacteria: *Stanieria minima*, *Phormidium nigroviride*, *Lyngbya aestuarii* и два вида диатомовых: *Halamphora coffeiformis* и *Pseudo-nitzschia seriata*.

Впервые для Крыма и Чёрного моря указано 11 новых таксонов ДВ: *Anaulus maritimus*, *Pleurosigma inflatum*, *Pl. clevei*, *Donkinia carinata*, *Licmophora hyalina*, *Cocconeis scutellum* var. *japonica*, *Grammatophora arctica*, *Petroneis* sp. 1, *Petroneis* sp. 2, *Pinnularia cardinaliculus*, *Trachyneis aspera* var. *contermina*, а также 15 видов, редко встречающихся в крымском побережье: *Actinophytichus senarius*, *Amphora copulata*, *A. crassa*, *A. ovalis*, *A. proteus*, *Entomoneis paludosa*, *Fragilaria striatula*, *Hyalodiscus scoticus*, *Navicula cryptocephala*, *N. veneta*, *Nitzschia spathulata*, *N. vidovichii*, *Tryblionella punctata*, *Parlibellus hamulifer*. *Petroneis* sp. 1.

Также отмечены массовые виды, которые, присутствуют в донных сообществах круглогодично, либо являются типичными для определённых сезонов года практически в каждом районе. Некоторые из них указаны в качестве доминантных видов. Отдельные виды ДВ представлены в световом и электронном сканирующем микроскопах (Приложении II). Ниже приведены рисунки ДВ, выполненные в СЭМ (рис. 2).

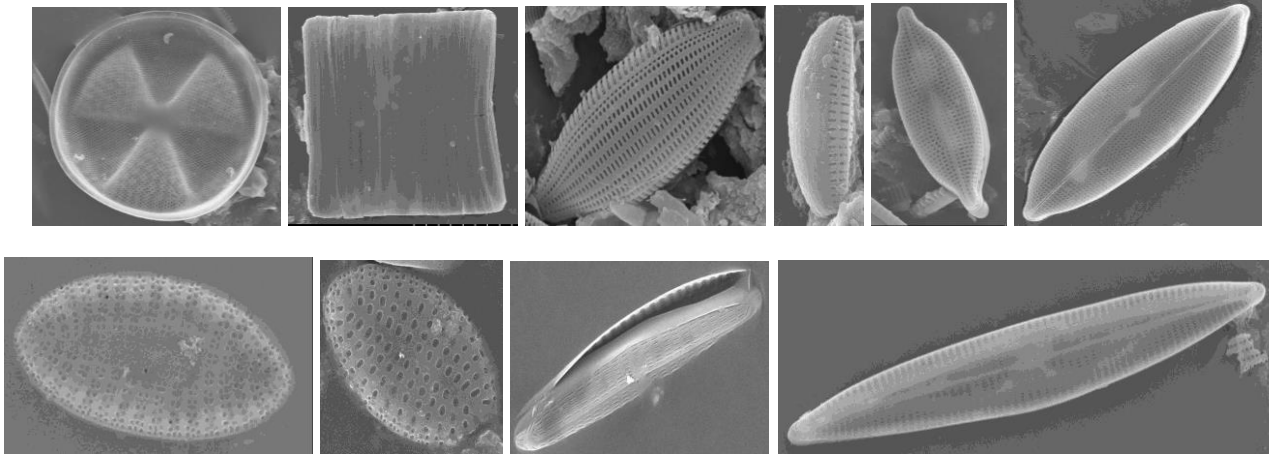


Рисунок 2 – СЭМ. Виды диатомовых водорослей эпифитона макрофитов: *Actinophtychus senarius*, *Striatella unipunctata*, *Halamphora coffeiformis*, *Amphora ovalis*, *Petroneis* sp. 1, *Petroneis* sp. 2, *Cocconeis pinnata*, *C. distans*, *Trachyneis aspera* var. *contermina*, *Navicula ammophila* var. *intermedia*

Представлены данные эколого-флористических и фитогеографических характеристик сообществ ДВ эпифитона макрофитов для разных районов крымского побережья Чёрного моря. Анализ данных показал, что в целом преобладают бентосные виды (83%) (табл. 2).

