

УДК 582.261.1-152.644(262.54)

**АННОТИРОВАННЫЙ СПИСОК ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ
ЭПИФИТОНА МАКРОФИТОВ
АКВАЛЬНО-СКАЛЬНОГО КОМПЛЕКСА «МЫС КАЗАНТИП»
(КРЫМ, АЗОВСКОЕ МОРЕ)**

© 2025 г. А. Г. Широян, А. В. Бондаренко, Л. И. Рябушко

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН»,
Севастополь, Российская Федерация
E-mail: arminka_shir@mail.ru

Поступила в редакцию 19.11.2024; после доработки 23.01.2025;
принята к публикации 12.08.2025.

Впервые представлены обобщённые оригинальные данные о видовом составе диатомовых водорослей в 129 пробах эпифитона 14 видов макрофитов из верхней сублиторали аквально-скального комплекса «Мыс Казантип» Азовского моря. Пробы отобраны в 2022–2023 гг. на глубинах 0,1–1,0 м при температуре от +3,7 до +29,0 °C и солёности воды от 13,6 до 15,6 г·л⁻¹. Аннотированный список включает 98 видов и внутривидовых таксонов отдела Bacillariophyta из 3 классов, 21 порядка, 27 семейств и 45 родов; указаны их размеры, встречаемость, экологические и фитогеографические характеристики, численность и биомасса. Высокое видовое разнообразие диатомовых водорослей отмечено для класса Bacillariophyceae (72 таксона) и родов *Nitzschia* (12 видов), *Navicula* (11) и *Licmophora* (6). В эпифитоне зелёной водоросли *Ulva linza* обнаружен 61 вид, красной *Carradoriella denudata* — 45, бурой *Ericaria crinita* — 40, морской травы *Zostera marina* — 37, её ассоциации с *Zannichellia palustris* subsp. *major* — 35. Наименьшее число видов найдено в эпифитоне красной водоросли *Pyropia leucosticta* — 9. Обнаружен новый для Азовского моря бентосный вид *Berkeleya scopulorum*. В сообществах эпифитона преобладают бентосные (83 %), морские (51 %) и космополитные виды (35 %) диатомовых водорослей. Выявлено 30 колониальных видов, из них круглогодично присутствуют *Achnanthes brevipes*, *Berkeleya rutilans*, *Grammatophora marina*, *Melosira moniliformis*, *Navicula ramosissima*, *Rhoicosphenia marina* и *Tabularia tabulata*. По численности доминируют космополиты *Coccconeis scutellum*, *Gr. marina*, *Licmophora abbreviata*, *Rh. marina* и *T. tabulata*. Выявлено 11 видов, вызывающих «цветение» воды, и 45 видов — индикаторов сапробности органического загрязнения вод.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, макрофиты, эпифитон, аквально-скальный комплекс «Мыс Казантип», Азовское море

Прибрежная зона мыса Казантип давно привлекала внимание альгологов как один из районов, минимально подверженных антропогенному влиянию и характеризующихся высоким уровнем биологического разнообразия. С середины XX в. и до настоящего времени здесь периодически проводят исследования водной макрофлоры и составляют и обновляют аннотированные списки макроводорослей и водных цветковых растений, а также бентосных цианобактерий [Белич и др., 2019; Волков, 1940; Громов, 1999; Маслов, 2004; Садогурская, 2001; Садогурская и др., 2006], что является особенно актуальным, если учитывать природоохраный статус наземных территорий и прибрежных вод аквально-скального комплекса «Мыс Казантип» [Литвинюк, 2016].

С 2005 по 2010 г. проведены исследования видового состава и количественных характеристик микроводорослей бентоса из разных экотопов крымского прибрежья Азовского моря, включая акваторию мыса, а также заповедника «Казантипский» [Бондаренко, 2017; Бондаренко, Рябушко, 2010; Бондаренко и др., 2018; Ryabushko, Bondarenko, 2016]. В мелководном Азовском море особенно заметным является взаимодействие бентали и пелагиали, поэтому микроводоросли планктона и бентоса представляют собой единый эколого-флористический комплекс видов. На начальном этапе исследования для уточнения списка видов была проведена поисковая работа по литературным источникам (сводки, определители, справочники, периодические издания, авторефераты, альгобаза, а также собственные данные) по инвентаризации и ревизии таксономического состава микроводорослей планктона и бентоса Азовского моря в целом [Рябушко, Бондаренко, 2011]. В результате составлен чек-лист 1060 таксонов, входящих в состав 9 отделов, среди которых преобладает Bacillariophyta (538 таксонов). В планктоне отмечен 621 таксон, в бентосе — 370; общими для двух биотопов оказались 69. Из представленных данных видно отставание в изучении микрофитобентоса.

Известно, что основной по разнообразию и численности группой микрофитобентоса морей являются диатомовые водоросли, которые создают высокую первичную продукцию, вносят значительный вклад в формирование биоразнообразия донных сообществ и, наряду с другими бентосными организмами, реагируют на изменения условий окружающей среды (температура, солёность воды и её загрязнение различными токсикантами). Они могут быть использованы как индикаторы качества среды своего обитания при оценке экологической ситуации, в том числе в охраняемых акваториях [Рябушко, 2013; Barinova et al., 2019b].

