

УДК 582.261.1-152.6(262.5.04)

ВИДОВОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ ЭПИЛИТОНА КАМЕНИСТЫХ ГРУНТОВ В ЗАЛИВЕ ДОНУЗЛАВ (КРЫМ, ЧЁРНОЕ МОРЕ)

© 2026 г. Л. И. Рябушко, Д. Н. Лишаев

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

Поступила в редакцию 22.01.2025; после доработки 16.06.2025;
принята к публикации 12.02.2026.

Впервые обобщены оригинальные и литературные данные по видовому составу, эколого-фитогеографическим характеристикам, сезонной динамике и структурным показателям диатомовых водорослей. Оригинальные данные основаны на 54 пробах эпилимтона залива Дуноулав Чёрного моря, отобранных в 2018–2020 гг. на глубинах от 0,1 до 1,5 м, при температуре от +7,0 до +27,0 °С и солёности воды от 13,86 до 18,60 ‰. Нами обнаружено 75 таксонов отдела Bacillariophyta, представленного 3 классами, 13 порядками, 20 семействами и 38 родами. В районе морских ферм выявлено 53 вида; среди них 52 вида были общими. Впервые для района исследования приведено 59 таксонов (29 родов). Наибольшее разнообразие отмечено в родах *Navicula* (8 видов), *Nitzschia* (7), *Licmophora* (6) и *Halamphora* (4). Зимой встречено 32 вида, весной — 50, летом — 42, осенью — 37. В сообществах диатомовых водорослей преобладают бентосные виды (88 %), морские (47 %), солоноватоводно-морские (39 %), космополиты (34 %) и β-мезосапробионтные (53 %), то есть виды — индикаторы умеренного органического загрязнения вод. Выявлено 24 колониальных вида и 10 круглогодичных: *Achnanthes longipes*, *Berkeleya rutilans*, *Caloneis liber*, *Cocconeis scutellum*, *Cylindrotheca closterium*, *Grammatophora marina*, *Halamphora hyalina*, *Navicula perrhombus*, *Trachyneis aspera* и *Synedrosphenia crystallina*. Зафиксировано присутствие одного потенциально токсичного вида — *Halamphora coffeiformis*. Максимальные значения обилия видов ($S = 18$), общей численности ($N = 254,0 \cdot 10^3$ кл.·см⁻²) и биомассы ($B = 1,15$ мг·см⁻²) сообществ отмечены летом, минимальные ($S = 9$ видов, $N = 14,8 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² и $B = 0,037$ мг·см⁻²) — осенью.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, эколого-фитогеографические характеристики, сезонная динамика, обилие видов, численность, биомасса, эпилимтон, залив Дуноулав, Чёрное море

Залив Дуноулав Чёрного моря — уникальный полузакрытый морской водоём площадью 47,5 км², расположенный на западном побережье Крыма. Длина песчаной насыпи, частично отделяющей его от моря, составляет 9 км, ширина колеблется в диапазоне от 200 до 600 м. Преобладают глубины 4–5 м; значение в районе центральной котловины достигает 12–20 м. Среднее содержание растворённого кислорода в воде составляет 8,77–9,40 мг·л⁻¹. Эти значения считаются удовлетворительными для жизнедеятельности гидробионтов при приемлемой степени загрязнения водной среды [Зуев, Болтачев, 1999].

Основные факторы, воздействующие на сезонную пространственную изменчивость температурного режима залива, — это атмосферные термические условия, его преобладающая мелководность, циркуляция вод, а также тепловое влияние водообмена с Чёрным морем в районе

пересыпи. Мелководность большей части Донузлава и его небольшой теплозапас служат главной причиной значительной сезонной изменчивости горизонтального распределения температуры воды [Дьяков и др., 2018].

В настоящее время на экосистему Донузлава воздействуют такие антропогенные факторы, как промышленная добыча песка [Зуев, Болтачев, 1999] и разведение мидий и устриц на расположенных в заливе фермах.