Таблица 2 – Экологические и фитогеографические характеристики диатомовых водорослей из разных районов крымского побережья Чёрного моря

Характеристики флоры ДВ	Районы				
	Залив Донузлав (I)	Бухта Карантинная (II)	Мидийно-устричная ферма (III)	Инкерманская бухта (IV)	Акватория биостанции Батилиман (V)
Количество видов по местообитанию, %					
Бентосные	86	82	81	85	87
Бентопланктонные	9	13	14	12	13
Планктонные	5	5	5	3	-
Экологические группы, %					
Морские	53	51	56	50	47
Солоноватоводно-морские	32	34	33	35	42
Солоноватоводные	7	7	6	12	7
Пресноводно-солонатоводные	6	7	4	3	4
Пресноводные	2	1	1	-	-

<i>продолжение таблицы 2</i>					
Виды-индикаторы сапробности воды, %					
Ксеносапробионты	-	-	2	-	2
Олигосапробионты	10	14	7	14	15
Бета-мезосапробионты	49	47	48	59	58
Альфа-мезосапробионты	10	3	7	14	8
Полисапробионты	31	33	38	10	19
Фитогеографические элементы, %					
Аркто-бореальные	5	4	14	7	9
Аркто-бореально-тропические	14	15	10	14	15
Бореальные	20	16	13	12	11
Бореально-тропические	10	13	9	7	7
Космополиты	30	30	32	39	36
Нотальные	21	22	22	21	22

Выявлено 44 вида – индикаторов сапробности с преобладанием бета-мезосапробионтных (52%) видов ДВ. По отношению видов к солёности воды преобладают две группы – морские и солоноватоводно-морские, пресноводный комплекс представлен малым количеством видов (рис. 3).

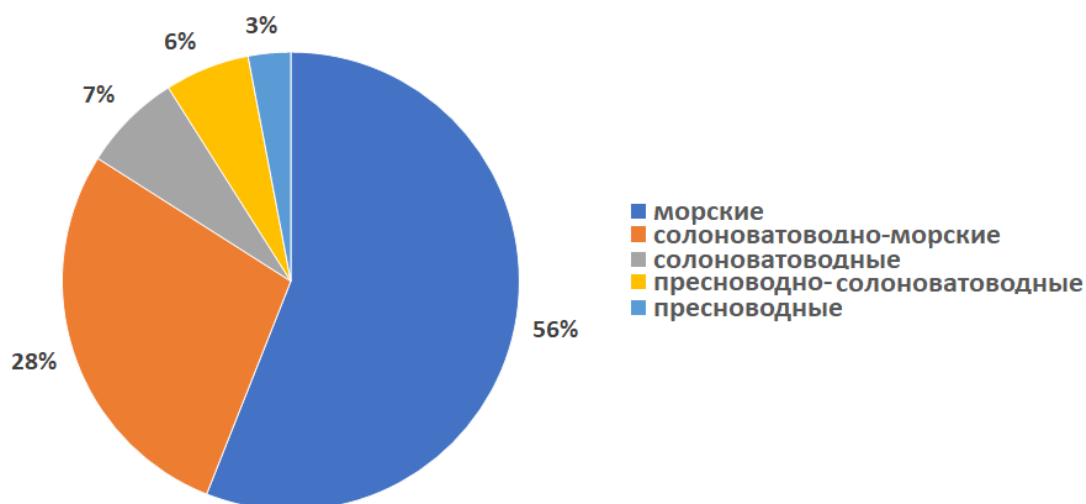


Рисунок 3 – Характеристика видов ДВ по их отношению к солёности воды, %

Проведён анализ фитогеографических элементов флоры ДВ. Преобладали четыре группы ДВ – космополиты, бореальные, аркто-бореально-тропические и бореально-тропические формы (рис. 4).

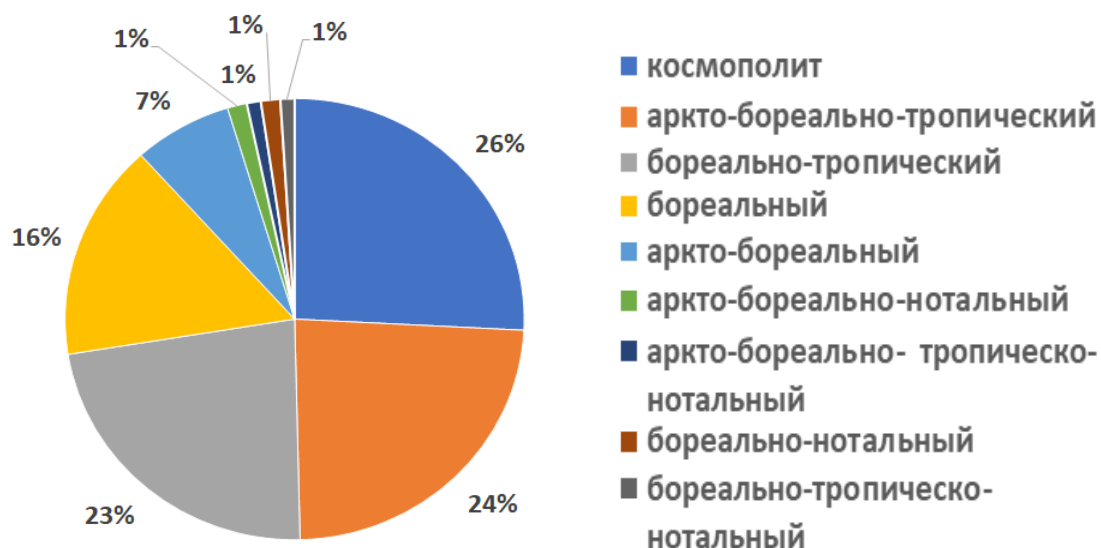


Рисунок 4 – Фитогеографические элементы флоры ДВ, %

Проведён сравнительный анализ таксономической структуры диатомовых водорослей эпифитона макрофитов на мидийно-устричных фермах в бухте Карантинная и заливе Донузлав (табл. 3).