Диатомовые водоросли обитают в море на всех природных и искусственных субстратах. Однако макрофиты, по мнению многих авторов, являются предпочтительным субстратом для заселения микроводорослями [Бондаренко, 2017; Короткевич, 1960; Николаев, 1970; Рябушко, 2013; Широян, 2022; Lee et al., 1975; Siqueiros-Beltrones, Hernández-Almeida, 2006], поэтому в 2022–2023 гг. мы расширили исследования диатомовых водорослей эпифитона водной растительности прибрежной акватории мыса Казантип. В результате изучения эпифитона 11 видов макроводорослей обнаружено 97 таксонов Bacillariophyta, из которых 51 вид указан для района впервые, выявлены доминирующие виды, проанализирован качественный и количественный состав, а также структура сообществ диатомовых водорослей в зависимости от сезона и вида заселяемых макроводорослей [Bondarenko et al., 2024].

После завершения обработки материала годичных исследований к опубликованным ранее результатам [Bondarenko et al., 2024] добавились сведения о диатомовых водорослях эпифитона других макрофитов; также накопились обширные данные об эколого-фитогеографических и количественных характеристиках изучаемых объектов. Обобщённая информация подобного рода ценна для понимания экологии видов и влияния условий среды на формирование сообществ микрофитобентоса, а также для составления баз данных с указанием мест обитания, распространения, особенностей морфологии и других признаков микроводорослей. Кроме того, выявление тенденций в качественном и количественном расселении диатомовых водорослей в донных сообществах макрофитов, особенно в прибрежных экосистемах, необходимо для установления общих закономерностей взаимодействия между диатомовыми водорослями, макрофитами и средой их обитания.

Цель настоящей работы — обобщить оригинальные результаты изучения видового состава и аутэкологии диатомовых водорослей эпифитона макрофитов прибрежной акватории мыса Казантип для составления аннотированного списка с указанием размерных данных, встречаемости, экологических и фитогеографических характеристик, численности и биомассы объектов исследования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

- Материалом для обобщения послужили 129 проб эпифитона 12 видов макроводорослей:
- бурых — *Ericaria crinita* (Duby) Molinari et Guiry, 2020, *Gongolaria barbata* (Stackhouse) Kuntze, 1891 и *Cladosiphon mediterraneus* Kützing, 1843;
 - красных — *Callithamnion corymbosum* (Smith) Lyngbye, 1819, *Ceramium arborescens* J. Agardh, 1894, *Pyropia leucosticta* (Thuret) Neefus et J. Brodie, 2011 и *Carradoriella denudata* (Dillwyn) Savoie et G. W. Saunders, 2018;
 - зелёных — *Bryopsis hypnoides* J. V. Lamouroux, 1809, *Cladophora liniformis* Kützing, 1849, *Cl. sericea* (Hudson) Kützing, 1843, *Ulva intestinalis* Linnaeus, 1753 и *U. linza* Linnaeus, 1753;

а также морской травы *Zostera marina* Linnaeus, 1753, в том числе в её ассоциации с другим цветковым растением — *Zannichellia palustris* subsp. *major* (Hartman) Ooststroom et Reichgelt, 1964.

Пробы собраны в период с октября 2022 г. по сентябрь 2023 г. в верхней сублиторали четырёх бухт мыса Казантип (Азовское море): Широкой и Кунушкай, которые входят в состав заповедника «Казантипский», а также Русской и Татарской (рис. 1).



Рис. 1. Места отбора альгологических проб в районе мыса Казантип: 1 — бухта Русская; 2 — бухта Широкая; 3 — бухта Кунушкай; 4 — бухта Татарская

Fig. 1. Sites of the algological sampling in the Kazantip Cape area: 1, the Russkaya Bay; 2, the Shirokaya Bay; 3, the Kunushkay Bay; 4, the Tatarskaya Bay

Отбор проб проводили на глубинах 0,1–1,0 м при температуре от +3,7 до +29,0 °C; солёность воды варьировала от 13,6 до 15,6 г·л⁻¹ (табл. 1).

Таблица 1. Гидрологические условия отбора проб эпифитона в разные месяцы 2022–2023 гг. в бухтах мыса Казантип Азовского моря

Table 1. Hydrological conditions of epiphyton sampling in various months of 2022–2023 in the Kazantip Cape bays (the Sea of Azov)

Параметр	2022 г.		2023 г.									
	13.10	29.11	31.01	28.02	29.03	25.04	31.05	22.06	27.07	29.08	25.09	
Глубина, м	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,2	0,5	0,1–1	0,1–1	0,1	0,1–0,5	
Температура, °C	17,0	10,0	3,7	4,9	8,1	14,0	19,2	26,2	27,3	29,0	23,9	
Солёность, г·л ⁻¹	15,0	15,6	15,0	15,6	15,1	15,0	14,9	14,9	13,6	13,6	15,0	

В районе исследования в пробах периодически попадались свободно плавающие у поверхности воды макроводоросли разных видов, слоевища которых были тесно переплетены. Эти пробы были использованы только для качественного анализа состава диатомовых водорослей.