Первые сведения об изучении видового состава различных отделов микроводорослей в озере Донузлав (при солёности 80–100 ‰), ещё не соединённом с Чёрным морем, приведены в диссертации [Христюк, 1949]. Согласно этим данным, было обнаружено 15 таксонов диатомовых водорослей (далее — ДВ) из 11 родов (некоторые из них морские): *Cyclotella meneghiniana*, *Tabularia fasciculata*, *Achnanthes brevipes*, *Frustulia vulgaris*, *Caloneis amphisbaena*, *Gyrosigma spenseri*, *Hantzschia amphioxys*, *Nitzschia brevissima*, *N. lorenziana*, *N. reversa*, *N. umbonata*, *Tryblionella hungarica*, *Surirella linearis*, *S. ovalis* и *S. brebissonii* var. *kuetzingii*.

Первые комплексные исследования видового состава и структуры функционирования фитопланктона, зоопланктона и мезозоопланктона, а также содержания тяжёлых металлов и ртути в планктоне и донных осадках были проведены в озере Донузлав в мае — октябре 1990 г. [Самышев и др., 2001]. За это время в фитопланктоне авторами обнаружено 45 видов ДВ, из которых 13 таксонов не идентифицированы до видового ранга из-за обилия мелких, трудно определяемых форм, отмеченных во все месяцы. Зарегистрировано 15 видов бентосных ДВ, включая 8 типично колониальных видов-обрастателей: *Achnanthes longipes*, *Licmophora flabellata* (встречались массово), *L. gracilis*, *L. ehrenbergii*, *Striatella unipunctata*, *Striatella* sp., *Grammatophora marina* и *Grammatophora* sp. Также указаны одиночно живущие виды, определённые только до рода: *Cocconeis* sp., *Navicula* sp., *Pleurosigma* sp. и *Surirella* sp. Кроме того, отмечено 10 бентопланктонных видов. Из них 2 вида рода *Pseudo-nitzschia* являются потенциально токсичными; *Cylindrotheca closterium* достаточно широко встречается на черноморском побережье. Лишь 20 видов являются планктонными. Авторами статьи зарегистрировано два пика численности фитопланктона (включая бентосные виды) — в конце весны и начале осени.

В работе по изучению фитопланктона Донузлава выявлено 28 видов Bacillariophyta, относящихся к трём классам: Coscinodiscophyceae, Mediophyceae и Bacillariophyceae [Лилицкая и др., 2012]. Зарегистрированы планктонные и бентосные виды. Указано 19 видов — индикаторов сапробности. Отмечено преобладание галофильных алкалофильных видов.

Между тем у авторов [Лилицкая и др., 2012; Самышев и др., 2001; Христюк, 1949] имеются устаревшие или перешедшие в разряд синонимов названия видов; также встречаются ошибки в латинских названиях. В настоящее время некоторые таксоны нуждаются в критическом пересмотре, необходимо составление новых списков. Анализ литературных источников свидетельствует о разнообразии подходов к изучению бентосных видов ДВ и направлений таких исследований. Одним из естественных субстратов, используемых микроводорослями для поселения, являются каменистые грунты, широко распространённые вдоль морского побережья [Рябушко, 1994, 2013].

Видовое разнообразие микрофитобентоса, а также сезонная динамика качественных и количественных характеристик сообществ ДВ относительно хорошо изучены по единой методике в разных экотопах крымского побережья Чёрного моря [Ли, Рябушко, 2010; Лишаев, Рябушко, 2020; Рябушко, 1994, 2013, 2020; Рябушко и др., 2020; Balycheva, 2014; Ryabushko et al., 2022, 2023]. Однако остаётся актуальной задача дальнейшего исследования с учётом данных электронного сканирующего микроскопа и методов статистического анализа. Изучение микрофитобентоса каменистых грунтов залива Донузлав начато нами в 2018 г. [Лишаев, Рябушко, 2020; Blaginina et al., 2023; Ryabushko et al., 2019b, 2022, 2023]; некоторые методы изучения, рассмотренные в настоящей статье, впоследствии были расширены.

Цель данной работы — изучить видовое разнообразие сообществ диатомовых водорослей эпипитона залива Донузлав и их качественные и количественные характеристики в течение круглогодичного цикла с учётом сезонов и некоторых гидрологических показателей.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Отбор образцов камней проводили с апреля 2018 г. по февраль 2020 г. на девяти станциях на глубине от 0,1 до 1,5 м в заливе Донузлав (45°20'00" с. ш., 33°00'00" в. д.), в крымских прибрежных водах Чёрного моря (рис. 1).

