

УДК 582.261.1-152.632.3(262.5.04)

БЕНТОСНЫЕ ДИАТОМОВЫЕ ВОДОРΟΣЛИ (BACILLARIOPHYTA): РАЗНООБРАЗИЕ И ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ТАКСОЦЕНОВ НА РЫХЛЫХ ГРУНТАХ БУХТЫ КРУГЛАЯ (ЧЁРНОЕ МОРЕ, КРЫМ)

© 2025 г. **Е. Л. Неврова**

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

Поступила в редакцию 04.10.2024; после доработки 18.02.2025;
принята к публикации 12.08.2025.

Бухта Круглая, или бухта Омега, имеет большое рекреационное значение в связи со своим внутренним расположением в регионе Севастополя, протяжённой пляжной зоной и мелководной акваторией с песчаным дном. Эти особенности определяют необходимость контроля состояния морской биоты. Целью работы стало выявление видового богатства и иерархической структуры таксоценов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) в недостаточно изученной ранее бухте Круглая и сравнительный анализ с прибрежными биотопами Крыма, находящимися под антропогенным влиянием различного уровня. По результатам пробоотбора 2004 г. исследовано видовое богатство бентосных диатомовых водорослей бухты Круглая и проанализировано таксономическое разнообразие на основе флористических и формализованных методов с использованием индексов таксономической отличительности TaxDI (AvTD и VarTD). Выявлено 264 вида и внутривидовых таксона донных диатомовых водорослей, представленных 256 видами, 73 родами, 35 семействами, 21 порядком и 3 классами. Обнаружено 70 видов и 5 родов, ранее отмеченных нами как новые для флоры Bacillariophyta северного шельфа Чёрного моря, а также 5 видов, описанных нами ранее как новые для науки. Наибольшее сходство видового состава зарегистрировано как между биотопами с наименьшим уровнем техногенного воздействия (бухта Омега — бухта Двукорная и бухта Омега — бухта Ласпи), так и между акваториями, сильно загрязнёнными техногенными поллютантами (Севастопольская бухта — бухта Карантинная и Севастопольская бухта — Балаклавская бухта), независимо от их удалённости и различий в гидрологических и гидрофизических условиях. Таксоцены Bacillariophyta сильно загрязнённых полигонов характеризуются невысоким богатством видов и большой долей моно- и олиговидовых ветвей вследствие редуцирования низкорезистентных к поллютантам таксонов. Показатели AvTD превышают среднеожидаемый уровень для черноморской флоры Bacillariophyta. В условно чистых акваториях таксоцены диатомовых водорослей характеризуются высоким видовым богатством, большим количеством поливидовых ветвей и малой долей моно- и олиговидовых ветвей, агрегирующихся на разных уровнях иерархического дерева. Значения AvTD находятся ниже среднеожидаемого уровня для флоры диатомовых водорослей Чёрного моря. Особенности структуры таксоценов Bacillariophyta сравниваемых полигонов обусловлены видоспецифической реакцией различных таксонов на сочетанные факторы влияния среды. Использование TaxDI при анализе таксономического разнообразия Bacillariophyta позволяет статистически достоверно оценивать состояние морских прибрежных акваторий с различным статусом загрязнения.

Ключевые слова: бухта Омега, TaxDI, видовое богатство, антропогенное воздействие

В комплексе бухт города Севастополя бухта Круглая, или бухта Омега, обладает высокой рекреационной ценностью вследствие своего расположения в городской черте, песчаного мелководного дна и отсутствия промышленных объектов на прилегающей территории. На её берегах находятся обширный пляж и множество кафе, зон отдыха и пансионатов, что подвергает акваторию бухты антропогенной нагрузке и актуализирует необходимость мониторинга состояния морской биоты. Основными задачами контроля за прибрежной экосистемой являются инвентаризация и анализ разнообразия биоты, по результатам которых возможно отследить изменения морской среды. Важным звеном в прибрежных экосистемах служат бентосные диатомовые водоросли (Bacillariophyta). Оценка их видового богатства необходима для биоиндикации и анализа состояния водной среды [Барина и др., 2006; Blanco et al., 2012; Borja et al., 2013; Kreck et al., 2016; Stenger-Kovács et al., 2016; Tokatli et al., 2020]. Изучение разнообразия бентосных диатомовых водорослей приобретает особое значение вследствие усиления техногенного загрязнения и антропогенного влияния на шельфе Чёрного моря, что ведёт к изменению структуры таксоценов и к уменьшению видового богатства Bacillariophyta [Неврова, 2022; Петров, Неврова, 2004; Петров и др., 2005; Руководство, 2015; Petrov, Nevrova, 2007; Petrov et al., 2010]. Для выявления различных аспектов таксономического разнообразия Bacillariophyta необходимы обобщение результатов и комплексный анализ на основе флористических и формализованных методов. В связи с этим целью нашей работы стало проведение сравнительной оценки с помощью индексов таксономической отличительности TaxDI (taxonomic distinctness indices) [Неврова, 2022; Warwick, Clarke, 1998, 2001] современного состояния разнообразия и иерархической структуры таксоценов бентосных диатомовых водорослей в недостаточно изученной ранее бухте Круглая и в прибрежных местообитаниях Крыма с различным статусом техногенного загрязнения.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Бентосные диатомовые водоросли исследованы на полигоне в бухте Омега, расположенной в северо-западной части региона города Севастополя и входящей в систему севастопольских бухт (рис. 1). Берега бухты невысокие и пологие, сложены из сарматских известняков и слоёв мергеля, классифицируются как абразионно-аккумулятивные, с чередованием абразионно-эрозионных и аккумулятивных участков выровненного берега [Агаркова-Лях, Лях, 2019; Игнатов и др., 2014]. Средние значения глубины в кутовой части бухты составляют примерно 0,5–1 м, в центральной её части — 5 м, в устьевой части — 16 м. Донные грунты сложены в основном илами и мелкозернистым песком, а также битой и цельной ракушкой [Зенкович, 1960]. По сравнению с открытым побережьем, акватория бухты характеризуется спокойным волновым режимом, что обусловлено её закрытым типом и сужением устьевой части. Бухта Круглая имеет протяжённость около 1 км. Она характеризуется относительно слабым водообменом и мелководностью, вследствие чего в летний сезон вода быстро нагревается. Поскольку берега бухты Омега являются одним из наиболее популярных пляжей города Севастополя и на её побережье расположены многочисленные объекты туристической инфраструктуры, в летний сезон акватория подвержена интенсивной рекреационной нагрузке, что обуславливает необходимость контроля состояния биоты.

Биоматериал отобран в ходе комплексной съёмки отдела экологии бентоса ИнБЮМ 28.07.2004 на песчано-илистых грунтах акватории бухты Омега (44°35'N, 33°26'E), на глубине от 1,5 до 16 м. Всего обработано 10 проб донных диатомовых водорослей с пяти станций. В ходе ранее осуществлённого прогноза видового богатства диатомовых водорослей в зависимости от количества обработанных проб на полигоне со сходными биотопическими условиями было выявлено: при анализе только одной станции возможно отметить примерно 35 % общего количества видов, при анализе пяти станций — около 80 % [Petrov, Nevrova, 2013, 2014]. Предварительные

результаты изучения видового богатства диатомовых водорослей бухты Омега изложены в монографии [Неврова, 2022]; в данной же работе с привлечением дополнительного иллюстративного материала дискутируются новые исследования и проводится дальнейший сравнительный анализ иерархического разнообразия Bacillariophyta в иных биотопах крымского побережья.

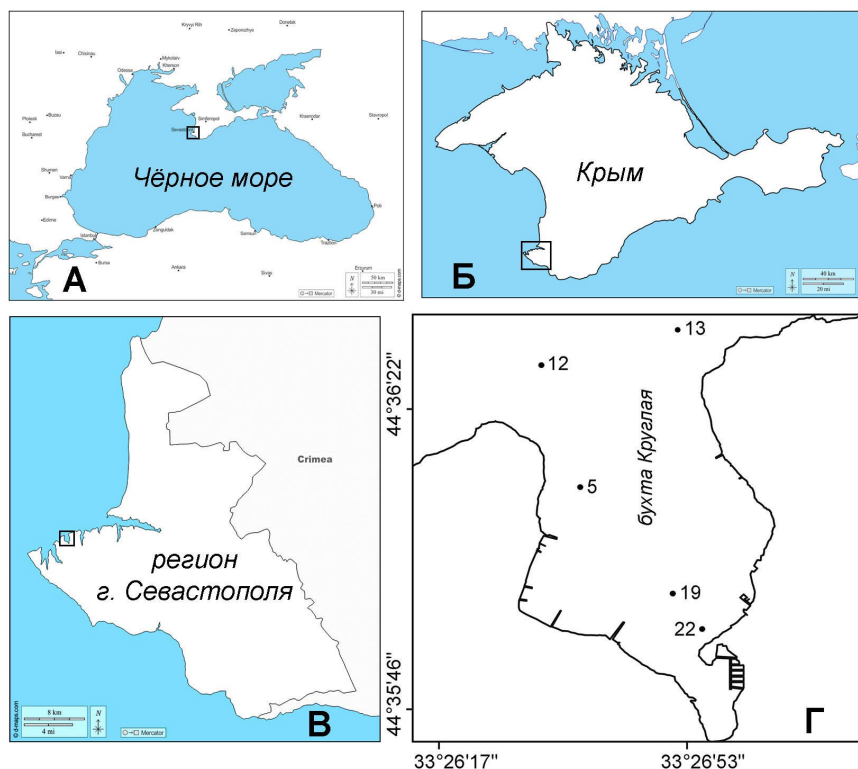


Рис. 1. Карта района работ: А — Чёрное море; Б — Крымский полуостров; В — Севастопольский регион; Г — схема станций отбора проб в бухте Омега

Fig. 1. Map of the study area: А, the Black Sea; Б, the Crimean Peninsula; В, the Sevastopol region; Г, sampling sites off the Omega Bay

Карта района пробоотбора компилирована с сайтов <https://d-maps.com/> [2024] и <https://www.sasgis.org/> [2023], затем отредактирована с помощью программ SAS.Планета и Adobe Photoshop (рис. 1).

Биоматериал получен легководолазом путём отбора мейобентосной трубкой ($S = 15,9 \text{ м}^2$) верхнего слоя рыхлых донных отложений. Далее субстрат подвергнут 20-минутному ультразвуковому воздействию с целью отделения эпипелона и эпипсаммона. Постоянные препараты для светового и сканирующего электронного микроскопов (далее — СМ и СЭМ соответственно) изготовлены по общепринятой методике, подробно изложенной в [Неврова, 2022].

Микрофотографирование створок и идентификация видов каждой пробы проведены на постоянных препаратах под СМ Nikon Eclipse E600 с объективом PlanAPO $\times 100$ и цифровой камерой Nikon DS-Fi1 (Институт морских наук при Щецинском университете, Польша) автором работы. Ультраструктурное микрофотографирование выполнили на СЭМ Hitachi S-4500 (Япония) (Франкфуртский университет имени И.-В. Гёте, Германия) профессор Х. Ланге-Берталот и инженер-магистр М. Руппель, а также на СЭМ Hitachi SU3500 (Япония) (ФИЦ ИнБЮМ, Севастополь) — автор работы и начальник лаборатории микроскопии В. Н. Лишаев.

Препараты для СМ хранятся в отделе экологии бентоса ФИЦ ИнБЮМ в коллекции Е. Л. Невровой и частично — в отделе палеоокеанологии Института морских наук в коллекции профессора А. Витковски. Препараты для СЭМ хранятся во Франкфуртском университете имени И.-В. Гёте в коллекции профессора Х. Ланге-Берталот и частично — в ФИЦ ИнБЮМ в коллекции Е. Л. Невровой.

Для работы использованы определители [Гусляков и др., 1992; Прошкина-Лавренко, 1963; Levkov, 2009; Witkowski et al., 2000], а также многие другие публикации. Систематическое положение донных диатомовых водорослей приведено в соответствии с [Round et al., 1990] с дополнениями [Гусляков и др., 1992; AlgaeBase, 2024; Catalogue of Diatom Names, 2011; Nevrova et al., 2013; Witkowski et al., 2000 и др.]. Номенклатурные названия указаны согласно International Plant Names Index [2024].

Морфометрические измерения клеток Bacillariophyta выполнены с помощью программы ImageJ (v1.4.3.67) [2025].