Для таксономической идентификации применяли водные и постоянные препараты. Створки диатомовых водорослей очищали по стандартной методике с использованием кислот [Диатомовые водоросли СССР, 1974], после отмычки панцири заключали в смолу Naphrax LTD (коэффициент преломления 1,74). Живые клетки и панцири изучали под световым микроскопом Axioskop 40 (Carl Zeiss, Германия) при увеличении 10×20 и 10×40 и с помощью объектива $\times 100$ с добавлением иммерсионного масла (Carl Zeiss) (показатель преломления $n_e = 1,518$), а также под сканирующим электронным микроскопом (СЭМ) Hitachi SU3500 (Япония).

При анализе таксономической структуры диатомовых водорослей использовали в основном систему, разработанную F. Round с соавторами [1990], с изменениями и дополнениями новыми данными [Рябушко, 2013; Рябушко, Бегун, 2015, 2016; AlgaeBase, 2025]. Видовую принадлежность определяли по ряду литературных источников [Диатомовый анализ, 1950; Гусляков и др., 1992; Рябушко, 2013; Рябушко, Бегун, 2015, 2016; Kuylestierna, 1989, 1990; Smith, 1853; Witkowski et al., 2000]. Экологические и фитогеографические характеристики диатомовых водорослей анализировали с привлечением ряда публикаций [Баринова и др., 2019а; Гусляков и др., 1992; Рябушко, 2013; Рябушко, Бегун, 2016; AlgaeBase, 2025; Barinova et al., 2019b; Bondarenko et al., 2024; Sládeček, 1986]. Количественные параметры (численность и биомасса) диатомовых водорослей определяли согласно методике [Рябушко, 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате изучения биоразнообразия диатомовых водорослей в эпифитоне прибрежных зарослей макрофитов акватории мыса Казантип за 2022–2023 гг. подготовлен аннотированный список, включающий 98 видов и внутривидовых таксонов из 3 классов, 21 порядка, 27 семейств и 45 родов с описанием их таксономической принадлежности. Впервые представлены данные аутэкологии для каждого таксона, в том числе фитогеографические и количественные характеристики (см. приложение: <https://marine-biology.ru/mbj/article/view/507>).

Высоким таксономическим разнообразием характеризуются роды *Nitzschia* (12 видов) и *Navicula* (11). В меньшей степени представлены *Licmophora* (6 видов), а также *Amphora*, *Diploneis*, *Lyrella* и *Melosira* (по 4). Выявлены часто встречающиеся виды: *Achnanthes brevipes*, *Berkeleya rutilans*, *Cocconeis scutellum*, *Cylindrotheca closterium*, *Grammatophora marina*, *Licmophora abbreviata*, *Navicula cancellata*, *N. ramosissima*, *Nitzschia sigma*, *N. sigmoidea*, *Rhoicosphenia marina*, *Tabularia tabulata* и *Trachyneis aspera*. Некоторые виды были найдены единично: *Amphora laevis*, *Grammatophora angulosa*, *Licmophora rostrata*, *Lyrella lyra*, *L. lyroides*, *Navicula cancellata* var. *gregoryi*, *Navicula dumontiae*, *Nitzschia dissipata*, *N. inconspicua*, *Planothidium delicatulum* и *Petroneis humerosa*.

Впервые для Азовского моря указан вид *Berkeleya scopulorum* (рис. 2F), обнаруженный в бухте Русской мыса Казантип в августе в эпифитоне морской травы *Z. marina*.

В сообществах эпифитона отмечено 30 колониальных видов, из которых круглогодично присутствуют *A. brevipes*, *B. rutilans*, *Gr. marina*, *Melosira moniliformis*, *N. ramosissima*, *Rh. marina* и *T. tabulata*. В разные месяцы года доминируют 5 видов-космополитов: *C. scutellum*, *Gr. marina*, *L. abbreviata*, *Rh. marina* и *T. tabulata* (рис. 2A–E).

В прибрежных зарослях макрофитов зарегистрировано 11 видов диатомовых водорослей, вызывающих «цветение» воды в море: *B. rutilans*, *C. closterium*, *Gr. marina*, *L. abbreviata*, *Licmophora flabellata*, *Parlibellus delognei*, *Striatella unipunctata*, *Tabularia fasciculata*, *T. tabulata*,

а также планктонные *Skeletonema costatum* и *Sk. subsalsum*. Отмечен потенциально токсичный вид *Halamphora coffeiformis*. Как правило, этот вид присутствует в сообществах эпифитона в течение года, однако его численность не достигает высоких значений.