Таблица 3 – Таксономический состав Bacillariophyta в районе мидийно-устричных ферм в бухте Карантинная (I) и зал. Донузлав (II)

Классы	Количество таксонов							
	порядок		семейство		род		вид	
	Районы							
	I	II	I	II	I	II	I	II
Coscinodiscophyceae	-	-	-	1	-	1	-	1
Fragilariophyceae	5	4	5	4	8	6	20	11
Bacillariophyceae	5	18	13	20	39	33	58	57
Итого:	10	22	18	25	47	40	78	69

В пределах сравниваемых ферм (I/II районы) преобладают представители класса Bacillariophyceae, наиболее богаты бентосными формами с ведущим положением родов *Navicula* 7/7, *Pleurosigma* 4/3, *Nitzschia* 7/6 и *Cocconeis* 3/3, соответственно, и 63 вида ДВ являются общими.

В районах найдено следующее количество видов ДВ: зал. Донузлав (I) – 106 видов и ввт, бух. Карантинная (II) – 77, на мидийно-устричной ферме (III) – 78, Инкерманской бухте (IV) – 57, в районе б/с Батилиман (V) – 45. Наибольшая общность флор отмечена для (I) и (III) районов, коэффициент сходства видов Сёрнсена составляет 67%.

Глава 5 Количественное распределение диатомовых водорослей в сообществах эпифитона макрофитов. Впервые представлены количественные характеристики ДВ: количество видов (K), численность (N), биомасса (B) ДВ, доминирующие виды по Бергеру-Паркеру (D_{BP}), а также структурные показатели индексов видового разнообразия Шеннона (H), выровненности видов Пиелу (e), коэффициента Брея-Кёртиса (I_{BC}), которые наиболее полно отражают состояние донных сообществ ДВ эпифитона макрофитов по всем районам исследования. Дана оценка количества видов, численности и биомассы ДВ эпифитона для отдельных видов макрофитов. Так, максимальное количество видов и численность ДВ найдены на талломах бурой водоросли *Ericaria crinita* (= *Cystoseira*), а максимум биомассы – на листьях *Z. marina* (рис. 5А, Б).