В летний период в придонном слое воды бухты Омега ранее отмечены высокие значения концентрации аммонийного азота, фосфора и нитратов, а также БПК₅ (биохимического потребления кислорода) [Павлова и др., 2001]. Донные грунты бухты характеризуются слабым загрязнением техногенными поллютантами, поступающими только с ливневыми стоками, но при этом высоким содержанием нитратов аммония, фосфора и большими значениями БПК₅, в некоторых точках примерно в 10 раз превосходящими таковые в открытых акваториях [Миронов и др., 2003]. В жаркий летний период интенсивная рекреационная нагрузка в акватории бухты приводит к дефициту кислорода в придонной воде и в верхнем слое донных отложений. Тем не менее по уровню техногенного загрязнения бухту Круглая можно отнести к условно чистым акваториям, аналогично бухтам Двукорная и Ласпи, в отличие от сильно загрязнённых бухт Карантинная, Севастопольская и Балаклавская, где средние значения содержания в рыхлых донных отложениях тяжёлых металлов и органических поллютантов превышают фоновые показатели в 2–10 раз [Неврова, 2022]. Вышеуказанные акватории были выбраны для сравнительного анализа именно по критерию уровня загрязнения.

Иерархическая структура таксонов диатомовых водорослей в бухте Круглая и в иных районах крымского побережья Чёрного моря проанализирована с помощью программы PRIMER v6 [Clarke, Gorley, 2006] с применением TaxDI. Методика расчётов индекса средней таксономической отличительности AvTD (average taxonomic distinctness index, Δ^+) и его вариабельности VarTD (variation in taxonomic distinctness index, Δ^+) изложена в работах [Неврова, 2022; Warwick, Clarke, 1998, 2001].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Видовое богатство диатомовых водорослей бентоса в бухте Омега. В таксоцене бентосных Bacillariophyta обнаружено 264 вида и внутривидовых таксона (далее — BBT), представленных 256 видами, 73 родами, 35 семействами, 21 порядком и 3 классами (табл. 1).

Таблица 1. Диатомовые водоросли бентоса рыхлых грунтов в бухте Омега

Table 1. Benthic diatoms on soft bottom off the Omega Bay

Таксон	Виды
Класс	<i>Actinocyclus subtilis</i> (W. Greg.) Ralfs; <i>Amphitetras antediluvianum</i> Ehrenb.; <i>Auliscus sculptus</i>
Coscinodiscophyceae	(W. Sm.) Ralfs; <i>Biddulphia rostrata</i> var. <i>alata</i> Proschk.-Lavr.; <i>Coscinodiscus radiatus</i>
Порядки — 6	Ehrenb.; <i>Cyclotella choctawhatcheeana</i> Prasad*; <i>C. comensis</i> Grunow; <i>C. meneghiniana</i>
Семейства — 8	Kütz.; <i>C. operculata</i> (C. Agardh) Kütz.; <i>Dimeregramma fulvum</i> (W. Greg.) Ralfs;
Роды — 14	<i>D. minor</i> (W. Greg.) Ralfs; <i>Glyphodesmis distans</i> (W. Greg.) Grunow; <i>Hyalodiscus scoticus</i>
Виды — 20	(Kütz.) Grunow; <i>Paralia sulcata</i> (Ehrenb.) Cleve; <i>Plagiogramma</i> sp.; <i>Puncticulata radiosa</i>
Виды и BBT — 20	(Lemmerm.) Håk.; <i>Stephanodiscus hantzschii</i> Grunow; <i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenb.)
	Cleve; <i>T. parva</i> Proschk.-Lavr.; <i>T. parvula</i> I. V. Makarova

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Виды
Класс Fragilariophyceae Порядки — 7 Семейства — 7 Роды — 11 Виды — 18 Виды и ВБТ — 18	<i>Ardissonaea baculus</i> (W. Greg.) Grunow; <i>A. crystallina</i> (C. Agardh) Grunow; <i>Fragilaria</i> sp. 1; <i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kütz.; <i>G. oceanica</i> Ehrenb.; <i>Hyalosira aberrans</i> (Giffen) Navarro*; <i>Licmophora abbreviata</i> C. Agardh; <i>L. gracilis</i> (Ehrenb.) Grunow; <i>Microtabella delicatula</i> (Kütz.) Round; <i>Opephora krumbeinii</i> Witkowski, Witak et Stachura*; <i>O. marina</i> (W. Greg.) Petit; <i>O. mutabilis</i> (Grunow) Sabbe et Vyverman*; <i>O. pacifica</i> (Grunow) Petit*; <i>Psammodiscus nitidus</i> (W. Greg.) Round et D. G. Mann; <i>Rhabdonema minutum</i> Kütz.; <i>Tabularia gaillonii</i> (Bory) Bukht.; <i>T. tabulata</i> (C. Agardh) P. J. M. Snoeijis; <i>Thalassionema nitzschioides</i> (Grunow) Mereschk.
Класс Bacillariophyceae Порядки — 8 Семейства — 20 Роды — 48 Виды — 217 Виды и ВБТ — 226	<i>Achnanthes brockmannii</i> Hust.; <i>A. longipes</i> C. Agardh; <i>A. fimbriata</i> (Grunow) R. Ross; <i>Achnanthes</i> sp. O1; <i>Achnanthidium glyphos</i> Riaux-Gob., Compère et Witkowski*; <i>Amphora acuta</i> W. Greg.; <i>A. arcus</i> W. Greg.; <i>A. bigibba</i> Grunow ex A. Schmidt; <i>A. caroliniana</i> Giffen; <i>A. cf. abludens</i> Simonsen*; <i>A. crassa</i> W. Greg.; <i>A. cuneata</i> Cleve; <i>A. exigua</i> W. Greg.; <i>A. exilitata</i> Giffen*; <i>A. graeffeana</i> Hendey; <i>A. helenensis</i> Giffen*; <i>A. laevis</i> W. Greg.; <i>A. lineolata</i> Ehrenb.; <i>A. marina</i> W. Sm.; <i>A. obtusa</i> W. Greg.; <i>A. ocellata</i> Donkin; <i>A. ostrearia</i> Bréb.; <i>A. proteus</i> W. Greg.; <i>A. staurophora</i> Jahlin-Dannfelt; <i>A. subacutiuscula</i> Schoemann; <i>A. wisei</i> (Salah) Simonsen; <i>Amphora</i> sp. O1; <i>Amphora</i> sp. O2; <i>Aneumastus</i> sp. 1; <i>Anorthoneis excentrica</i> (Donkin) Grunow; <i>Astartiella bahusiensis</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>Astartiella</i> sp. O1; <i>Bacillaria paxillifera</i> (O. F. Müll.) Hendey; <i>Berkeleya scopulorum</i> (Bréb. et Kütz.) E. J. Cox; <i>Biremis ambigua</i> (Cleve) D. G. Mann; <i>B. lucens</i> (Hust.) Sabbe, Witkowski et Vyverman*; <i>B. ridicula</i> (Giffen) D. G. Mann*; <i>Caloneis densestriata</i> (Proschk.-Lavr.) Gusl.; <i>C. liber</i> (W. Sm.) Cleve; <i>Campylodiscus parvulus</i> W. Sm.; <i>C. thuretii</i> Bréb.; <i>Campylodiscus</i> sp. 1; <i>Catenula adhaerens</i> Mereschk.; <i>Chamaepinnularia alexandrowiczii</i> Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>Chamaepinnularia</i> cf. <i>alexandrowiczii</i> Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin; <i>Ch. clamans</i> (Hust.) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>Ch. margaritiana</i> (Witkowski) Witkowski*; <i>Ch. truncata</i> (König) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>Climaconeis inflexa</i> (Bréb. ex Kütz.) E. J. Cox; <i>Cocconeopsis breviata</i> (Hust.) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>C. fraudulenta</i> (A. W. F. Schmidt) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>C. patrickae</i> (Hust.) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>Cocconeis crispa</i> Edsbacke*; <i>C. clandestina</i> A. W. F. Schmidt*; <i>C. diminuta</i> Pant.*; <i>C. disrupta</i> var. <i>flexella</i> (Janisch et Rabenh.) Grunow; <i>C. discrepans</i> A. W. F. Schmidt*; <i>C. distans</i> W. Greg.; <i>C. engelbrechtii</i> Cholnoky; <i>C. euglypta</i> Ehrenb.; <i>C. guttata</i> Hust. et Aleem*; <i>C. molesta</i> var. <i>crucifera</i> Grunow; <i>C. pediculus</i> Ehrenb.; <i>C. pelta</i> A. W. F. Schmidt*; <i>C. peltoides</i> Hust.*; <i>C. placentula</i> Ehrenb.; <i>C. pseudocostata</i> Romero*; <i>C. scutellum</i> Ehrenb.; <i>C. scutellum</i> var. <i>parva</i> (Grunow) Cleve; <i>C. speciosa</i> W. Greg.; <i>C. stauroneiformis</i> (Rabenh.) Okuno; <i>Cocconeis</i> sp. O1; <i>Cocconeis</i> sp. O2; <i>Cocconeis</i> sp. 5W; <i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.) Reimann et Lewin; <i>Dickieia resistans</i> Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin; <i>D. subinflata</i> (Grunow ex Cleve et J. D. Möller) D. G. Mann; <i>Diploneis bombus</i> (Ehrenb.) Cleve-Euler ex Backman et Cleve-Euler; <i>D. chersonensis</i> (Grunow) Cleve; <i>D. coffaeiformis</i> (A. W. F. Schmidt) Cleve*; <i>D. crabro</i> Ehrenb.; <i>D. didyma</i> Ehrenb.; <i>D. fusca</i> (W. Greg.) Cleve; <i>D. notabilis</i> (Grev.) Cleve; <i>D. notabilis</i> var. <i>tenera</i> Proschk.-Lavr.; <i>D. rex</i> Droop; <i>D. smithii</i> (Bréb.) Cleve; <i>D. smithii</i> var. <i>pumila</i> (Grunow) Hust.; <i>D. stroemii</i> Hust.*; <i>D. suborbicularis</i> (W. Greg.) Cleve; <i>D. vacillans</i> (A. W. F. Schmidt) Cleve; <i>D. vetula</i> (A. W. F. Schmidt) Cleve*; <i>Diploneis</i> sp. 1F; <i>Diploneis</i> sp. 1VS; <i>Entomoneis gigantea</i> var. <i>sulcata</i> (O'Meara) Gusl.; <i>Eolimna</i> sp. 2O*; <i>Fallacia cassubiae</i> Witkowski; <i>F. escorialis</i> (Simonsen) Sabbe et Vyverman*; <i>F. florinae</i> (Moeller) Witkowski*; <i>F. forcipata</i> (Grev.) A. Stickle et D. G. Mann; <i>F. margino-punctata</i> Sabbe et Vyverman*; <i>F. ny</i> (Cleve) D. G. Mann*; <i>F. oculiformis</i> (Hust.) D. G. Mann*; <i>F. schaeferae</i> (Hust.) D. G. Mann*; <i>F. subforcipata</i> (Hust.) D. G. Mann; <i>Fallacia</i> sp. 1F; <i>Fallacia</i> sp. 9O; <i>Gyrosigma attenuatum</i> (Kütz.) Cleve; <i>Halamphora acutiuscula</i> (Kütz.) Levkov; <i>H. angularis</i> (W. Greg.) Levkov; <i>H. coffaeiformis</i> (C. Agardh) Levkov; <i>H. eunotia</i> (Cleve) Levkov; <i>H. tenerrima</i> (Aleem et Hust.) Levkov*; <i>H. turgida</i> (W. Greg.) Levkov; <i>Hantzschia amphioxys</i> f. <i>capitata</i> O. Müll.; <i>H. marina</i> Donkin*; <i>H. virgata</i> (Roper) Grunow*; <i>Hantzschia</i> cf. 177-1; <i>Hantzschia</i> sp. O1; <i>Hippodonta</i> sp. 2; <i>Hippodonta</i> sp. 3; <i>Hippodonta</i> sp. 6; <i>Hippodonta</i> sp. 9; <i>Hippodonta</i> sp. O1; <i>Karayevia amoena</i> (Hust.) Bukht.; <i>Lunella ghalebii</i> Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>Lyrella abruptapontica</i> Nevrova, Witkowski,

Продолжение на следующей странице...