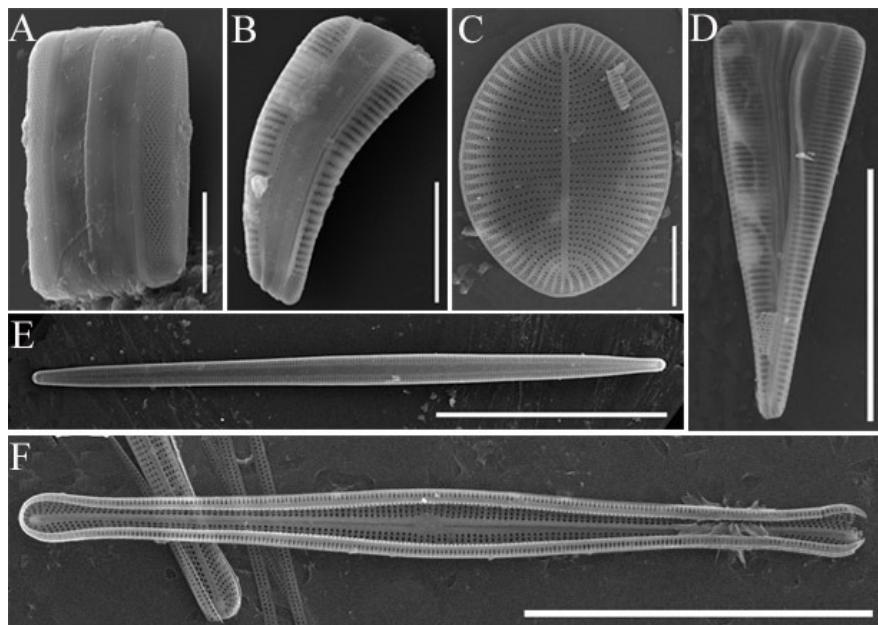


Рис. 2. Бентосные виды диатомовых водорослей эпифитона макрофитов (сканирующий электронный микроскоп). А — *Grammatophora marina*; В — *Rhoicosphenia marina*; С — *Cocconeis scutellum*; Д — *Licmophora abbreviata*; Е — *Tabularia tabulata*; F — *Berkeleya scopulorum*. Размерная шкала — 10 мкм (А–С), 20 мкм (F), 30 мкм (Д) и 50 мкм (Е)

Fig. 2. Benthic diatom species in epiphyton of macrophytes (a scanning electron microscope). A, *Grammatophora marina*; B, *Rhoicosphenia marina*; C, *Cocconeis scutellum*; D, *Licmophora abbreviata*; E, *Tabularia tabulata*; F, *Berkeleya scopulorum*. Scale bars are 10 μm (A–C), 20 μm (F), 30 μm (D), and 50 μm (E)

Наибольшее количество видов диатомовых водорослей выявлено на талломах макроводорослей *U. linza* (61), *C. denudata* (45) и *E. crinita* (40), а также в эпифитоне морской травы *Z. marina* (37) и в её ассоциации с *Zannichellia palustris* subsp. *major* (35); наименьшее число таксонов найдено в эпифитоне красной водоросли *P. leucosticta* (9). Интересно, что высокое видовое богатство диатомовых водорослей в эпифитоне *U. linza* зарегистрировано только в августе и сентябре (в остальные месяцы слоевища ульвы были заселены заметно слабее). В её эпифитоне часто были отмечены минимальные значения численности и биомассы диатомовых водорослей (см. приложение: <https://marine-biology.ru/mbj/article/view/507>). Вероятно, разрастающиеся к концу лета слоевища *U. linza* служили своеобразными сетями, на которые оседали диатомовые водоросли, достигающие пика своего развития к окончанию летнего периода.

Экологический анализ качественного состава диатомового сообщества эпифитона показал преобладание бентосных форм (83 %), морских (51 %) и — в меньшей степени — солоноватоводно-морских (36 %). Доли солоноватоводных, пресноводно-солоноватоводных и пресноводных форм были небольшими (5, 5 и 3 % соответственно).

Установлены индексы сапробности для 45 видов диатомовых водорослей. Согласно системе [Баринова и др., 2019а; Sládeček, 1986] и по нашим данным [Barinova et al., 2019b; Bondarenko et al., 2024], 32 вида из этих 45 являются индикаторами умеренного органического загрязнения вод (3-й класс качества воды), и ведущая роль среди них принадлежит группе бета-мезосапробионтов. Отмечено 10 видов, обитающих в олиготрофных водоёмах, и 6 видов, характерных для эвтрофных вод. Присутствие в сообществах олигосапробионтов, несмотря

на постоянный приток органических веществ, в том числе антропогенного характера, может указывать на то, что прибрежные экосистемы способны нивелировать избыток органики за счёт процессов самоочищения, в которых участвуют и микроводоросли.

В донных сообществах выявлено увеличение доли морских видов и существенное сокращение доли пресноводных. Изменения в видовом составе и размерной структуре отмечены также для диатомовых водорослей из верхних донных отложений, собранных в 1998 и 2019 гг. на 32 станциях в разных районах Азовского моря [Ковалёва, Гаврилова, 2021]. Авторы указывают на заметное уменьшение числа панцирь размерной фракции 5–10 мкм при возрастшем значении более крупноклеточных видов; это связано с перестройкой комплекса доминирующих видов диатомовых водорослей, среди которых по частоте встречаемости и численности стали преобладать средне- и крупноразмерные таксоны, относящиеся преимущественно к морским и солоноватоводно-морским формам.

С учётом наших и литературных данных можно заключить, что выявленные перестройки альгофлоры отражают тенденцию к повышению солёности Азовского моря в последние десятилетия [Ковалёва, Гаврилова, 2021; Berdnikov, 2023].