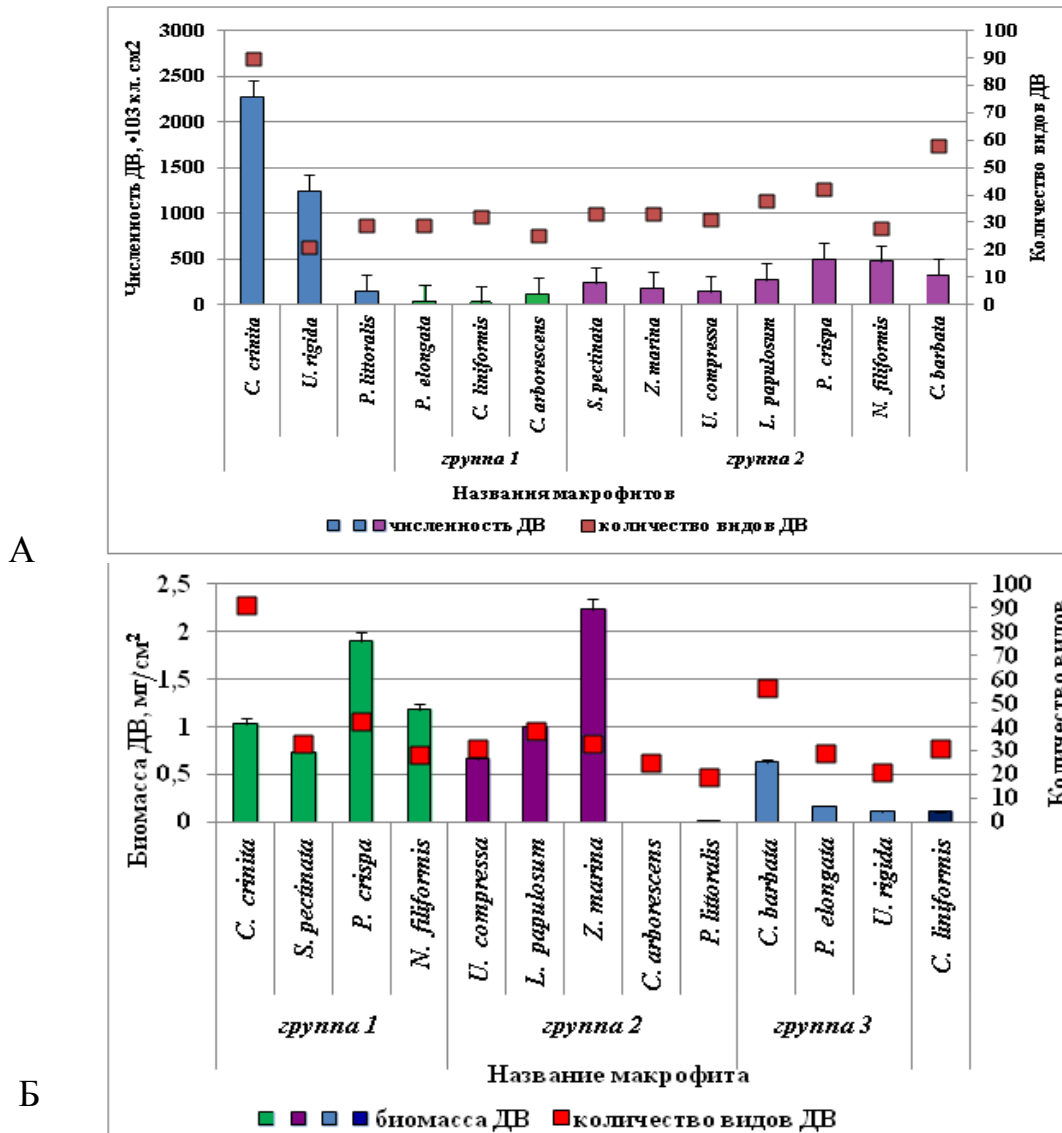


Рисунок 5 – Средние значения численности (А), биомассы (Б) и количества видов в сообществах ДВ эпифитона макрофитов

Проведён анализ количественных характеристик ДВ эпифитона 22-х видов бурых водорослей: *E. crinita*, *G. barbata*, *E. siliculosus*, *F. paradoxa*, *P. litoralis*, *N. filiformis*, красных водорослей: *P. elongata*, *P. denudata*, *G. latifolium*, *C. arborescens*, *Ph. crispa*, *L. coronopus*, *C. secundatum*, *C. corumbosum* и зелёных водорослей: *C. liniformis*, *U. clathrata*, *Ulva compressa*, *U. linza*, *U. rigida*, *U. torta*, *C. vadorum* и *B. plumosa*, имеющих разный тип талломов (табл. 4).

Таблица 4 – Количественные характеристики сообществ ДВ на макрофитах разной систематической принадлежности в зависимости от типа их таллома

Водоросли-макрофиты			Диатомовые водоросли		
Группы	Тип таллома	Кол-во проб	Кол-во видов	$N, 10^3$, кл. · см ⁻²	B , мг · см ⁻²
Бурые	Цилиндрический	6	108	499,0	0,007
Красные	Цилиндрический	7	51	81,8	0,002
	Пластинчатый	1	18	494,5	0,002
Зелёные	Цилиндрический	3	40	116,7	0,007
	Пластинчатый	5	46	273,9	0,002

По районам выделены доминирующие виды: в заливе Донузлав 6 видов, бухте Карантинная – 7, в районе мидийно-устричной фермы – 7, в Инкерманской бухте – 6; в акватории б/с Батилиман – 1 вид. В заливе Донузлав показаны значения численности и биомассы ДВ с наибольшими величинами, отмеченными на талломах бурой водоросли *E. crinita* в январе при $T_{\text{воды}}=10^{\circ}\text{C}$ с доминированием одношовной диатомеи *Cocconeis scutellum* с $D_{\text{ВР}}=28,0\%$ (табл. 5, рис. 6).

Таблица 5 – Средние значения структурных показателей сообществ ДВ и доминирующие виды эпифитона залива Донузлав

Месяц, макрофит	$T, ^{\circ}\text{C}$	$(N \pm \Delta) \cdot 10^3$, кл. · см ⁻²	$B \pm \Delta$, мг · см ⁻²	K	H	e	Доминанты, $D_{\text{ВР}}, \%$
Январь <i>Ericaria crinita</i>	10,0	380±84,2	0,87±0,14	14	3,03	0,78	<i>Cocconeis scutellum</i> , 28,0
Март <i>Gongolaria barbata</i>	7,0	242±57,2	0,20±0,07	15	3,14	0,25	<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i> , 87,0
Апрель <i>E. crinita</i>	10,6	29±3,4	0,09±0,02	28	4,66	0,97	<i>Licmophora abbreviata</i> , 8
Апрель <i>Ulva compressa</i>	10,6	187±56,4	1,38±0,33	13	2,07	0,56	<i>C. scutellum</i> , 66,0
Апрель <i>E. crinita</i>	10,6	23±3,3	0,20±0,05	11	3,22	0,93	<i>C. scutellum</i> , 29,0
Май <i>G. barbata</i>	10,2	33±4,9	0,09±0,01	17	2,9	0,71	<i>L. abbreviata</i> , 49,0