Таксон	Виды
	Kulikovskiy & Lange-Bert.; <i>L. atlantica</i> (A. W. F. Schmidt) D. G. Mann; <i>L. barbara</i> (Heiden) D. G. Mann*; <i>L. clavata</i> (W. Greg.) D. G. Mann; <i>L. dilatata</i> (A. W. F. Schmidt) Nevrova, Witkowski, Kulikovskiy et Lange-Bert.**; <i>L. fogedii</i> Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>L. hennedyi</i> (W. Sm.) A. Stickle et D. G. Mann; <i>L. karayevae</i> Nevrova, Witkowski, Kulikovskiy et Lange-Bert.**; <i>L. lyroides</i> (Hendey) D. G. Mann; <i>L. majuscula</i> (Hust.) Witkowski*; <i>L. pontieuxini</i> Nevrova, Witkowski, Kulikovskiy et Lange-Bert.**; <i>L. pseudolyra</i> Nevrova, Witkowski, Kulikovskiy et Lange-Bert.**; <i>Mastogloia cuneata</i> (Meister) Simonsen*; <i>M. lanceolata</i> Cleve; <i>M. pumila</i> (Cleve et Möller) Cleve; <i>Navicula aleksandrae</i> Lange-Bert., Witkowski, Bogaczewicz-Adamczak et Zgrundo*; <i>N. arenaria</i> Donkin*; <i>N. bozenae</i> Lange-Bert., Witkowski, Bogaczewicz-Adamczak et Zgrundo*; <i>N. cancellata</i> Donkin; <i>Navicula</i> cf. <i>cancellata</i>; <i>N. capillata</i> Giffen*; <i>Navicula</i> cf. <i>opima</i> (Grunow) Grunow*; <i>N. cincta</i> (Ehrenb.) Ralfs; <i>N. digitoradiata</i> (W. Greg.) Ralfs; <i>N. flagellifera</i> Hust.*; <i>Navicula</i> cf. <i>flagellifera</i> Hust.; <i>N. germanopolonica</i> Lange-Bert., Witkowski, Bogaczewicz-Adamczak et Zgrundo*; <i>N. glabriuscula</i> var. <i>elipsoidales</i> Proschk.-Lavr.***; <i>N. gregaria</i> Donkin; <i>N. northumbrica</i> Donkin*; <i>N. palpebralis</i> Bréb.; <i>N. palpebralis</i> var. <i>angulosa</i> (W. Greg.) Van Heurck; <i>N. palpebralis</i> var. <i>minor</i> Grunow; <i>N. palpebralis</i> var. <i>semiterna</i> (W. Greg.) Cleve; <i>N. palpebrulum</i> Cholnoky*; <i>N. parapontica</i> Witkowski, Kulikovskiy, Nevrova et Lange-Bert.**; <i>N. perminuta</i> Grunow; <i>N. petrovii</i> Nevrova, Witkowski, Kociolek et Lange-Bert.** (syn. <i>N. scabriuscula</i> (Cleve et Grove) Mereschk.***); <i>N. phyllepta</i> Kütz.*; <i>N. phylleptosoma</i> Lange-Bert.*; <i>N. ramosissima</i> (C. Agardh) Cleve; <i>N. salinarum</i> Grunow; <i>N. salinicola</i> Hust.; <i>N. veneta</i> Kütz.; <i>N. viminoides</i> var. <i>cosmopolitana</i> Lange-Bert., Witkowski, Bogaczewicz-Adamczak et Zgrundo*; <i>Navicula</i> sp. O1; <i>Navicula</i> sp. O2; <i>Nitzschia acuminata</i> (W. Sm.) Grunow; <i>N. aequorea</i> Hust.*; <i>N. agnita</i> Hust.*; <i>N. angularis</i> var. <i>affinis</i> (Grunow) Grunow; <i>Nitzschia</i> cf. <i>coarctata</i> Grunow; <i>N. compressa</i> (J. W. Bailey) Boyer; <i>N. constricta</i> (Kütz.) Ralfs; <i>N. dissipata</i> (Kütz.) Grunow; <i>N. frequens</i> Hust.*; <i>N. frustulum</i> (Kütz.) Grunow; <i>N. hybrida</i> Grunow; <i>N. inconspicua</i> Grunow; <i>N. insignis</i> W. Greg.; <i>N. liebetruhi</i> Rabenh.; <i>N. lorenziana</i> Grunow; <i>N. miserabilis</i> Cholnoky*; <i>N. pellucida</i> Grunow; <i>N. perindistincta</i> Cholnoky*; <i>N. persuadens</i> Cholnoky*; <i>N. rorida</i> Giffen*; <i>N. sigma</i> (Kütz.) W. Sm.; <i>N. spathulata</i> Bréb.; <i>N. spathulata</i> var. <i>hyalina</i> W. Greg.; <i>N. vidovichii</i> (Grunow) Grunow; <i>Oestrupia powellii</i> (Lewis) Heiden*; <i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E. J. Cox; <i>P. hamulifer</i> (Grunow) E. J. Cox; <i>P. plicatus</i> (Donkin) E. J. Cox; <i>Parlibellus</i> sp. O2; <i>Petroneis humerosa</i> (Bréb.) A. Stickle et D. G. Mann; <i>Pinnularia clavicularis</i> (W. Greg.) Rabenh.*; <i>P. cruciformis</i> (Donkin) Cleve; <i>P. trevelyana</i> (Donkin) Rabenh.***; <i>Placoneis</i> sp. 1; <i>Plagiotropis elegans</i> (W. Sm.) Grunow; <i>P. lepidoptera</i> (W. Greg.) Kuntze; <i>P. pusilla</i> (W. Greg.) Kuntze*; <i>Planothidium delicatulum</i> (Kütz.) Round et Bukht.; <i>P. deperditum</i> (Giffen) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin*; <i>P. quarnerensis</i> (Grunow) Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin; <i>Planothidium</i> sp. 2F; <i>Pleurosigma aestuarii</i> (Bréb.) W. Sm.; <i>P. angulatum</i> (Queckett) W. Sm.; <i>Psammodictyon panduriforme</i> (W. Greg.) D. G. Mann; <i>P. panduriforme</i> var. <i>continua</i> (Grunow) P. J. M. Snoeijs*; <i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C. Agardh) Lange-Bert.; <i>Seminavis</i> sp. 1; <i>Stauronella indubitabilis</i> Lange-Bert. et Genkal; <i>Stauronella salina</i> (W. Sm.) Mereschk.; <i>Surirella fastuosa</i> (Ehrenb.) Kütz.; <i>S. pandura</i> H. Perag. et Perag.; <i>Toxonidea insignis</i> Donkin***; <i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenb.) Cleve

Примечание: * — вид, отмеченный нами ранее как новый для черноморской флоры; ** — новый для науки вид, описанный нами ранее; *** — вид, не фиксируемый в Чёрном море на протяжении 50 или 100 лет.

Note: *, species previously recorded by us as a new to the Black Sea flora; **, species previously described by us as a new to science; ***, species not registered within the last 50 or 100 years in the Black Sea.

В изученной части акватории бухты Круглая отмечены 70 видов из числа новых для флоры Bacillariophyta северной части шельфа Чёрного моря, а также 5 видов, ранее описанных нами как новые для науки. Обнаружены также 4 вида, не регистрируемых в Чёрном море в течение последних 50 [*Navicula glabriuscula* var. *elipsoidales*] и 100 лет исследований [*Navicula petrovii* (syn. *N. scabriuscula*), *Toxonidea insignis* и *Pinnularia trevelyana*]. Новыми для флоры Bacillariophyta Чёрного моря являются 5 родов: *Astartiella* Witkowski,

Lange-Bert. et Metzeltin, *Chamaepinnularia* Lange-Bert. et Krammer, *Cocconeopsis* Witkowski, Lange-Bert. et Metzeltin, *Eolimna* Lange-Bert. et Schiller и *Lunella* P. J. M. Snoeijjs, представленные видами *Astartiella bahusiensis*, *Astartiella* sp. O1, *Chamaepinnularia alexandrowiczii*, *Ch. clamans*, *Ch. margaritiana*, *Ch. truncata*, *Cocconeopsis breviata*, *C. fraudulenta*, *C. patrickae*, *Eolimna* sp. 20 и *Lunella ghalebii* [Неврова, 2022].

Представители классов Coscinodiscophyceae и Fragilariophyceae немногочисленны, и их доли составляют 7,5 и 6,8 % соответственно, в то время как вклад таксонов класса Bacillariophyceae — 85,6 %. По количеству отмеченных таксонов лидирует порядок Naviculales — 9 семейств, 22 рода, 101 вид и ВВТ. Из порядка Achnanthales выявлены 3 семейства, 7 родов, 35 видов и ВВТ; из Thalassiosiphysales — 1 семейство, 4 рода, 32 вида и ВВТ; из Bacillariales — 1 семейство, 5 родов, 33 вида и ВВТ. Наибольшее богатство видов в акватории бухты Круглая зарегистрировано у родов *Navicula* (32 вида и ВВТ), *Nitzschia* (23), *Cocconeis* (22), *Amphora* (21), *Diploneis* (17), *Lyrella* и *Fallacia* (по 11).

Несколько видов не удалось идентифицировать по имеющейся литературе. Тем не менее они включены нами в общий список для анализа на основании их морфологических отличий от известных видов. Изображения неопределённых видов, а также новых и редких таксонов приведены на рис. 2–6.

Биота бухты Круглая проанализирована в разные периоды довольно подробно в отношении таксономического богатства, структуры и пространственного распределения макрозообентоса [Болтачева и др., 2022; Миронов и др., 2003], между тем как микрофитобентос затронут исследованиями лишь фрагментарно. Разнообразие донных диатомовых водорослей в акватории бухты Омега было изучено А. И. Прошкиной-Лавренко в октябре 1950 г. [1963], Л. И. Рябушко летом 1990 г. [1994] и коллективом авторов в октябре 2016 г. [Ryabushko et al., 2022]. В монографии А. И. Прошкиной-Лавренко [1963] обнаруженные таксоны диатомовых водорослей включены в общий список, что не позволило определить, какие именно виды были найдены в данном биотопе. Л. И. Рябушко зарегистрировала здесь 42 вида и ВВТ донных диатомовых водорослей в составе эпифитона [Рябушко, 1994] и 14 видов в составе эпипсаммона [Ryabushko et al., 2022].

Следует отметить, что из указанных в работе [Ryabushko et al., 2022] 14 видов некоторые идентифицированы некорректно на уровне родов. Так, вид, определённый авторами как *Pseudostaurosira medliniae* D. M. Williams et E. A. Morales, 2010 [Ryabushko et al., 2022, Fig. 3D, E] и обозначенный как первая находка для бухты Круглая и для всего Чёрного моря, идентифицирован ошибочно, согласно [Williams, Morales, 2010]. Данный вид, как и предположили вначале авторы, принадлежит к комплексу *Planothidium delicatulum* (Kützinger) Round & Bukhtiyarova, 1996 на основании следующих признаков: форма створки со слегка ростратными концами, отсутствие шипов на краях створки, количество штрихов (18 в 10 мкм), мультисериатные ареолы в штрихах [Van de Vijver et al., 2018]. Виды из данного комплекса являются нередкими и массовыми для Чёрного моря [Гусляков и др., 1992; Неврова, 2022; Неврова, Ревков, 2003].

Вид, идентифицированный авторами как *Cocconeis pinnata* Gregory ex Greville, 1859 [Ryabushko et al., 2022, Fig. 5A, B], является *Planothidium deperditum* (Giffen) A. Witkowski, H. Lange-Bertalot & D. Metzeltin, 2000 в соответствии с формой створки, количеством штрихов (30 в 10 мкм) и мультисериатным строением ареол в штрихах. Данный вид указан ранее как новый для Чёрного моря [Неврова, 2022].

Вид, определённый как *Diplomenora cocconeiformis* (Schmidt) Blazé, 1984 [Ryabushko et al., 2022, Fig. 3A–C], не принадлежит к указанному роду по причине отсутствия у такового шва на обеих створках. Приведённое авторами изображение шовной створки (raphe valve) иллюстрирует род *Cocconeis* Ehrenberg.