Установлено, что к концу биологического лета (август, сентябрь) в прибрежье мыса Казантип заметно увеличиваются количественные показатели некоторых видов, вызывающих «цветение» воды в море [Bondarenko et al., 2024]. Один из факторов риска возникновения этого явления — возрастающая в летний период рекреационная нагрузка на азовское побережье Крыма и, как следствие, поступление органических веществ с неочищенными сточными и хозяйствственно-бытовыми водами в прибрежную акваторию Азовского моря [Рябушко, 2003]. Разнообразная органика, с одной стороны, минерализуясь, становится источником биогенных элементов, доступных для микроводорослей и стимулирующих рост их численности, с другой стороны, приводит к массовому развитию гетеротрофных организмов, к которым относится и ряд диатомовых водорослей (представители родов *Amphora*, *Cocconeis*, *Licmophora*, *Navicula*, *Striatella* и *Tabularia*). В целом следует отметить: «цветение» воды является одной из регулярно возникающих проблем Азовского моря, поскольку в этот изначально эвтрофный водоём вместе со стоками Дона, Кубани и многочисленных малых рек постоянно поступают гумус и растворённые органические вещества, а концентрация биогенных элементов не достигает аналитического нуля [Александрова и др., 1998; Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР, 1991]. В мелководных акваториях «цветение» воды проявляется массовым развитием как планктонных, так и бентосных микроводорослей, поэтому сведения о видовом составе и количественных характеристиках диатомовых водорослей эпифитона макрофитов являются важной составляющей комплексной оценки состояния прибрежных экосистем.

Заключение. Обобщены оригинальные данные по изучению биоразнообразия диатомовых водорослей эпифитона макрофитов верхней сублиторали аквально-скального комплекса «Мыс Казантип» за период 2022–2023 гг. с указанием экологии (отношение видов к местообитанию, солёности воды и сапробности), фитогеографии, численности и биомассы исследуемых организмов. Составлен аннотированный список, включающий 98 видов и внутривидовых таксонов *Bacillariophyta* из 3 классов, 21 порядка, 27 семейств и 45 родов с описанием таксономической принадлежности. Впервые приведены данные аутэкологии для каждого таксона, включая фитогеографические и количественные характеристики. В исследуемой альгофлоре обнаружен новый для Азовского моря бентосный вид диатомовой водоросли *Berkeleya scopulorum*, представлено его СЭМ-фото. Наибольшее таксономическое разнообразие отмечено для родов *Nitzschia* (12 видов), *Navicula* (11) и *Licmophora* (6). В сообществах эпифитона выявлено 30 колониальных видов; из них круглогодично присутствуют 7: *Achnanthes brevipes*, *Berkeleya rutilans*, *Grammatophora marina*, *Melosira moniliformis*, *Navicula ramosissima*, *Rhoicosphenia marina* и *Tabularia tabulata*. По численности доминируют космополиты *Cocconeis scutellum*, *Gr. marina*,

Licmophora abbreviata, *Rh. marina* и *T. tabulata*. Биоиндикаторные свойства выявленных сапробионтных видов диатомовых водорослей могут быть использованы при дальнейшем мониторинге динамики антропогенной нагрузки в Азовском море.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Комплексное исследование механизмов функционирования морских биотехнологических комплексов с целью получения биологически активных веществ из гидробионтов» (№ гос. регистрации 124022400152-1).

Благодарность. Выражаем свою признательность с. н. с. ФГБУ «Заповедный Крым» ГПЗ «Казантипский» Н. А. Литвинюк за содействие в отборе проб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Александрова З. В., Семенов А. Д., Ромова М. Г., Баскакова Т. Е. Режим кислорода и содержание биогенных веществ Азовского моря в многолетнем аспекте // Основные проблемы рыбного хозяйства и охраны рыбохозяйственных водоёмов Азово-Черноморского бассейна : сборник научных трудов (1996–1997 гг.) / Азовский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (АзНИИРХ). Ростов-на-Дону : АзНИИРХ, 1998. С. 34–48. [Alexandrova Z. V., Semenov A. D., Romova M. G., Baskakova T. E. The oxygen regime and the content of biogenic compounds in the Azov Sea over the period of 1957–1997. In: *The Main Problems of Fisheries and Protection of Water-bodies with Fisheries in the Azov Sea Basin* : collected articles (1996–1997) / Research Institute of the Azov Sea fishery problems (AzNIIRKh). Rostov-on-Don : AzNIIRKh, 1998, pp. 34–48. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/jjtyrb>
2. Баринова С. С., Белоус Е. П., Царенко П. М. Альгоиндикация водных объектов Украины: методы и перспективы. Хайфа ; Киев : Изд-во ун-та Хайфы, 2019а. 367 с. [Barinova S. S., Bilous O. P., Tsarenko P. M. *Algal Indication of Water Bodies in Ukraine: Methods and Perspectives*. Haifa ; Kyiv : University of Haifa Publisher, 2019а, 367 p. (in Russ.)]
3. Белич Т. В., Садогурский С. Е., Садогурская С. А. Ревизия флоры макрофитов Казантипского природного заповедника // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартыян». 2019. № 10. С. 61–72. [Belich T. V., Sadogurskiy S. Ye., Sadogurskaya S. A. Revision flora of macrophytes of the aquatory of the Kazantip nature reserve. *Nauchnye zapiski prirodnogo zapovednika "Mys Mart'yan"*, 2019, no. 10, pp. 61–72. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.36305/2413-3019-2019-10-61-72>
4. Бондаренко А. В. Микроводоросли бентоса крымского прибрежья Азовского моря : дис. ... канд. биол. наук : 03.02.10. Севастополь, 2017. 237 с. [Bondarenko A. V. *Mikrovodorosli bentosa krymskogo pribrezh'ya Azovskogo morya*. [dissertation]. Sevastopol, 2017, 237 p. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/hfszxc>
5. Бондаренко А. В., Рябушко Л. И. Видовой состав и сезонная динамика количественных характеристик диатомовых водорослей бентоса прибрежной части Казантипского заповедника (Азовское море) // Системы контроля окружающей среды : сборник научных трудов / НАН Украины ; Морской гидрофизический институт. Севастополь : [ЭКОСИ-Гидрофизика], 2010. Вып. 13. С. 231–237. [Bondarenko A. V., Ryabushko L. I. Vidovoi sostav i sezonnaya dinamika kolichestvennykh kharakteristik diatomovykh vodoroslei bentosa pribrezhnoi chasti Kazantipskogo zapovednika (Azovskoe more). In: *Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy* : sbornik nauchnykh trudov / NAN Ukrayny ; Morskoi gidrofizicheskii institut. Sevastopol : [EKOSI-Gidrofizika], 2010, iss. 13, pp. 231–237. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/gmxjcz>
6. Бондаренко А. В., Рябушко Л. И., Садогурская С. А. Микроводоросли бентоса и планктона прибрежной акватории заповедника «Казантипский» (Азовское море, Крым) // Биота и среда заповедных территорий. 2018. № 4. С. 25–48. [Bondarenko A. V., Ryabushko L. I., Sadogurskaya S. A. Microalgae of benthos and plankton in the coastal waters of the nature reserve (zapovednik) "Kazantipskiy" (the Sea of Azov, Crimea). *Biota i sreda zapovednykh territorii*, 2018, no. 4, pp. 25–48. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/yyocjf>
7. Волков Л. И. Материалы к флоре Азовского моря // Труды Ростовского областного