продолжение таблицы 5							
Сентябрь <i>Stuckenia pectinata</i>	22,0	217±88,7	1,49±0,44	12	3,1	0,89	<i>C. scutellum</i> , 28,0
Сентябрь <i>Lamprothamnium papulosum</i>	22,0	361±100	0,98±0,47	19	3,89	0,92	<i>Navicula ramosissima</i> , 20,0
Октябрь <i>L. papulosum</i>	15,9	182±25,1	2,4±0,23	26	4,44	0,96	<i>Petroneis</i> sp. 1, 12
Октябрь <i>E. crinita</i>	15,9	39±3,6	0,44±0,09	15	3,57	0,91	<i>Ardissonea crystallina</i> , 22,0

Высокое видовое разнообразие сообщества ДВ эпифитона отмечено в апреле с максимальными значениями индексов $H=4,66$ и $e=0,97$ (табл. 5).

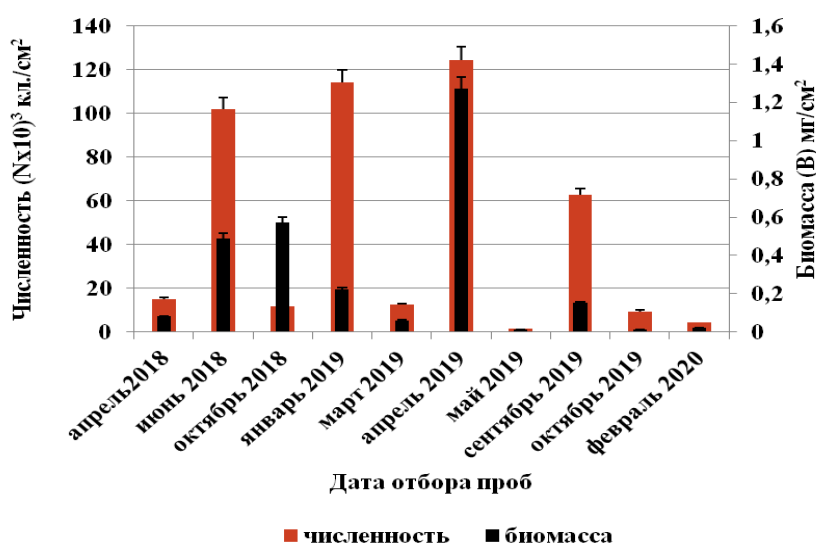


Рисунок 6 – Средние значения численности и биомассы вида-обработателя *Cocconeis scutellum* в заливе Донузлав

В бух. Карантинная зарегистрировано 2 пика обилия видов, численности и биомассы ДВ: $K=15$, $N=349,0 \cdot 10^3$ кл.·см⁻², $B=1,05$ мг·см⁻² в августе при $T_{\text{воды}}=22,6^\circ\text{C}$ с доминированием *C. scutellum*; второй пик в феврале при $T=3,0^\circ\text{C}$ с соответствующими данными: $K=23$, $N=233 \cdot 10^3$ кл.·см⁻², $B=0,5$ мг·см⁻² с доминированием нового для черноморских вод вида *Anaulus maritimus*. Среди прочих видов-доминантов отмечены *T. fasciculata*, *Ps. seriata*, *Gr. marina*, *L. abbreviata*.

В районе мидийно-устричной фермы (бух. Карантинная) максимальные значения $N=1118 \cdot 10^3$ и $B=3,24$ мг·см⁻² сообществ ДВ отмечены в эпифитоне красной водоросли *Ph. crisper* при $T=25^\circ\text{C}$. Высокие значения $N=1001 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² и $B=2,07$ мг·см⁻² ДВ обнаружены на бурой водоросли *N. filiformis* в августе при $26,6^\circ\text{C}$. Эти примеры свидетельствуют о том, что не только тип макрофита, сезонность, но и биогенные элементы в районе фермы влияют на увеличение

количественных показателей ДВ (Рябушко и др., 2017). В эпифитоне красных водорослей *C. secundatum* и *C. corymbosum* доминировал *G. marina* – $33,8 \cdot 10^3$ и $5,3 \cdot 10^3$ кл.·см⁻². На зелёной водоросли *U. clathrata* отмечен массовый вид *L. abbreviata* с численностью $44,7 \cdot 10^3$ кл.·см⁻².

В *Инкерманской бухте* в эпифитоне макрофитов определены количественные показатели сообществ ДВ и их доминирующие виды в зависимости от сезона и температуры воды (табл. 6).