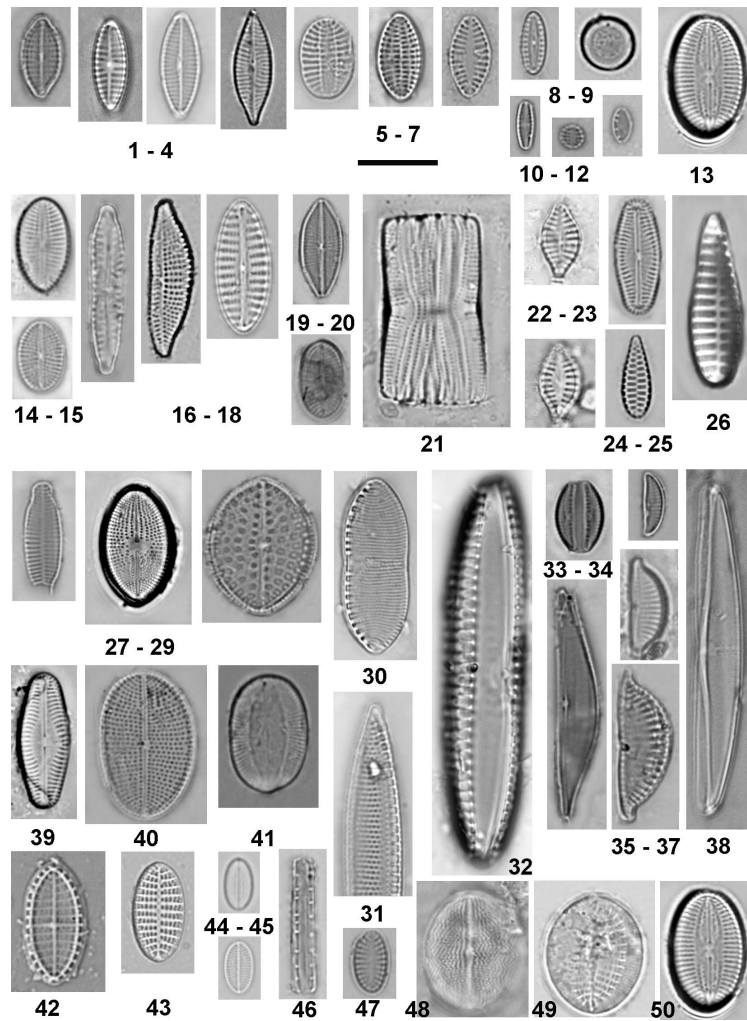


Рис. 2. Новые для флоры Чёрного моря, редкие и неидентифицированные виды бентосных диатомовых водорослей, отмеченные в бухте Омега (световой микроскоп): 1 — *Navicula viminoides* var. *cosmomarina*; 2 — *N. bozenae*; 3 — *N. aleksandrae*; 4 — *N. phylleptosoma*; 5 — *Cocconeis peltoides*; 6 — *C. discrepans*; 7 — *Planothidium deperditum*; 8 — *Biremis lucens*; 9 — *Cyclotella choctawhatcheeana*; 10 — *Chamaepinnularia margaritana*; 11 — *Opephora krumbeinii*; 12 — *Nitzschia inconspicua*; 13 — *Fallacia oculiformis*; 14 — *Diploneis* sp. 1; 15 — *Cocconeopsis breviata*; 16 — *Hippodonta* sp. 6; 17 — *Lunella ghalebii*; 18 — *Hippodonta* sp. O1; 19 — *Astartiella bahusiensis*; 20 — *Astartiella* sp. O1; 21 — *Hyalosira aberrans*; 22, 23 — *Achnantheidium glyphos* (шовная и бесшовная створки); 24 — *Chamaepinnularia clamans*; 25 — *Opephora mutabilis*; 26 — *O. pacifica*; 27 — *Karayevia amoena*; 28 — *Cocconeopsis fraudulenta*; 29 — *Cocconeis guttata*; 30 — *Nitzschia persuadens*; 31 — *Hantzschia* cf. 177-1; 32 — *Biremis ridicula*; 33 — *Amphora helenensis*; 34 — *Amphora* sp. O1; 35 — *A. exilitata*; 36 — *A. wisei*; 37 — *Halamphora turgida*; 38 — *Amphora* cf. *abludens*; 39 — *Chamaepinnularia truncata*; 40 — *Cocconeopsis patrickae*; 41 — *Cocconeis pelta*; 42, 43 — *C. pseudocostata* (шовная и бесшовная створки); 44, 45 — *Cocconeis* sp. 5W (шовная и бесшовная створки); 46 — *Cocconeis* sp. O1; 47 — *Nitzschia miserabilis*; 48, 49 — *Cocconeis* sp. O2 (шовная и бесшовная створки); 50 — *Fallacia ny*. Размерная шкала — 10 мкм

Fig. 2. Newly found for the Black Sea, rare, and non-identified species of benthic diatoms registered off the Omega Bay (a light microscope): 1, *Navicula viminoides* var. *cosmomarina*; 2, *N. bozenae*; 3, *N. aleksandrae*; 4, *N. phylleptosoma*; 5, *Cocconeis peltoides*; 6, *C. discrepans*; 7, *Planothidium deperditum*; 8, *Biremis lucens*; 9, *Cyclotella choctawhatcheeana*; 10, *Chamaepinnularia margaritana*; 11, *Opephora krumbeinii*; 12, *Nitzschia inconspicua*; 13, *Fallacia oculiformis*; 14, *Diploneis* sp. 1; 15, *Cocconeopsis breviata*; 16, *Hippodonta* sp. 6; 17, *Lunella ghalebii*; 18, *Hippodonta* sp. O1; 19, *Astartiella bahusiensis*; 20, *Astartiella* sp. O1; 21, *Hyalosira aberrans*; 22, 23, *Achnantheidium glyphos* [raphe valve (RV) and rapheless valve (RLV)]; 24, *Chamaepinnularia clamans*; 25, *Opephora mutabilis*; 26, *O. pacifica*; 27, *Karayevia amoena*; 28, *Cocconeopsis fraudulenta*; 29, *Cocconeis guttata*; 30, *Nitzschia persuadens*; 31, *Hantzschia* cf. 177-1; 32, *Biremis ridicula*; 33, *Amphora helenensis*; 34, *Amphora* sp. O1; 35, *A. exilitata*; 36, *A. wisei*; 37, *Halamphora turgida*; 38, *Amphora* cf. *abludens*; 39, *Chamaepinnularia truncata*; 40, *Cocconeopsis patrickae*; 41, *Cocconeis pelta*; 42, 43, *C. pseudocostata* (RV and RLV); 44, 45, *Cocconeis* sp. 5W (RV and RLV); 46, *Cocconeis* sp. O1; 47, *Nitzschia miserabilis*; 48, 49, *Cocconeis* sp. O2 (RV and RLV); 50, *Fallacia ny*. Scale bar is 10 µm

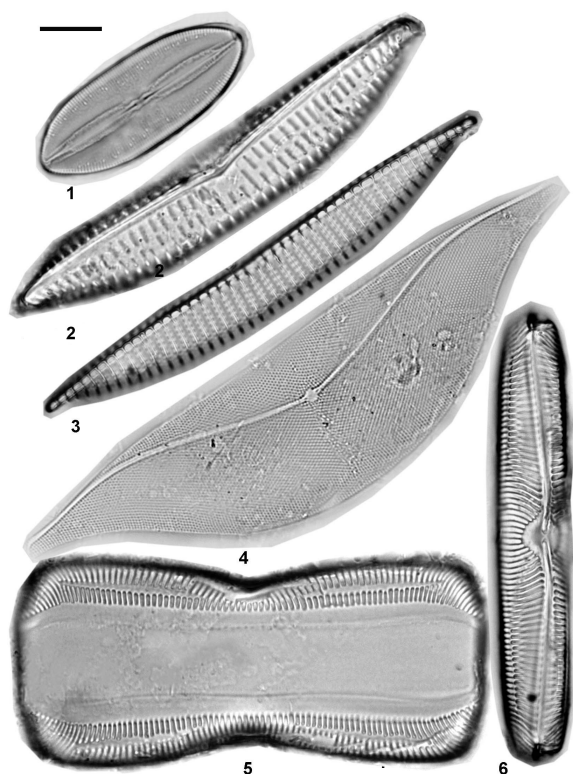


Рис. 3. Виды диатомовых водорослей, не регистрируемые в Чёрном море в течение последних 100 лет (световой микроскоп): 1 — *Navicula glabriuscula* var. *elipsoidales*; 2 — *N. petrovii* (syn. *N. scabriuscula*); 4 — *Toxonidea insignis*; 5, 6 — *Pinnularia trevelyana* (с пояса и со створки). Новый вид для флоры Чёрного моря: 3 — *Hantzschia marina*. Размерная шкала — 10 мкм

Fig. 3. Diatom species not recorded in the Black Sea within the last 100 years (a light microscope): 1, *Navicula glabriuscula* var. *elipsoidales*; 2, *N. petrovii* (syn. *N. scabriuscula*); 4, *Toxonidea insignis*; 5, 6, *Pinnularia trevelyana* (girdle and valve). Newly found species for the Black Sea: 3, *Hantzschia marina*. Scale bar is 10 μ m

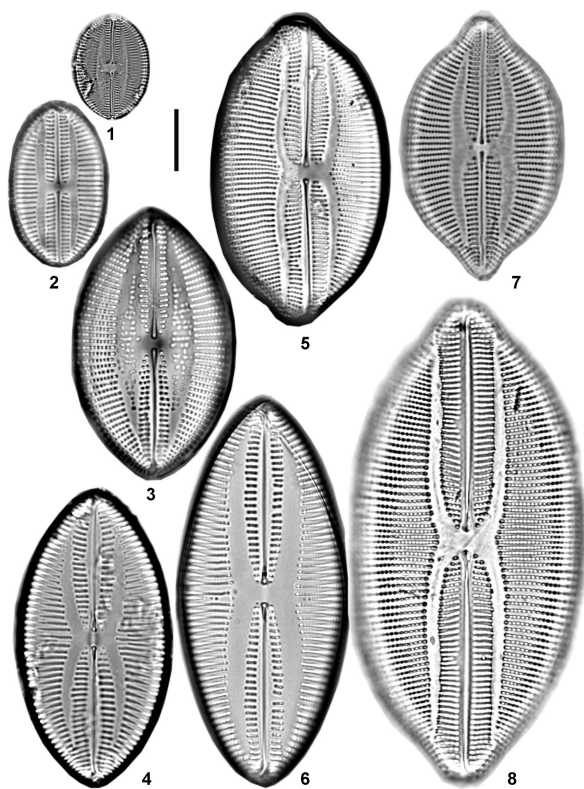


Рис. 4. Новые для науки виды диатомовых водорослей (описанные нами ранее), отмеченные в бухте Омега (световой микроскоп): 1 — *Lyrella fogedii*; 2 — *L. majuscula*; 3 — *L. abruptapontica*; 4 — *L. karayevae*; 5 — *L. dilatata*; 6 — *L. pontieuxini*; 7 — *L. barbara*; 8 — *L. pseudolyra*. Размерная шкала — 10 мкм

Fig. 4. Diatom species new for science (previously described by us) found off the Omega Bay (a light microscope): 1, *Lyrella fogedii*; 2, *L. majuscula*; 3, *L. abruptapontica*; 4, *L. karayevae*; 5, *L. dilatata*; 6, *L. pontieuxini*; 7, *L. barbara*; 8, *L. pseudolyra*. Scale bar is 10 μ m