- биологического общества. 1940. Вып. 4. С. 114–137. [Volkov L. I. Materialy k flore Azovskogo morya. *Trudy Rostovskogo oblastnogo biologicheskogo obshchestva*, 1940, iss. 4, pp. 114–137. (in Russ.)]
8. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 5. Азовское море. Санкт-Петербург : Гидрометеоиздат, 1991. 235 с. [*Gidrometeorologiya i hidrokhimiya morei SSSR*. Vol. 5. *Azovskoe more*. Saint Petersburg : Gidrometeoizdat, 1991, 235 p. (in Russ.)]
9. Громов В. В. Донная морская и прибрежно-водная растительность // Современное развитие эстуарных экосистем на примере Азовского моря / отв. ред. Г. Г. Матищов. Апатиты : КНЦ РАН, 1999. С. 130–166. [Gromov V. V. Donnaya morskaya i pribrezhno-vodnaya rastitel'nost'. In: *Sovremennoe razvitiye estuarnykh ekosistem na primere Azovskogo morya* / G. G. Matishov (Ed.). Apatity : KNTs RAN, 1999, pp. 130–166. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/vzndyd>
10. Гусляков Н. Е., Закордонец О. А., Герасимюк В. П. Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Чёрного моря и прилегающих водоёмов / АН УССР, Институт ботаники имени Н. Г. Холодного. Киев : Наукова думка, 1992. 112 с., 140 с. ил. [Guslyakov N. E., Zakordonets O. A., Gerasimyuk V. P. *Atlas diatomovykh vodoroslei bentosa severo-zapadnoi chasti Chernogo morya i prilegayushchikh vodoemov* / AN USSR, Institut botaniki imeni N. G. Kholodnogo. Kyiv : Naukova dumka, 1992, 112 p., 140 p. ill. (in Russ.)]
11. Диатомовый анализ. Книга 3. Определитель ископаемых и современных диатомовых водорослей. Порядок *Pennales* / ред. А. Н. Криштофович, А. И. Прошкина-Лавренко. Ленинград : Госиздат, 1950. 398 с. [*Diatomovyj analiz. Book 3. Opredelitel' iskopaemykh i sovremennykh diatomovykh vodoroslei. Poryadok Pennales* / A. N. Krishtofovich, A. I. Proshkina-Lavrenko (Eds). Leningrad : Gosizdat, 1950, 398 p. (in Russ.)]
12. Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Т. 1 / отв. ред. А. И. Прошкина-Лавренко. Ленинград : Наука, Ленингр. отд-ние, 1974. 403 с. [*The Diatoms of the USSR. Fossil and Recent*. Vol. 1 / A. I. Proshkina-Lavrenko (Ed.). Leningrad : Nauka, Leningr. otd-nie, 1974, 403 p. (in Russ.)]
13. Ковалёва Г. В., Гаврилова И. Ю. Изменение доминирующих видов и размерной структуры диатомовых водорослей из поверхностных донных отложений Азовского моря на протяжении последних 20 лет // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. 2021. Т. 1, № 6. С. 96–103. [Koval'eva G. V., Gavrilova I. Yu. Changes in the dominant species and size structure of diatoms from the surface bottom sediments of the Sea of Azov over the past 20 years. *Ekologiya. Ekonomika. Informatika. Seriya: Sistemnyi analiz i modelirovaniye ekonomicheskikh i ekologicheskikh sistem*, 2021, vol. 1, no. 6, pp. 96–103. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.23885/2500-395X-2021-1-6-96-103>
14. Короткевич О. С. Диатомовая флора литорали Баренцева моря // *Труды Мурманского морского биологического института*. 1960. Вып. 1 (5). С. 68–338. [Korotkevich O. S. Diatomovaya flora litorali Barentseva morya. *Trudy Murmanskogo morskogo biologicheskogo instituta*, 1960, iss. 1 (5), pp. 68–338. (in Russ.)]
15. Литвинюк Н. А. Кадастровая документация по государственному бюджетному учреждению Республики Крым «Казантипский природный заповедник» // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». 2016. Вып. 7. С. 27–55. [Litvinyuk N. A. Cadastral documentation of the state budgetary establishment of the Republic of Crimea “Kazantip Nature Reserve”. *Nauchnye zapiski prirodnogo zapovednika “Mys Mart’yan”*, 2016, iss. 7, pp. 27–55. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/xcbz0j>
16. Маслов И. И. Фитобентос некоторых заповедных и естественных аквальных комплексов Азовского моря // Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2004. Т. 123. С. 68–75. [Maslov I. I. Fitobentos nekotorykh zapovednykh i estestvennykh akval'nykh kompleksov Azovskogo morya. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2004, vol. 123, pp. 68–75. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/yofwsv>
17. Николаев В. А. Диатомовые водоросли бентоса залива Пос'ет Японского моря : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05. Ленинград, 1970. 227 с. [Nikolaev V. A. *Diatomovye vodorosli bentosa zaliva Pos'et Yaponskogo morya*. [dissertation].