Таблица 6 – Структурные показатели и доминирующие виды ДВ в эпифитоне макрофитов *Инкерманской бухты*

Месяц, макрофит	$T, ^\circ\text{C}$	$(N \pm A) \cdot 10^3$, кл.·см ⁻²	B , мг·см ⁻²	K	H	e	Доминанты, $D_{\text{ВР}}, \%$
Январь <i>Ericaria crinita</i>	8,0	257±90,0	0,53±0,09	21	3,5	0,81	<i>Navicula menisculus</i> , 22,0
Февраль <i>E. crinita</i>	3,0	518±54,4	1,57±0,04	23	2,2	0,48	<i>Anaulus maritimus</i> , 51,0
Март <i>E. crinita</i>	8,0	387±21,0	2,14±0,92	11	3,3	0,95	<i>Navicula ramosissima</i> , 18
Апрель <i>E. crinita</i>	10,0	113±16,2	0,27±0,12	13	3,75	0,98	<i>Tabularia parva</i> , 13
Август <i>Stuckenia pectinata</i>	23,0	254±89,6	0,17±0,03	19	3,3	0,76	<i>N. ramosissima</i> , 22,0
Октябрь <i>E. crinita</i>	19,4	72±6,2	0,23±0,014	18	4,57	1,09	<i>Berkeleya rutilans</i> , 9
Ноябрь <i>Gongolaria barbata</i>	15,0	15±9,0	0,02±0,003	14	2,97	0,78	<i>Diatomella salina</i> var. <i>septata</i> , 32,0

Наибольшая численность в *Инкерманской бухте* зарегистрирована в эпифитоне бурой водоросли *E. crinita* в зимний сезон (январь-март) при $T=3-8^\circ\text{C}$ с доминированием вида ДВ *Anaulus maritimus* в феврале при минимальной температуре воды за все сезоны исследования. В августе ($T=23^\circ\text{C}$) отмечена относительно высокая численность ДВ в эпифитоне морской травы *St. pectinata* (табл. 6). В целом для бухты были характерны доминирующие виды, имеющие небольшие размеры: *Navicula ramosissima*, *N. menisculus* и *Diatomella salina* var. *septata*, что, вероятно, это связано с более загрязнённым районом исследования.

В районе б/с Батилиман количественные показатели сообщества ДВ были оценены на листьях *Zostera marina* (май, 2019 г. при $T=14^\circ\text{C}$), которые составляли: $K=18$, $N=440 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² с биомассой $1,58$ мг·см⁻²; $H=3,87$ и $e=0,93$. В мае 2020 г. при $T=16,5^\circ\text{C}$ эти показатели выявлены для ДВ эпифитона

Polysiphonia elongata с доминантом *Striatella unipunctata* с $D_{BP} = 28,0\%$: $K=25$, $N=18 \cdot 10^3$ кл. · см⁻² с биомассой 0,05 мг · см⁻²; $H=3,58$, $e=0,86$.

В целом показано, что сообщества ДВ по количественным данным наиболее стабильны в зимне-весенний период, что характерно для бентосных видов. Для всех районов по численности в эпифитоне бурых водорослей доминировали виды ДВ: *L. abbreviata*, *N. ramosissima*; красных – *G. marina*, *L. abbreviata*; на зелёных *L. abbreviata*. По биомассе доминировали виды ДВ: на бурых – *St. unipunctata*, *C. scutellum*, на красных – *C. scutellum*, *L. abbreviata*, на зелёных – *St. unipunctata*, *L. abbreviata*. На водорослях всех отделов обнаружено 42 общих вида ДВ. По численности и биомассе по сезонам года доминировали виды: *Ardissonea crystallina*, *C. scutellum*, *L. abbreviata*, *N. ramosissima*, *St. unipunctata*, *Tabularia fasciculata*, *Undatella lineolata* и др.

Значения численности ДВ по коэффициенту Брея-Кёртиса по сезонам составляли от 6,0 (осень↔зима) до 35% (зима↔весна), а по биомассе – от 27 (весна↔лето) до 54% (зима↔весна). Наибольшие показатели индексов Шенонна $H=4,66$ и Пиелу $e=0,97$ ДВ отмечены в зал. Донузлав, а максимальное значение коэффициента доминирования вида-обрастателя *L. abbreviata* ($D_{BP}=81\%$) в районе мидийно-устричной фермы в бух. Карантинная.

Заключение. Данные о видовом разнообразии, экологических, фитогеографических характеристиках и структурно-функциональных показателях сообществ диатомовых водорослей эпифитона донной растительности можно использовать при комплексном анализе состояния среды обитания гидробионтов Чёрного моря. Они являются основой для изучения функциональной роли микро- и макрозвена донной растительности как единого целого комплекса видов в морском прибрежье. Выявление потенциально опасных и сапробионтных видов необходимо для контроля экологического состояния среды в местах культивирования моллюсков.

ВЫВОДЫ

1. Изучен видовой комплекс микроводорослей (МВ) эпифитона 35 видов донной растительности крымского побережья Чёрного моря, из них на 24 видах – впервые. Общий список МВ представлен 151 видом и ввт, в том числе – 141 таксоном Bacillariophyta с преобладанием класса Bacillariophyceae (106 видов и ввт), принадлежащих к 8 порядкам, 18 семействам, 39 родам, а также зарегистрированы Dinophyta (7 видов) и Cyanobacteria (3). Для крымского побережья и Чёрного моря выявлено 11 новых и 15 редко встречающихся видов.