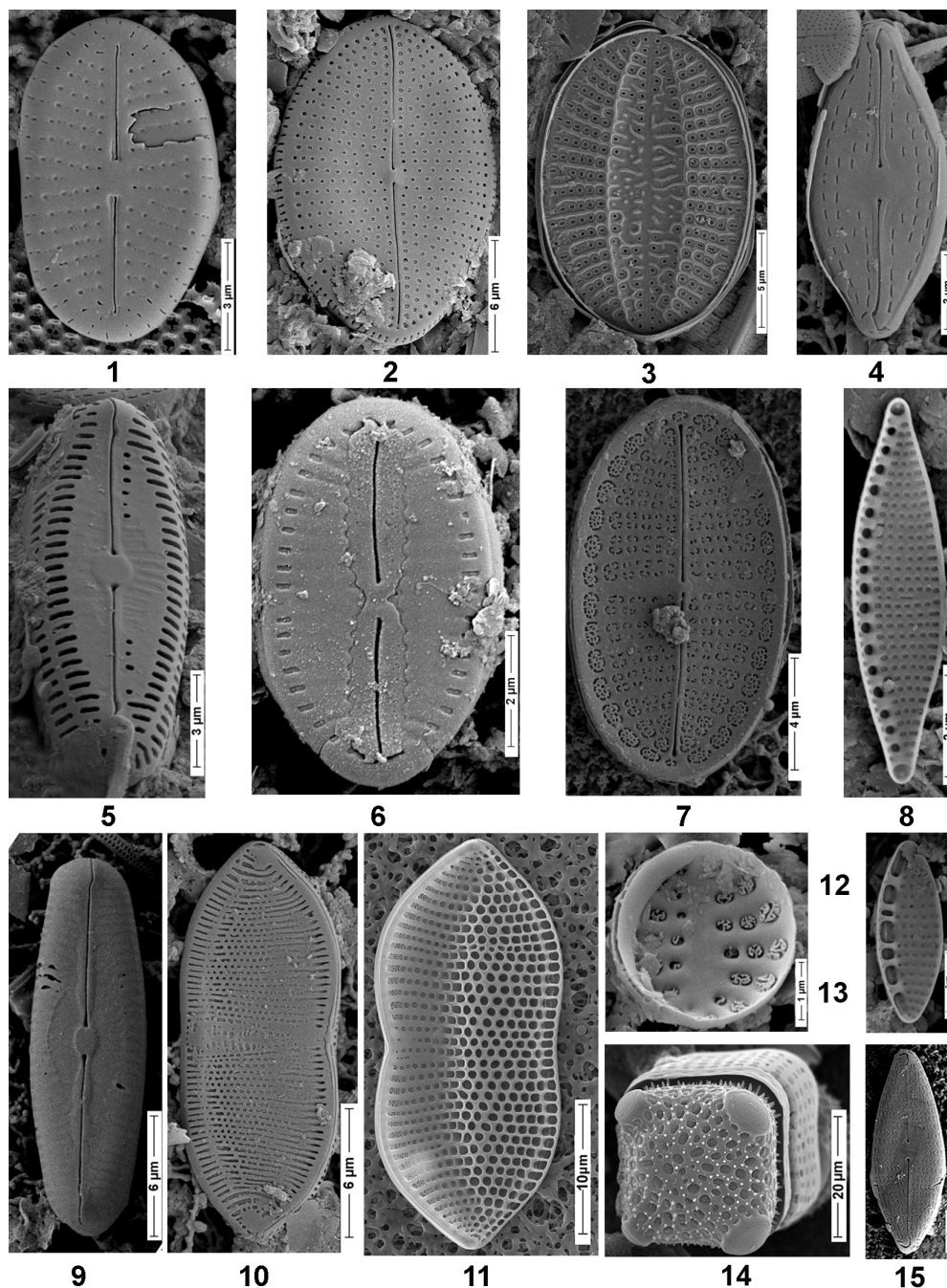


Рис. 5. Новые для флоры Чёрного моря и редкие виды диатомовых водорослей, отмеченные в бухте Омега (сканирующий электронный микроскоп): 1 — *Cocconeopsis breviata*; 2 — *Cocconeis clandestina*; 3 — *C. pelta*; 4 — *Navicula viminoides* var. *cosmomarina*; 5 — *Chamaepinnularia alexandrowiczii*; 6 — *Fallacia margino-punctata*; 7 — *Cocconeis pseudocostata*; 8 — *Nitzschia aequorea*; 9 — *Chamaepinnularia truncata*; 10 — *Nitzschia persuadens*; 11 — *Psammodictyon panduriforme* var. *continua*; 12 — *Opephora krumbeinii*; 13 — *Nitzschia inconspicua*; 14 — *Amphitetras antediluvianum*; 15 — *Navicula aleksandrae*. Размерная шкала: 1, 4, 5, 8 — 3 мкм; 2, 9, 10 — 6 мкм; 3 — 5 мкм; 6, 11 — 10 мкм; 7 — 4 мкм; 12 — 1 мкм; 13 — 2 мкм; 14 — 20 мкм; 15 — 2 мкм

Fig. 5. Newly found for the Black Sea and rare species of benthic diatoms registered off the Omega Bay (a scanning electron microscope): 1, *Cocconeopsis breviata*; 2, *Cocconeis clandestina*; 3, *C. pelta*; 4, *Navicula viminoides* var. *cosmomarina*; 5, *Chamaepinnularia alexandrowiczii*; 6, *Fallacia margino-punctata*; 7, *Cocconeis pseudocostata*; 8, *Nitzschia aequorea*; 9, *Chamaepinnularia truncata*; 10, *Nitzschia persuadens*; 11, *Psammodictyon panduriforme* var. *continua*; 12, *Opephora krumbeinii*; 13, *Nitzschia inconspicua*; 14, *Amphitetras antediluvianum*; 15, *Navicula aleksandrae*. Scale bars are 3 µm (1, 4, 5, 8); 6 µm (2, 9, 10); 5 µm (3); 10 µm (6, 11); 4 µm (7); 1 µm (12); 2 µm (13); 20 µm (14); 2 µm (15)

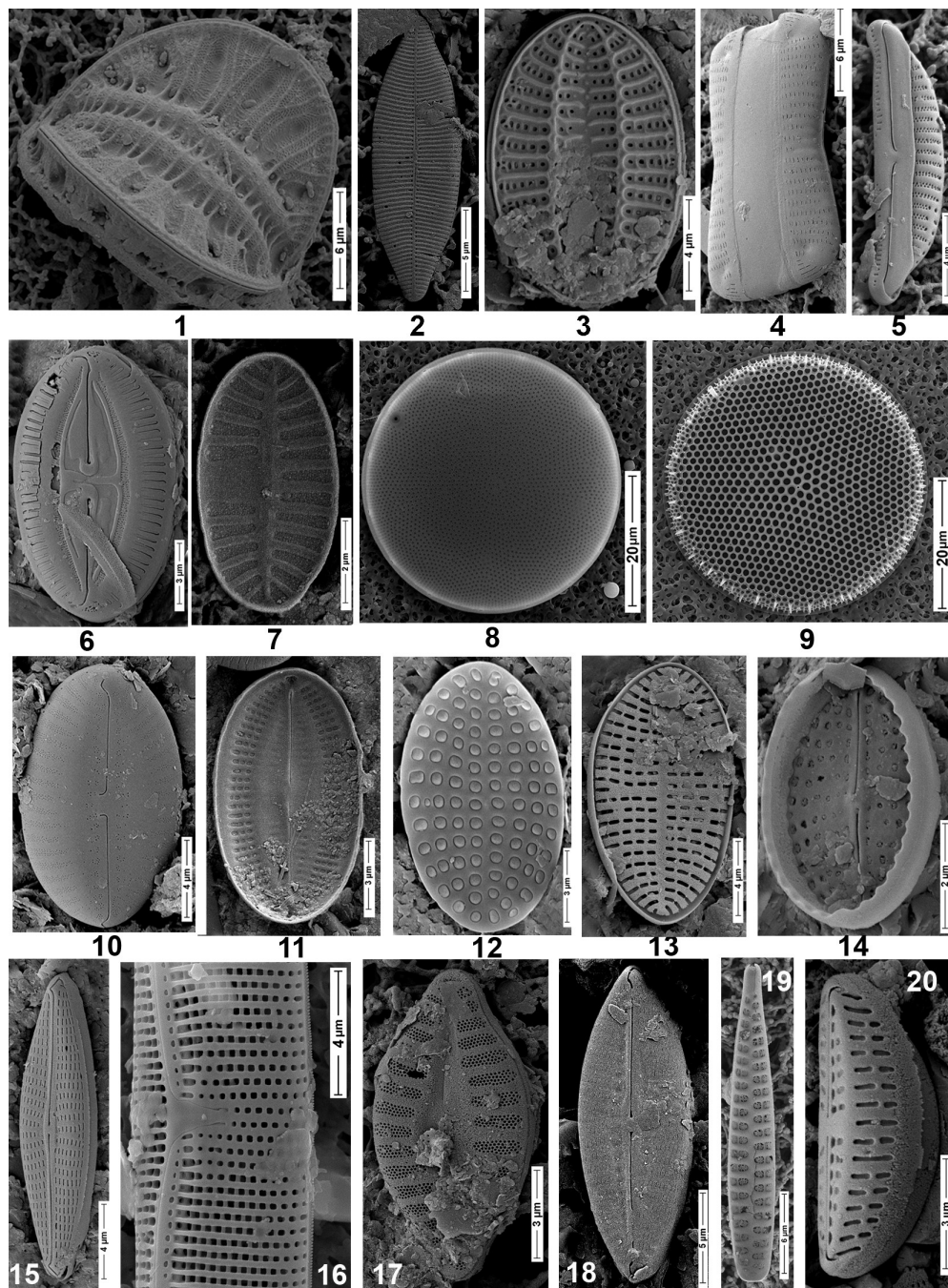


Рис. 6. Новые и редкие для флоры Чёрного моря виды диатомовых водорослей, отмеченные в бухте Омега (сканирующий электронный микроскоп): 1 — *Campylodiscus* sp. 1; 2 — *Astartiella bahusiensis*; 3 — *Cocconeis peltoides*; 4 — *Hippodonta* sp. 6; 5 — *Halampfora tenerrima*; 6 — *Fallacia florinae*; 7 — *Planothidium deperditum*; 8 — *Actinocyclus subtilis*; 9 — *Thalassiosira eccentrica*; 10 — *Diploneis coffaeiformis*; 11 — *Fallacia oculiformis* (створка изнутри); 12 — *Cocconeis guttata*; 13 — *Cocconeis crisper*; 14 — *C. diminuta*; 15 — *Navicula phylleptosoma*; 16 — *Nitzschia vidovichii* (центральный узелок); 17 — *Planothidium delicatulum*; 18 — *Navicula palpebrulum*; 19 — *Opephora mutabilis*; 20 — *Amphora helenensis*. Размерная шкала: 1, 4, 19 — 6 мкм; 2, 18 — 5 мкм; 3, 5, 10, 13, 15, 16 — 4 мкм; 6, 11, 12, 17, 20 — 3 мкм; 7, 14 — 2 мкм; 8, 9 — 20 мкм

Fig. 6. Newly found for the Black Sea and rare species of benthic diatoms recorded off the Omega Bay (a scanning electron microscope): 1, *Campylodiscus* sp. 1; 2, *Astartiella bahusiensis*; 3, *Cocconeis peltoides*; 4, *Hippodonta* sp. 6; 5, *Halampfora tenerrima*; 6, *Fallacia florinae*; 7, *Planothidium deperditum*; 8, *Actinocyclus subtilis*; 9, *Thalassiosira eccentrica*; 10, *Diploneis coffaeiformis*; 11, *Fallacia oculiformis* (internal); 12, *Cocconeis guttata*; 13, *Cocconeis crisper*; 14, *C. diminuta*; 15, *Navicula phylleptosoma*; 16, *Nitzschia vidovichii* (central nodule); 17, *Planothidium delicatulum*; 18, *Navicula palpebrulum*; 19, *Opephora mutabilis*; 20, *Amphora helenensis*. Scale bars are 6 µm (1, 4, 19); 5 µm (2, 18); 4 µm (3, 5, 10, 13, 15, 16); 3 µm (6, 11, 12, 17, 20); 2 µm (7, 14); 20 µm (8, 9)

Вид, идентифицированный как *Coscinodiscus concinnus* W. Smith, 1856 [Ryabushko et al., 2022, Fig. 1A], является *Actinocyclus subtilis* (W. Greg.) Ralfs, 1861 вследствие наличия псевдонодулюса, многочисленных лабиатных выростов и определённого количества штрихов (17–18 в 10 мкм) на створке [Andersen et al., 1986]. Добавим, что *C. concinnus*, указанный авторами как новый для черноморской флоры, уже был неоднократно отмечен как редкий вид в различных районах Чёрного моря [Гусляков, Неврова, 1987; Неврова, 2013b; Прошкина-Лавренко, 1963; Руководство, 2015; Bodeanu, 1987].

Вид, отнесённый к *Anorthoneis dulcis* M. K. Hein, 1991 [Ryabushko et al., 2022, Fig. 3F–H] и указанный как новая находка для Чёрного моря, по форме створки и гиалинового пятна на её внутренней части, расположению и количеству штрихов, форме терминальных и центральных окончаний шва является *Cocconeopsis pullus* (Hustedt) Witkowski, Lange-Bertalot et Metzeltin, 2000. Это новый род и новый вид для Чёрного моря, обнаруженный ранее нами впервые для него в двух местообитаниях (мыс Фиолент и бухта Двужкорная) [Неврова, 2016; Nevrova, Petrov, 2019a].