- Leningrad, 1970, 227 p. (in Russ.)]
18. Рябушко Л. И. *Микрофитобентос Чёрного моря*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2013. 416 с. [Ryabushko L. I. *Microphytobenthos of the Black Sea*. Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2013, 416 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/8301>
19. Рябушко Л. И. *Потенциально опасные микроводоросли Азово-Черноморского бассейна* / ред. В. И. Рябушко. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 288 с. [Ryabushko L. I. *Potentially Harmful Microalgae of the Azov and Black Sea Basin* / V. I. Ryabushko (Ed.). Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2003, 288 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/8904>
20. Рябушко Л. И., Бегун А. А. *Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря*. Севастополь ; Симферополь : Н.Орианда, 2015. Т. 1. 288 с. [Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of Microphytobenthos of the Sea of Japan*. Sevastopol ; Simferopol : N.Orianda, 2015, vol. 1, 288 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7924>
21. Рябушко Л. И., Бегун А. А. *Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря (синопсис и атлас)* : в 2 т. Севастополь : КИА, 2016. Т. 2. 324 с. [Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of Microphytobenthos of the Sea of Japan (Synopsis and Atlas)* : in 2 vols. Sevastopol : KIA, 2016, vol. 2, 324 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7925>
22. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В. *Микроводоросли планктона и бентоса Азовского моря (чек-лист, синонимика, комментарий)*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 211 с. [Ryabushko L. I., Bondarenko A. V. *Microalgae of the Plankton and Benthos of the Sea of Azov (Check-list, Synonyms, Comment)*. Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2011, 211 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/9273>
23. Садогурская С. А. Флора Cyanophyta супралиторали Казантипского природного заповедника (Азовское море) // *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2001. Т. 120. С. 124–131. [Sadogurskaya S. A. Flora Cyanophyta supralitorali Kazantipskogo prirodnogo zapovednika (Azovskoe more). *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2001, vol. 120, pp. 124–131. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/yluqiz>
24. Садогурская С. А., Садогурский С. Е., Белич Т. В. Аннотированный список фитобентоса Казантипского природного заповедника // *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*. 2006. Т. 126. С. 190–208. [Sadogurskaya S. A., Sadogursky S. E., Belich T. V. Annotated list of phytobenthos of the Kazantip nature reserve. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*, 2006, vol. 126, pp. 190–208. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/smkdhb>
25. Широян А. Г. *Диатомовые водоросли эпифитона макрофитов крымского побережья Чёрного моря* : дис. ... канд. биол. наук : 1.5.16. Севастополь, 2022. 167 с. [Shiroyan A. G. *Diatomovye vodorosli epifitona makrofitov krymskogo pobrezhya Chernogo morya*. [dissertation]. Sevastopol, 2022, 167 p. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/nttgmy>
26. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway / M. D. Guiry, G. M. Guiry (Eds) : [site], 2025. URL: <http://www.algaebase.org> [accessed: 03.01.2025].
27. Barinova S., Bondarenko A., Ryabushko L., Kapranov S. Microphytobenthos as an indicator of water quality and organic pollution in the western coastal zone of the Sea of Azov. *Oceanological and Hydrobiological Studies*, 2019b, vol. 48, iss. 2, pp. 125–139. <https://doi.org/10.1515/ohs-2019-0013>
28. Berdnikov S. V., Kulygin V. V., Dashkevich L. V. Reasons for rapid increase of water salinity in the Sea of Azov in the 21st century. *Physical Oceanography*, 2023, vol. 30, no. 6, pp. 714–730. <https://elibrary.ru/drnrju>
29. Bondarenko A., Shiroyan A., Ryabushko L., Barinova S. Diatoms of the macroalgae epiphyton and bioindication of the protected coastal waters of the Kazantip Cape (Crimea, the Sea of Azov). *Journal of Marine Science and Engineering*, 2024, vol. 12, iss. 7, art. no. 1211 (22 p.). <https://doi.org/10.3390/jmse12071211>
30. Kuylenskierna M. *Benthic Algal Vegetation in the Nordre Älv Estuary (Swedish West Coast)*.