2. Среди диатомовых водорослей (ДВ) преобладают бентосные виды (83%), по отношению к солёности воды – морские (56 %) и солоноватоводно-

морские (28 %). Выявлено 44 вида-сапробионта с доминированием бета-мезосапробионтов (46 %) – индикаторов умеренного органического загрязнения вод. Фитогеографические элементы ДВ включают: космополиты – 26 %, аркто-бореально-тропические – 24 %, бореально-тропические – 23 %, бореальные – 16% с элементами нотальных форм.

3. В эпифитоне бурых водорослей обнаружено 109 видов диатомовых водорослей, красных – 63, зелёных – 61 и морских травах – 50. Зимой отмечено 73 вида, весной – 77, летом – 86 и осенью – 88. В заливе Донузлав зарегистрировано 106 видов, в бухте Карантинная – 77, на мидийно-устричной ферме – 78, в Инкерманской бухте – 57, в районе б/с Батилиман – 45.

4. Впервые представлены количественные данные сообществ ДВ для эпифитона макрофитов. Максимальная численность зарегистрирована в эпифитоне красной водоросли *Phyllophora crispa* в районе марихозяйства в бухте Карантинная $-1118 \cdot 10^3$ кл. \cdot см² при биомассе 3,24 мг \cdot см², что на порядок выше, чем на красных и зелёных водорослях и морских травах.

5. В эпифитоне бурых водорослей по численности ДВ доминируют: *Licmophora abbreviata*, *Navicula ramosissima*; красных – *Grammatophora marina*, *Licmophora abbreviata*; зелёных – *L. abbreviata*; по биомассе на бурых – *Striatella unipunctata*, *Cocconeis scutellum*, красных – *C. scutellum*, *L. abbreviata*, зелёных – *St. unipunctata*, *L. abbreviata*. На всех макрофитах обнаружено 42 общих вида диатомовых водорослей.

6. Сходство численности ДВ по сезонам года по коэффициенту Брея-Кёртиса составляли от 6,0 (осень↔зима) до 35 % (зима↔весна), а по биомассе – от 27 (весна↔лето) до 54 % (зима↔весна). Сходство численности ДВ по районам по коэффициенту Брея-Кёртиса изменялись от 7 (Инкерманская бухта↔бух. Карантинная, 39 общих видов) до 38 % (мидийно-устричная ферма↔Инкерманская бухта, 48 общих видов). По биомассе – от 27 (Инкерманская бухта↔бух. Карантинная, 47 общих видов) до 52 % (Ферма↔Донузлав, 56 общих видов). Наибольшие показатели индексов Шеннона и Пиелу $H = 4,66$; $e = 0,97$ ДВ отмечены в заливе Донузлав. Максимальные значения коэффициента доминирования вида-обрастателя *Licmophora abbreviata* отмечены в районе мидийно-устричной фермы в бухте Карантинная $D_{BP} = 81$ %.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ**

1. Рябушко Л.И., Бегун А.А., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н., Мирошниченко Е.С., Аутэкология бентосной диатомовой водоросли *Striatella unipunctata* (Lyngb.) C.A. Agardh – индикатора органического загрязнения вод (Чёрное и Японское моря) // Морской биологический журнал. 2021. Т. 6, № 3. С. 87–103. <https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.3.09> (**Scopus**)
2. Ryabushko L., Miroshnichenko E., Blaginina A., **Shiroyan A.**, Lishaev D. Diatom and cyanobacteria communities on artificial polymer substrates in the Crimean coastal waters of the Black Sea // Marine Pollution Bulletin. 2021. Vol. 169. Article no. 112521 (10 p.). <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112521> (**WoS, Scopus**)
3. Ryabushko L.I., Bondarenko A.V., Miroshnichenko E.S., Lishaev D.N., **Shiroyan A.G.** Diatoms and Cyanobacteria of Periphyton of Experimental Synthetic Polymer Materials in Karantinnaya Bay in the Black Sea // Inland Water Biology. 2020. Vol. 13, iss. 3. P. 399–407. <https://doi.org/10.1134/S1995082920020285> (**WoS, Scopus**)
4. Рябушко Л.И., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н. Диатомовые водоросли эпифитона макрофитов крымского побережья Чёрного моря // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН. 2020. № 3 (15). С. 5–11. <https://doi.org/10.21072/eo.2021.15.01>
5. Ryabushko L.I., Bondarenko A.V., **Shiroyan A.G.** Diatoms of *Bryopsis plumosa* (Hudson) C. Agardh (Chlorophyta, Bryopsidales) Epiphyton from the Black and Aegean seas // Intern. Journ. on Algae. 2019. 21(4). P. 321–334. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v.21.i4.30. (**Scopus**).
6. Свидетельство о гос. рег. базы данных 2020620459 Российская Федерация / **Широян А.Г.** Лишаев Д.Н., Рябушко Л.И. Качественный состав, экологические и фитогеографические характеристики, численность и биомасса диатомовых водорослей эпифитона и эпифитона макрофитов залива Донузлав, Чёрное море (2018-2019 гг.). № 2020620252, заявл. 26.02.2020; опубл. 11.03.2020, Бюл. № 3.