В отношении приоритета находки для Чёрного моря авторами также допущена ошибка: вид *Cocconeis guttata* Hustedt et Aleem, 1951 [Ryabushko et al., 2022, Fig. 4H–K], указанный как новый для флоры, уже был обнаружен ранее как минимум в семи районах Чёрного моря (акватории эстуария реки Бельбек, филофорное поле Зернова, Балаклавская бухта, побережье Карадага, мыс Фиолент, бухта Двужкорная и бухта Омега), что отмечено в работах [Неврова, 2013a, 2014a, b, 2015, 2016; Nevrova, Petrov, 2019a].

Сравнительная оценка общего флористического богатства бентосных Bacillariophyta бухты Омега и исследованных ранее районов побережья Крыма (на основе коэффициента Брея — Кёртиса) выявила наибольшее сходство видового состава между биотопами бухта Омега — бухта Двужкорная (53,3) и бухта Омега — бухта Ласпи (45,3), которые характеризуются наименьшим уровнем техногенного загрязнения (табл. 2). Максимальных значений коэффициент достигает между бухтами, наиболее загрязнёнными солями тяжёлых металлов и нефтяными углеводородами; это Севастопольская бухта — бухта Карантинная (64,6) и Севастопольская бухта — Балаклавская бухта (57,8).

Таблица 2. Сходство видового состава таксоценов диатомовых водорослей бентоса исследованных районов (на основе коэффициента сходства Брея — Кёртиса)

Table 2. Similarity in species composition of benthic diatoms in the study areas (based on Bray–Curtis dissimilarity)

Районы побережья Крыма и видовое богатство (ВБТ)	Бухта Омега	Бухта Ласпи	Бухта Двужкорная	Бухта Карантинная	Севастопольская бухта
Бухта Омега (264)	*	*	*	*	*
Бухта Ласпи (217)	45,3	*	*	*	*
Бухта Двужкорная (304)	53,2	44,9	*	*	*
Бухта Карантинная (136)	38,9	64,6	36,8	*	*
Севастопольская бухта (186)	39,9	64,1	36,3	64,6	*
Балаклавская бухта (191)	43,0	56,4	42,4	53,8	57,8

Далее мы проанализировали таксономическое разнообразие и структуру таксоценов Bacillariophyta бухты Омега в сравнении с таковыми ранее изученных биотопов крымского побережья и рассчитали среднее значение TaxDI (Δ^+) и его вариабельности (Λ^+), а также его отклонение от среднеожидаемого уровня для всего Чёрного моря (рис. 7). Методика подробно описана ранее [Неврова, 2022].

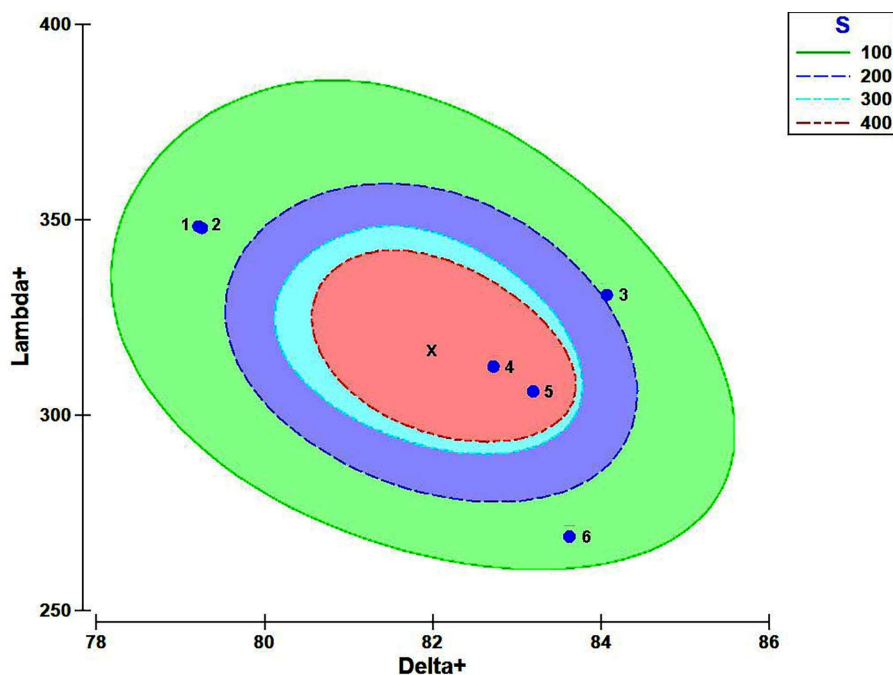


Рис. 7. Сравнительная оценка с помощью TaxDI — AvTD (Δ^+) и VarTD (Λ^+) — таксономического разнообразия диатомовых водорослей бентоса на полигонах побережья Крыма с различной степенью антропогенного влияния: 1 — бухта Омега; 2 — бухта Двукорная; 3 — Балаклавская бухта; 4 — бухта Ласпи; 5 — бухта Карантинная; 6 — Севастопольская бухта; x — среднеожидаемое значение, рассчитанное для диатомовой флоры всего Чёрного моря. Эллипс 95%-ной вероятности

Fig. 7. Comparative assessment using TaxDI – AvTD (Δ^+) and VarTD (Λ^+) – of taxonomical diversity of benthic diatoms in various biotopes with different anthropogenic load off the Crimean coast: 1, the Omega Bay; 2, the Dvuyakornaya Bay; 3, the Balaklava Bay; 4, the Laspi Bay; 5, the Karantinnaya Bay; 6, the Sevastopol Bay; x, average expected level for the Black Sea diatom flora. A 95% confidence ellipse

Напомним, что для оценки разнообразия таксоцена диатомовых водорослей на полигонах используют индексы таксономической отличительности — средний индекс таксономической отличительности AvTD (Δ^+) и индекс варибельности VarTD (Λ^+) [Clarke, Gorley, 2006; Clarke, Warwick, 2001; Warwick, Clarke, 1998, 2001]. Δ^+ обозначает среднюю длину расстояния между каждой парой видов, случайно выбранных из списка видов полигона, до филогенетически общего узла на иерархическом древе таксоцена. Данный показатель характеризует вертикальную таксономическую выровненность таксоцена рассматриваемого полигона. Λ^+ описывает варибельность попарных дистанций (ω_{ij}) между парами видов i и j по отношению к их средней величине Δ^+ . Значение Λ^+ показывает представленность таксонов на возрастающих уровнях иерархии и отражает горизонтальную асимметричность таксономического древа [Warwick, Clarke, 1998, 2001]. Алгоритм расчётов позволяет достоверно оценить различия таксономического разнообразия и выявить отклонение структуры диатомовых водорослей в таксоценах сравниваемых полигонов от среднеожидаемого значения для флоры Bacillariophyta всего Чёрного моря [Неврова, 2022]. Несмотря на удобство применения данного метода, оценку таксономического разнообразия морского микрофитобентоса ранее не проводили (есть лишь несколько работ по пресноводной микрофлоре [Izsak et al., 2002; Leira et al., 2009]); в отношении морских бентосных Bacillariophyta TaxDI используется впервые [Неврова, 2022].

Расположение в правом нижнем углу эллипса точек TaxDI, соответствующих наиболее техногенно загрязнённым биотопам бухт Карантинная, Балаклавская и Севастопольская, обусловлено максимальными значениями AvTD и невысокой варибельностью VarTD, что свидетельствует об упрощении таксономического древа и о снижении разнообразия таксоценов диатомовых

водорослей [Warwick et al., 2002]. Показатели индекса для данных таксоценов на графике находятся существенно выше среднего ожидаемого значения для флоры всего Чёрного моря ($\Delta^+ = 82,09$; $\Lambda^+ = 316,83$).

В структуре таксоценов диатомовых водорослей в сильно загрязнённых бухтах отмечены невысокое видовое богатство и исчезновение низкорезистентных к техногенным поллютантам таксонов, что понижает видовую насыщенность ветвей на иерархическом древе и при этом вызывает увеличение таксономических дистанций при расчёте индекса. По сравнению со среднее ожидаемым уровнем TaxDI, более низкая степень вертикальной иерархической выровненности структуры таксоцена характерна для сообществ, подверженных сильному антропогенному загрязнению. Подобные изменения структуры сообществ отмечены исследователями неоднократно [Ellingsen et al., 2005; Gottschalk, Kahlert, 2012; Heino et al., 2007; Masouras et al., 2021; Petrov et al., 2010; Stenger-Kovács et al., 2016].

Наименьшие значения AvTD и наибольшая вариабельность VarTD, рассчитанные для чистых акваторий бухт Омега и Двужорная, обусловили расположение данных точек индексов TaxDI в левом верхнем углу вероятностного эллипса. Значения этих индексов находятся ниже среднего ожидаемого уровня для черноморской диатомовой флоры. Подобная структура таксоценов является отражением высокого видового богатства и большого количества таксономических ветвей различного видового насыщения, которые «сходятся в узлы» на разных иерархических уровнях древа. В его архитектонике преобладают поливидовые ветви, замыкающиеся на уровне рода, но имеются также моно- и олиговидовые ветви, агрегирующиеся на высоких уровнях — семейства и даже порядка. Низкие значения Δ^+ и высокие Λ^+ указывают на вертикальную выровненность и высокую вариабельность таксономических дистанций между ветвями. Ранее сходная картина была описана для чистых либо слабо нарушенных биотопов [Keck et al., 2016; Nevrova, Petrov, 2019b; Rimet, Bouchez, 2012].

Для таксоцена диатомовых водорослей чистого полигона бухты Ласпи показатели AvTD и VarTD находятся вблизи среднего ожидаемого уровня для всего Чёрного моря, в то время как для загрязнённой акватории Балаклавской бухты значение AvTD близко к таковому для Севастопольской бухты, а вариабельность существенно выше. Отметим, что значения всех рассчитанных показателей находятся в пределах 95%-ного доверительного контура.

Применение TaxDI для оценки таксономического разнообразия позволяет достичь более глубокого понимания его аспектов. В большей степени различия структуры иерархического древа Bacillariophyta сравниваемых полигонов обусловлены реакцией таксоценов донных диатомовых водорослей на сочетанные факторы и на различную степень антропогенного пресса сопоставляемых акваторий. Максимальное сходство видового богатства и структуры таксоценов Bacillariophyta выявлено как между условно чистыми биотопами, так и между наиболее сильно загрязнёнными и проявляется вне зависимости от географической удалённости этих мест, неоднородности донных субстратов и различий в гидрологических условиях.

Выводы:

1. В таксоцене донных диатомовых водорослей бухты Круглая (Омега) выявлено 264 вида и внутривидовых таксона, представленных 256 видами, 73 родами, 35 семействами, 21 порядком и 3 классами. Доминируют представители класса Bacillariophyceae. В их числе 70 видов и 5 родов, ранее отмеченных нами как новые для флоры Bacillariophyta северного шельфа Чёрного моря, а также 5 видов диатомовых водорослей, описанных нами ранее как новые для науки.
2. Выявлено сходство видового состава как между биотопами с наименьшим уровнем техногенного воздействия (бухта Омега — бухта Двужорная и бухта Омега — бухта Ласпи), так и между акваториями, сильно загрязнёнными солями тяжёлых металлов и нефтяными

углеводородами (Севастопольская бухта — бухта Карантинная и Севастопольская бухта — Балаклавская бухта), независимо от дистанционированности и различий в гидрологических и гидрофизических условиях.

3. Таксоценам донных диатомовых водорослей на сильно загрязнённых полигонах свойственны невысокое видовое богатство и преобладание моно- и олиговидовых ветвей вследствие элиминации низкорезистентных к поллютантам таксонов. Значения AvTD превышают среднеожидаемый уровень для черноморской флоры Bacillariophyta.
4. В условно чистых акваториях таксоцены Bacillariophyta характеризуются высоким видовым богатством, большим количеством поливидовых ветвей и наличием моно- и олиговидовых ветвей, агрегирующихся на высоких уровнях иерархического дерева. Значения AvTD ниже, чем среднеожидаемый уровень для флоры диатомовых водорослей бентоса Чёрного моря.

Работа выполнена в отделе экологии бентоса в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Биоразнообразие как основа устойчивого функционирования морских экосистем, критерии и научные принципы его сохранения» (№ гос. регистрации 124022400148-4).