- PhD thesis. Göteborg, Sweden : University of Göteborg–Sweden, 1989, vol. 1, 244 p.
31. Kuhlenstierna M. *Benthic Algal Vegetation in the Nordre Älv Estuary (Swedish West Coast)*. PhD thesis. Göteborg, Sweden : University of Göteborg–Sweden, 1990, vol. 2 [plates], 76 p.
32. Lee J. J., McEnery M. E., Kennedy E. M., Rubin H. A nutritional analysis of a sublittoral diatom assemblage epiphytic on *Enteromorpha* from a Long Island salt marsh. *Journal of Phycology*, 1975, vol. 11, iss. 1, pp. 14–49. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1975.tb02746.x>
33. Round F. E., Crawford R. M., Mann D. G. *The Diatoms. Biology and Morphology of the Genera*. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 1990, 747 p.
34. Ryabushko L. I., Bondarenko A. V. The qualitative and quantitative characteristics of the benthic diatoms near Kazantip Cape of the Sea of Azov. *Journal of the Black Sea / Mediterranean Environment*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 237–249. <https://elibrary.ru/izvxxm>
35. Siqueiros-Beltrones D. A., Hernández-Almeida O. U. Florística de diatomeas epifitas en un manchón de macroalgas subtropicales. *CICIMAR Oceánides*, 2006, vol. 21, no. 1–2, pp. 11–61.
36. Sládeček V. Diatoms as indicators of organic pollution. *Acta Hydrochimica et Hydrobiologica*, 1986, vol. 14, iss. 5, pp. 555–566. <https://doi.org/10.1002/ahed.19860140519>
37. Smith W. F. *A Synopsis of the British Diatomaceae* : with remarks on their structure, functions and distribution; and instructions for collecting and preserving specimens. In 2 vols. Vol. 1. London : Printed for Smith and Beck, publ. by J. Van Voorst, 1853, 89 p. <https://doi.org/10.5962/bhl.title.10706>
38. Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. *Diatom Flora of Marine Coasts*. 1. Ruggell ; Königstein : Gantner Verlag : Koeltz Scientific Books, 2000, 925 p. (Iconographia Diatomologica : Annotated Diatom Micrographs ; vol. 7: Diversity – Taxonomy – Identification / H. Lange-Bertalot (Ed.))

ANNOTATED LIST OF EPIPHYTIC DIATOMS FROM MACROPHYTES OF THE AQUATIC-ROCK COMPLEX KAZANTIP CAPE (THE CRIMEA, SEA OF AZOV)

A. Shiroyan, A. Bondarenko, and L. Ryabushko

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation
E-mail: arminka_shir@mail.ru

The paper is the first one to summarize original data on the diatom species composition for 129 samples of 14 macrophyte species from the upper sublittoral of the aquatic-rock complex Kazantip Cape (the Sea of Azov). The sampling was carried out in 2022–2023 on depths of 0.1–1.0 m at a temperature of +3.7...+29.0 °C and water salinity of 13.6–15.6 g·L⁻¹. The annotated list covers 98 Bacillariophyta species and intraspecific taxa from 3 classes, 21 orders, 27 families, and 45 genera. Data on their sizes, occurrence, ecological and phytogeographic characteristics, abundance, and biomass are provided. High species diversity of diatoms was noted for the class Bacillariophyceae (72 taxa) and for three genera: *Nitzschia* (12 species), *Navicula* (11), and *Licmophora* (6). The highest number of diatom species was recorded on thalli of a green alga *Ulva linza* (61 species), red alga *Carradoriella denudata* (45), and brown alga *Ericaria crinita* (40), as well as in epiphyton of the seagrass *Zostera marina* (37) and its association with *Zannichellia palustris* subsp. *major* (35). The lowest number of species was revealed for epiphyton of a red alga *Pyropia leucosticta* (9). A benthic diatom *Berkeleya scopulorum* was found in the Sea of Azov for the first time. In epiphytic communities, benthic (83%), marine (51%), and cosmopolitan species (35%) predominate. In total, 30 colonial species were identified. Out of them, the following diatoms occur year-round: *Achnanthes brevipes*, *Berkelya rutilans*, *Grammatophora marina*, *Melosira moniliformis*, *Navicula ramosissima*, *Rhoicosphenia marina*, and *Tabularia tabulata*. Cosmopolitan species *Cocconeis scutellum*, *Gr. marina*, *Licmophora abbreviata*, *Rh. marina*, and *T. tabulata* dominate in abundance. We recorded 11 species capable of causing water blooms and 45 serving as indicators of saprobity of water organic pollution.

Keywords: diatoms, macrophytes, epiphyton, aquatic-rock complex Kazantip Cape, Sea of Azov