**Публикации в сборниках материалов и тезисов
международных конференций**

7. **Широян А.Г.** Диатомовые водоросли эпифитона морской травы *Zostera marina* Linnaeus (Крым, Чёрное море): Материалы Всероссийской науч. конф. с междунар. участием «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире» (Казань, 18–19 марта 2021). Казань: изд-во КНИТУ, 2021. С. 1754–1758.
8. Рябушко Л.И., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н. Видовой состав и экология диатомовых водорослей эпифитона макрофитов и эпилитона каменистых грунтов в крымском побережье Чёрного моря: Диатомовые водоросли: морфология, биология, систематика, флористика, экология, палеогеография, биостратиграфия: материалы XVII Междунар. науч. конф. 23-28 авг. 2021 г. Минск: Колорград, 2021. С.121–124.
9. Рябушко Л.И., Мирошниченко Е.С., Благинина А.А., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н. Цианобактерии и диатомовые водоросли в обрастании синтетических полимерных материалов (Крым, Чёрное море): их роль и перспективы изучения: Материалы международной научной конференции «Изучение водных и наземных экосистем: история и современность», посвящённой 150-летию Севастопольской биологической станции – Института биологии южных морей им. Ковалевского и 45-летию НИС «Профессор Водяницкий». (Севастополь, 13-18 сент. 2021 г.). Севастополь, 2021. С. 153–154.
10. **Широян А.Г.** Диатомовые водоросли эпифитона макрофитов Карантинной бухты крымского побережья Чёрного моря: сборник тезисов II всероссийской научно-практической школы-конференции «Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана» (28 сентября-02 октября 2020 г.), пгт. Курортное, Феодосия, Республика Крым, РФ. Севастополь: ФГБНУ «Институт природно–технических систем», 2020. С. 289–290.
11. Рябушко Л.И., Бондаренко А.В., Мирошниченко Е.С., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н. Диатомовые водоросли и цианобактерии, формирующие микрорельефы на экспериментальных синтетических полимерных материалах в Чёрном море: Актуальные проблемы изучения черноморских экосистем – 2020 : тез. докл. Всерос. онлайн-конф., 19–22 окт. 2020 г., Севастополь, РФ. Севастополь: ФИЦ ИнБЮМ, 2020. С. 72–75.
12. **Широян А.Г.** Качественные и количественные характеристики диатомовых водорослей эпифитона макрофитов в Севастопольской бухте Чёрного моря (Крымский полуостров): тез. докл. Междунар. науч.- техн. конф. Системы контроля окружающей среды – 2019, Севастополь, 12–13 сентября 2019 г. Севастополь: ИПТС, 2019. С. 162.

13. Мирошниченко Е.С., **Широян А.Г.**, Рябушко Л.И. Диатомовые водоросли и цианобактерии эпифитона зелёных водорослей-макрофитов Самсунского залива Чёрного моря (Турция): "Понт Эвксинский – 2019": Материалы XI Всерос. науч.-практ. конф. для молодых учёных по проблемам водных экосистем, посвящённой памяти д.б.н., проф. С.Б. Гулина (23-27 сентября 2019 г., Севастополь, Россия): Севастополь, 2019. С. 48–50.
14. Рябушко Л.И., Бондаренко А.В. Мирошниченко Е.С., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н. Экспериментальные исследования микроводорослей и цианобактерий перифитона синтетических полимерных материалов в Севастопольской бухте (Крым, Чёрное море): Системы контроля окружающей среды – 2019: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., Севастополь, 12-13 сентября. 2019 г. Севастополь : ИПТС, 2019. С. 163.
15. Рябушко Л.И., **Широян А.Г.**, Лишаев Д.Н. Сравнительный аспект изучения диатомовых водорослей эпифитона макрофитов в разных районах крымского побережья Чёрного моря: Микология и альгология России XX-XXI век: смена парадигм: материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию кафедры микологии и альгологии биол. ф-та МГУ им. М. В. Ломоносова, 110-летию со дня рожд. проф. Михаила Владимировича Горленко, памяти проф. Юрия Таричановича Дьякова. Москва: «Перо», 2018. С. 212.
16. Ryabushko Larisa, Lishaev Denis, **Shiroyan Armine**. The species, ecological and geographical diversity of microphytobenthos microalgae in the Crimean coast of the Black Sea: 2nd International UNIDOCAP Black Sea Symposium on Biodiversity, Samsun, Turkey, 28-30 November 2018: Progr. & Abstr. Book. Samsun, 2018. P. 33.