Благодарность. Выражаю глубокую признательность к. б. н. А. Н. Петрову (ФИЦ ИнБЮМ) за помощь при расчётах TaxDI, проф. А. Витковски (Щецинский университет, Польша) — за предоставленное оборудование для микрофотосъёмок на световом микроскопе и консультации при идентификации, проф. Х. Ланге-Берталот и инж. М. Руппель (Франкфуртский университет имени И.-В. Гёте, Германия) — за микрофотосъёмки на сканирующем электронном микроскопе и консультации по таксономии, начальнику лаборатории микроскопии В. Н. Лишаеву (ФИЦ ИнБЮМ) — за помощь при микрофотографировании на СЭМ Hitachi SU3500.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Агаркова-Лях И. В., Лях А. М. Состояние берегов и экзогенные геологические процессы между м. Константиновский и м. Виноградный на юго-западном побережье Крыма // *Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология*. 2019. Т. 5 (71), № 2. С. 118–133. [Agarkova-Lyakh I. V., Lyakh A. M. State of the coasts and exogenous geological processes between Cape Konstantinovskiy and Cape Vinogradniy on the south-western coast of Crimea. *Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*, 2019, vol. 5 (71), no. 2, pp. 118–133. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/jaycko>
2. Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив : Pilies Studio, 2006. 498 с. [Barinova S. S., Medvedeva L. A., Anisimova O. V. *Bioraznoobrazie vodoroslei-indikatorov okruzhayushchei sredy*. Tel Aviv : Pilies Studio, 2006, 498 p. (in Russ.)]
3. Болтачева Н. А., Ревков Н. К., Бондаренко Л. В., Макаров М. В., Надольный А. А. Донная фауна бухты Круглой (Чёрное море, Крым). Сообщение II. Таксономический состав и количественное развитие макрозообентоса рыхлых грунтов // *Труды Карадагской научной станции имени Т. И. Вяземского – природного заповедника РАН*. 2022. Т. 7, № 2 (22). С. 3–22. [Boltachova N. A., Revkov N. K., Bondarenko L. V., Makarov M. V., Nadolny A. A. Benthic fauna of the Kruglaya Bay (Black Sea, Crimea). Part II: Taxonomic composition and quantitative characteristics of macrozoobenthos in the soft-bottom biotope. *Trudy Karadagskoi nauchnoi stantsii imeni T. I. Vyazemskogo – prirodnogo zapovednika RAN*, 2022, vol. 7, no. 2 (22), pp. 3–22. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/qnkkey>
4. Гусляков Н. Е., Закордонец О. А., Герасимюк В. П. *Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Чёрного моря и прилегающих водоёмов*. Киев : Наукова думка, 1992. 115 с. [Guslyakov N. E., Zakordonets O. A., Gerasimyuk V. P. *Atlas diatomovykh vodoroslei bentosa severo-zapadnoi chasti Chernogo morya i prilegayushchikh vodoemov*. Kyiv : Naukova dumka, 1992, 115 p. (in Russ.)]
5. Гусляков Н. Е., Неврова Е. Л. *Состав диатомовых водорослей на твёрдых субстратах*

- в районе Севастопольской бухты / Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского АН УССР. Севастополь, 1987. 14 с. Деп. в ВИНТИ 29.04.87, № 3019-B87. [Guslyakov N. E., Nevrova E. L. *Sostav diatomovykh vodoroslei na tverdykh substratakh v raione Sevastopol'skoi bukhty* / Institut biologii yuzhnykh morei im. A. O. Kovalevskogo AN USSR. Sevastopol, 1987, 14 p. Dep. v VINITI 29.04.87, No. 3019-V87. (in Russ.)]
6. Зенкович В. П. *Морфология и динамика советских берегов Чёрного моря. Т. 2. Северо-западная часть*. Москва : АН СССР, 1960. 216 с. [Zenkovich V. P. *Morfologiya i dinamika sovetskikh beregov Chernogo morya*. Vol. 2. *Severozapadnaya chast'*. Moscow : AN SSSR, 1960, 216 p. (in Russ.)]
 7. Игнатов Е. И., Орлова М. С., Санин А. Ю. *Береговые морфосистемы Крыма*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2014. 266 с. [Ignatov E. I., Orlova M. S., Sanin A. Yu. *Beregovye morfosistemy Kryma*. Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2014, 266 p. (in Russ.)]
 8. Миронов О. Г., Кирюхина Л. Н., Алёмов С. В. *Санитарно-биологические аспекты экологии севастопольских бухт в XX веке* / НАН Украины, Институт биологии южных морей. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003. 185 с. [Mironov O. G., Kirjukhina L. N., Alyomov S. V. *Sanitary-Biological Aspects of the Sevastopol Bays Ecology in XX Century* / NAS of Ukraine, the Institute of Biology of Southern Seas. Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika, 2003, 185 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1466>
 9. Неврова Е. Л. Донные диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в районе филофорного поля Зернова (северо-западная часть Чёрного моря): таксономическое разнообразие и структура таксоцены // *Морской экологический журнал*. 2014а. Т. 13, № 3. С. 47–58. [Nevrova E. L. Benthic diatoms (Bacillariophyta) at Zernov's *Phyllophora* field (northern-western part of the Black Sea): Taxonomic diversity and structure of taxocene. *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2014a, vol. 3, no. 13, pp. 47–58. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1370>
 10. Неврова Е. Л. Оценка разнообразия диатомовых бентоса (Bacillariophyta) у побережья Карадага (Чёрное море, Крым) // *100 лет Карадагской научной станции имени Т. И. Вяземского : сборник научных трудов* / ред. А. В. Гаевская, А. Л. Морозова. Симферополь : Н.Орианда, 2015. С. 462–492. [Nevrova E. L. Evaluation of benthic diatoms diversity (Bacillariophyta) near Karadag shore. In: *100 Years of the T. I. Vyazemsky Karadag Scientific Station : issue of scientific papers* / A. V. Gaevskaya, A. L. Morozova (Eds). Simferopol : N.Orianda, 2015, pp. 462–492. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/545>
 11. Неврова Е. Л. Состав и структура таксоцены бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) у мыса Фиолент (Крым, Чёрное море) // *Биология моря*. 2016. Т. 42, № 5. С. 334–342. [Nevrova E. L. The composition and structure of the benthic diatom taxocene (Bacillariophyta) near Cape Fiolent (the Crimea, the Black Sea). *Biologiya morya*, 2016, vol. 42, no. 5, pp. 334–342. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/wwwgtn>
 12. Неврова Е. Л. Структура и таксономическое разнообразие донных диатомовых в приустьевых зонах рек Бельбек и Чёрная (Юго-Западный Крым, Украина) // *Альгология*. 2013а. Т. 23, № 4. С. 471–492. [Nevrova E. L. Structure and taxonomical diversity of benthic diatom at estuarines of rivers Belbek and Chernaya (South-West Crimea, Ukraine). *Al'gologiya*, 2013a, vol. 23, no. 4, pp. 471–492. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/zqfoil>
 13. Неврова Е. Л. Таксономическое разнообразие и структура таксоцены бентосных диатомовых (Bacillariophyta) в Севастопольской бухте (Чёрное море) // *Морской экологический журнал*. 2013б. Т. 12, № 3. С. 55–67. [Nevrova E. L. Taxonomic diversity and structure of benthic diatom taxocene (Bacillariophyta) at Sevastopol Bay (the Black Sea). *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2013b, vol. 12, no. 3, pp. 55–67. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1296>
 14. Неврова Е. Л. Эколого-таксономическая оценка донных диатомовых в Балаклавской бухте (Юго-Западный Крым, Чёрное море) // *Альгология*. 2014б. Т. 24, № 1. С. 47–66. [Nevrova E. L. Taxonomic diversity and environmental assessment of benthic diatoms at Balaklava Bay (South-Western Crimea, the Black Sea,

- Ukraine). *Al'gologiya*, 2014b, vol. 24, no. 1, pp. 47–66. (in Russ.)). <https://elibrary.ru/zqf0ld>
15. Неврова Е. Л., Ревков Н. К. Видовой состав таксоцены бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) бухты Ласпи (Чёрное море, Украина) // *Альгология*. 2003. Т. 13, № 3. С. 269–282. [Nevrova E. L., Revkov N. K. Species composition of taxocene of benthic diatoms (Bacillariophyta) of Laspi Bay (the Black Sea, Ukraine). *Al'gologiya*, 2003, vol. 13, no. 3, pp. 269–282. (in Russ.)). <https://elibrary.ru/zqf0hr>
 16. Неврова Е. Л. *Разнообразие и структура таксоценов бентосных диатомовых водорослей (Bacillariophyta) Чёрного моря* / ред. А. В. Гаевская ; Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН. Севастополь : ФИЦ ИнБЮМ, 2022. 329 с. [Nevrova E. L. *Diversity and Structure of Benthic Diatom Taxocenes (Bacillariophyta) of the Black Sea* / A. V. Gaevskaya (Ed.) ; A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS. Sevastopol : IBSS, 2022, 329 p. (in Russ.)). <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/12192>
 17. Павлова Е. В., Мурина В. В., Куфтаркова Е. А. Гидрохимические и биологические исследования в бухте Омега (Чёрное море, севастопольский шельф) // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное исследование ресурсов шельфа : сборник научных трудов / НАН Украины ; Морской гидрофизический институт. Севастополь : [ЭКОСИ-Гидрофизика], 2001. Вып. 2. С. 159–176. [Pavlova E. V., Murina V. V., Kuftarkova E. A. Chemical and biological studies in the Omega Bay (the Black Sea, Sevastopol). In: *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe issledovanie resursov shel'fa : sbornik nauchnykh trudov / NAN Ukrainy ; Morskoj gidrofizicheskii institut. Sevastopol : [EKOSI-Gidrofizika], 2001, iss. 2, pp. 159–176. (in Russ.)). <https://elibrary.ru/ebesuv>**
 18. Петров А. Н., Неврова Е. Л. Сравнительный анализ структуры таксоцены донных диатомовых (Bacillariophyta) в районах с различным уровнем техногенного загрязнения (Чёрное море, Крым) // *Морской экологический журнал*. 2004. Т. 3, № 2. С. 72–83. [Petrov A. N., Nevrova E. L. Comparative analysis of taxocene structures of benthic diatoms (Bacillariophyta) in regions with different level of technogenic pollution (the Black Sea, Crimea). *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2004, vol. 3, no. 2, pp. 72–83. (in Russ.)). <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/748>
 19. Петров А. Н., Неврова Е. Л., Малахова Л. В. Многомерный анализ распределения бентосных диатомовых (Bacillariophyta) в поле градиентов абиотических факторов в Севастопольской бухте (Чёрное море, Крым) // *Морской экологический журнал*. 2005. Т. 4, № 3. С. 65–77. [Petrov A. N., Nevrova E. L., Malakhova L. V. Multivariate analysis of benthic diatoms distribution across the multidimensional space of the environmental factors gradient in Sevastopol Bay (the Black Sea, Crimea). *Morskoj ekologicheskij zhurnal*, 2005, vol. 4, no. 3, pp. 65–77. (in Russ.)). <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/812>
 20. Прошкина-Лавренко А. И. *Диатомовые водоросли бентоса Чёрного моря*. Москва : Изд-во АН СССР, 1963. 243 с. [Proshkina-Lavrenko A. I. *Diatomovye vodorosli bentosa Chernogo morya*. Moscow : Izd-vo AN SSSR, 1963, 243 p. (in Russ.)). <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/12747>
 21. *Руководство по изучению морского микрофитобентоса и его применению для контроля качества среды* / Е. Л. Неврова, А. А. Снигирева, А. Н. Петров, Г. В. Ковалева ; ред. А. В. Гаевская. Севастополь ; Симферополь : Н.Орианда, 2015. 176 с. [Guidelines for Quality Control of the Black Sea. Microphytobenthos / E. L. Nevrova, A. A. Snigireva, A. N. Petrov, G. V. Kovaleva ; A. V. Gaevskaya (Ed.). Sevastopol ; Simferopol : N.Orianda, 2015, 176 p. (in Russ.)). <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/1395>
 22. Рябушко Л. И. Диатомовые водоросли обрастаний донной растительности Чёрного моря у мыса Омега // *Альгология*. 1994. Т. 4, № 1. С. 62–71. [Ryabushko L. I. Fouling diatoms of the benthic plants of the Black Sea by Cape Omega. *Al'gologiya*, 1994, vol. 4, no. 1, pp. 62–71. (in Russ.)). <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/9934>
 23. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway / M. D. Guiry, G. M. Guiry (Eds) : [site], 2024. URL: <http://www.algaebase.org> [accessed: 10.07.2024].

24. Andersen R. A., Medlin L. K., Crawford R. M. An investigation of the cell wall components of *Actinocyclus subtilis* (Bacillariophyceae). *Journal of Phycology*, 1986, vol. 22, iss. 4, pp. 466–479. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.1986.tb02490.x>
25. Blanco S., Cejudo-Figueiras C., Tudesque L., Bécares E., Hoffmann L., Ector L. Are diatom diversity indices reliable monitoring metrics? *Hydrobiologia*, 2012, vol. 695, iss. 1, pp. 199–206. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1113-1>
26. Bodeanu N. Structure et dynamique de l'algoflore unicellulaire dans les eaux du littoral Roumain de la mer Noire. *Cercetari Marine "Recherches Marines"*, 1987–1988, no. 20/21, pp. 19–251.
27. Borja A., Elliott M., Andersen J. H., Cardoso A. C., Carstensen J., Ferreira J. G., Heiskanen A.-S., Marques J. C., Neto J. M., Teixeira H., Uusitalo L., Uyarra M. C., Zampoukas N. Good Environmental Status of marine ecosystems: What is it and how do we know when we have attained it? *Marine Pollution Bulletin*, 2013, vol. 76, iss. 1–2, pp. 16–27. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.08.042>
28. Catalogue of Diatom Names : database / E. Fourtanier, J. P. Kociolek (Comps). In: *California Academy of Sciences* : [site]. San Francisco, CA, 2011. URL: <https://researcharchive.calacademy.org/research/diatoms/names/index.asp> [accessed: 10.07.2024].
29. Clarke K. R., Gorley R. N. *PRIMER v6: User Manual. Tutorial*. Plymouth : PRIMER-E, 2006, 190 p.
30. Clarke K. R., Warwick R. M. *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2nd edition. Plymouth : PRIMER-E Ltd., 2001, 176 p.
31. Ellingsen K. E., Clarke K. R., Somerfield P. J., Warwick R. M. Taxonomic distinctness as a measure of diversity applied over a large scale: The benthos of the Norwegian continental shelf. *Journal of Animal Ecology*, 2005, vol. 74, iss. 6, pp. 1069–1079. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.01004.x>
32. *Free Maps. D-maps.com* : [site], 2024. URL: <https://d-maps.com/m/mediterranean/mernoire/mernoire03.pdf> [accessed: 10.07.2024].
33. Gottschalk S., Kahlert M. Shifts in taxonomical and guild composition of littoral diatom assemblages along environmental gradients. *Hydrobiologia*, 2012, vol. 694, iss. 1, pp. 41–56. <https://doi.org/10.1007/s10750-012-1128-7>
34. Heino J., Mykrä H., Hämäläinen H., Aroviita J., Muotka T. Responses of taxonomic distinctness and species diversity indices to anthropogenic impacts and natural environmental gradients in stream macroinvertebrates. *Freshwater Biology*, 2007, vol. 52, iss. 9, pp. 1846–1861. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2007.01801.x>
35. *ImageJ (Image Processing and Analysis in Java)* : [site], 2025. URL: <https://imagej.net/ij/> [accessed: 05.03.2025].
36. *International Plant Names Index (IPNI)* / Royal Botanic Gardens, Kew : [site], 2024. URL: <https://www.ipni.org/> [accessed: 10.07.2024].
37. Izsak C., Price A. R. G., Hardy J. T., Basson P. W. Biodiversity of periphyton (diatoms) and echinoderms around a refinery effluent, and possible associations with stability. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 2002, vol. 5, iss. 1, pp. 61–70. <https://doi.org/10.1080/14634980260199963>
38. Keck F., Rimet F., Franc A. Phylogenetic signal in diatom ecology: Perspectives for aquatic ecosystems biomonitoring. *Ecological Applications*, 2016, vol. 26, iss. 3, pp. 861–872. <https://doi.org/10.1890/14-1966>
39. Leira M., Chen G., Dalton C., Irvine K., Taylor D. Patterns in freshwater diatom taxonomic distinctness along a eutrophication gradient. *Freshwater Biology*, 2009, vol. 54, iss. 1, pp. 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2008.02086.x>
40. Levkov Z. *Amphora sensu lato*. Ruggell : A. R. G. Gantner Verlag K. G., 2009, 916 p. (Diatoms of Europe : Diatoms of the European inland waters and comparable habitats / H. Lange-Bertalot (Ed.) ; vol. 5).
41. Masouras A., Karaouzas I., Dimitriou E., Tsirtsis G., Smeti E. Benthic diatoms in river biomonitoring – present and future perspectives within the Water Framework Directive. *Water*, 2021, vol. 13, iss. 4, art. no. 478 (15 p.). <https://doi.org/10.3390/w13040478>
42. Nevrova E., Witkowski A., Kulikovskiy M., Lange-Bertalot H., Kociolek J.-P. A revision of the diatom genus *Lyrella* Karayeva (Bacillariophyta: Lyrellaceae) from the Black Sea, with descriptions of five new species. *Phytotaxa*, 2013, vol. 83, no. 1, pp. 1–38. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.83.1.1>

43. Nevrova E., Petrov A. Benthic diatoms species richness at Dvuyakornaya Bay and other coastal sites of Crimea (the Black Sea) under various environments. *Mediterranean Marine Science*, 2019a, vol. 20, no. 3, pp. 506–520. <https://doi.org/10.12681/mms.20319>
44. Nevrova E., Petrov A. Assessment of benthic diatoms taxonomic diversity at coastal biotopes with different anthropogenic impact (Crimea, the Black Sea). *Turkish Journal of Botany*, 2019b, vol. 43, no. 5, pp. 608–618. <https://doi.org/10.3906/bot-1903-43>
45. Petrov A., Nevrova E. Database on Black Sea benthic diatoms (Bacillariophyta): Its use for a comparative study of diversity peculiarities under technogenic pollution impacts. In: *Ocean Biodiversity Informatics* : proceeding of the International Conference of Marine Biodiversity Data Management, Hamburg, Germany, 29 Nov. – 1 Dec., 2004 / E. Vanden Bergh, W. Appeltans, M. J. Costello, P. Pissierssens (Eds). Paris : UNESCO/IOC, VLIZ, BSH, 2007, pp. 153–165. (IOC Workshop Report ; no. 202 ; VLIZ Special Publication ; no. 37).
46. Petrov A., Nevrova E., Terletskaia A., Milyukin M., Demchenko V. Structure and taxonomic diversity of benthic diatoms assemblage in a polluted marine environment (Balaklava Bay, Black Sea). *Polish Botanical Journal*, 2010, vol. 55, no. 1, pp. 183–197.
47. Petrov A. N., Nevrova E. L. Prognostic estimation of species richness of benthic Bacillariophyta. *International Journal on Algae*, 2013, vol. 15, iss. 1, pp. 5–25. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v15.i1.10>
48. Petrov A. N., Nevrova E. L. Numerical analysis of the structure of benthic diatom assemblages in replicate samples (Crimea, the Black Sea). In: *Diatom Research Over Time and Space* / J. P. Kociolek, M. S. Kulikovskiy, J. Witkowski, D. M. Harwood (Eds). Stuttgart, Germany : J. Cramer in der Gebrüder Borntraeger Verlagsbuchhandlung, 2014, pp. 245–253. (Nova Hedwigia : Beiheft 143).
49. Rimet F., Bouchez A. Biomonitoring river diatoms: Implications of taxonomic resolution. *Ecological Indicators*, 2012, vol. 15, iss. 1, pp. 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.09.014>
50. 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.
51. Ryabushko L. I., Begun A. A., Barinova S. S., Balycheva D. S. The epipsammon diatoms of Kruglaya Bay (the Black Sea). I. Centric, araphid and monoraphid. *Botanica Pacifica. A Journal of Plant Science and Conservation*, 2022, vol. 11, no. 1, pp. 87–97. <https://doi.org/10.17581/bp.2022.11116>
52. SAS.Planet : [program]. In: *SASGIS* : [site], 2023. URL: <https://www.sasgis.org/sasplaneta/> [accessed: 10.07.2024].
53. Stenger-Kovács C., Hajnal É., Lengyel E., Buczkó K., Padisák J. A test of traditional diversity measures and taxonomic distinctness indices on benthic diatoms of soda pans in the Carpathian basin. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 64, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.018>
54. Tokatli C., Solak C. N., Yılmaz E. Water quality assessment by means of bio-indication: A case study of Ergene River using biological diatom index. *Aquatic Sciences and Engineering*, 2020, vol. 35, iss. 2, pp. 43–51. <https://doi.org/10.26650/ASE2020646725>
55. Van de Vijver B., Wetzel C. E., Ector L. Analysis of the type material of *Planothidium delicatulum* (Bacillariophyta) with the description of two new *Planothidium* species from the sub-Antarctic Region. *Fottea*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 200–211. <https://doi.org/10.5507/fot.2018.006>
56. Warwick R. M., Clarke K. R. Taxonomic distinctness and environmental assessment. *Journal of Applied Ecology*, 1998, vol. 35, iss. 4, pp. 532–543. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.3540523.x>
57. Warwick R. M., Clarke K. R. Practical measures of marine biodiversity based on relatedness of species. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 2001, vol. 39, pp. 201–231.
58. Warwick R. M., Ashman C. M., Brown A. R., Clarke K. R., Dowell B., Hart B., Lewis R. E., Shillabeer N., Somerfield P. J., Tapp J. F. Inter-annual changes in the biodiversity and community structure of the macrobenthos in Tees Bay and the Tees estuary, UK, associated with local and regional environmental events. *Marine Ecology Progress Series*, 2002, vol. 234, pp. 1–13. <https://doi.org/10.3354/meps234001>

59. Williams D. M., Morales E. A. *Pseudostaurosira medliniae* a new name for *Pseudostaurosira elliptica* (Gasse) Jung et Medlin. *Diatom Research*, 2010, vol. 25, iss. 1, pp. 225–226. <https://doi.org/10.1080/0269249X.2010.9705843>
60. 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.))

**BENTHIC DIATOMS (BACILLARIOPHYTA):
DIVERSITY AND HIERARCHICAL STRUCTURE
OF TAXOCENES ON SOFT BOTTOM
OFF THE KRUGLAYA BAY (THE BLACK SEA, CRIMEA)**

E. Nevrova

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

The Kruglaya Bay (or the Omega Bay) holds high recreational value due to its sheltered location within the Sevastopol region, extensive beach area, and shallow waters with the soft bottom. These features necessitate monitoring of marine biota state. This work was aimed at determining the species richness and hierarchical structure of benthic diatoms (Bacillariophyta) in the Kruglaya Bay insufficiently studied before and at comparing them with coastal biotopes off the Crimea being under various anthropogenic load. Based on results of a benthic survey in 2004, we studied the species richness of Bacillariophyta off the Omega Bay and analyzed the taxonomic diversity applying floristic and formalized methods and using taxonomic distinctness indices: TaxDI (AvTD and VarTD). In total, 264 species and intraspecific taxa of benthic diatoms were identified: 256 species, 73 genera, 35 families, 21 orders, and 3 classes. We found 70 species and 5 genera previously recorded by us as new to the Bacillariophyta flora of the northern Black Sea shelf, along with 5 species of diatoms previously described by us as new to science. The greatest species similarity was revealed both between habitats with the lowest anthropogenic load (the Omega Bay – the Dvuyakornaya Bay and the Omega Bay – the Laspi Bay) and between heavily polluted water areas (the Sevastopol Bay – the Karantinnaya Bay and the Sevastopol Bay – the Balaklava Bay) regardless of their geographical proximity and differences in hydrological and hydrophysical conditions. Bacillariophyta taxocenes from heavily polluted sites feature low species richness and high proportion of mono- and oligospecies branches due to reduction of low pollution-sensitive taxa. AvTD values exceeded the average expected level for the Black Sea Bacillariophyta flora. In conditionally clean waters, diatom taxocenes exhibited high species richness, numerous polyspecies branches, and a low proportion of mono- and oligospecies branches aggregating at different levels of a hierarchical tree. AvTD values are below the average expected level for the Black Sea diatom flora. Features of diatom taxocene structure from the compared sites are mediated by a taxa-specific response to combined environmental stressors. Using TaxDI when analyzing Bacillariophyta taxonomic diversity allows for statistically reliable assessment of marine coastal waters under different pollution regimes.

Keywords: Omega Bay, TaxDI, species richness, anthropogenic load