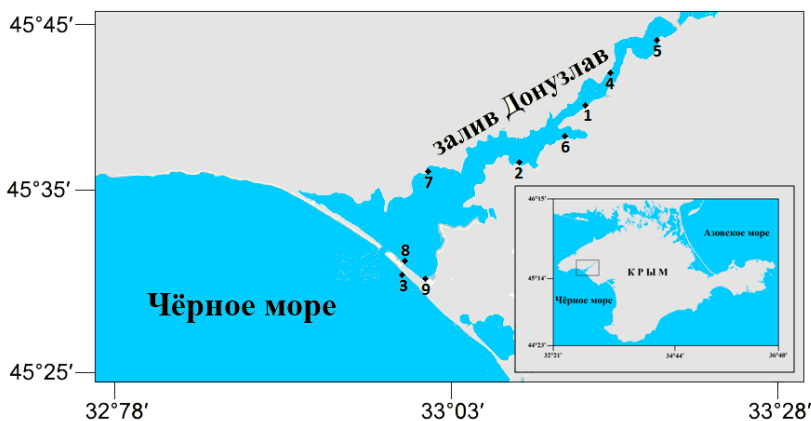


Рис. 1. Карта станций (1–9) отбора проб каменистых грунтов в заливе Донузлав крымского побережья Чёрного моря

Fig. 1. Map of sampling stations (1–9) of stone substrates in Donuzlav Gulf of the Crimean coastal waters of the Black Sea

Ст. 1, 2, 4, 6 и 7 расположены вблизи участков морских ферм, на которых выращивают мидий и устриц. Гидрологические характеристики по глубинам изменялись в широких пределах: температура воды варьировала от +7,0 °С (февраль) до +27,0 °С (июль), солёность — от 13,86 ‰ (июнь) до 18,60 ‰ (июль) (табл. 1).

Таблица 1. Глубина (Н), температура (Т) и солёность (Sal) воды по станциям и датам отбора проб в заливе Донузлав, 2018–2020 гг.

Table 1. Water depth (H), temperature (T), and salinity (Sal) by stations and sampling dates in Donuzlav Gulf, 2018–2020

Дата отбора проб	Н, м	№ станции	Т, °С	Sal, ‰	Дата отбора проб	Н, м	№ станции	Т, °С	Sal, ‰
13.04.2018	0,3	1, 2	+11,0	17,81	21.06.2019	0,5	7	+25,3	13,86
21.06.2018	1,0	3, 4	+25,0	18,50	11.07.2019	0,5	7	+24,6	15,67
12.07.2018	1,0	5, 6	+27,0	18,60	22.08.2019	0,5	7	+20,6	16,72
05.10.2018	0,2	7	+19,8	16,58	16.09.2019	1,5	6	+22,0	16,70
28.01.2019	0,4	8	+10,0	16,58	09.10.2019	1,0	7	+15,9	17,71
22.03.2019	0,2	6	+10,6	17,97	09.11.2019	0,2	5	+14,1	17,81
08.04.2019	0,1	6	+10,6	17,97	07.12.2019	0,3	9	+8,9	16,97
30.04.2019	0,2	8	+10,0	16,76	11.01.2020	0,5	6	+9,8	18,01
27.05.2019	0,2	7	+20,7	15,56	14.02.2020	0,1	9	+7,0	16,66

Образцы камней отбирали вручную — по три камня на каждой станции. В лаборатории каждый камень очищали с помощью синтетической щётки для качественной и количественной обработки. Образцы суспензий для количественного анализа фиксировали 96%-ным раствором этилового спирта (2 мл на 100 мл образца). При обработке материала использовали разные методы изучения ДВ.

Для оценки качественных и количественных показателей микрофитобентоса подсчёт клеток осуществляли под световым микроскопом Axioskop 40 с программным обеспечением AxioVision Rel. 4.6 при увеличении 10×20 , 10×40 и 10×90 .

Всего собрано и обработано 54 пробы в трёх повторностях (см. табл. 1). Подсчёт клеток ДВ проводили в камере Горяева объёмом $0,9 \text{ мм}^3$. Обилие видов (S) определяли после трёхкратного просмотра камеры. Затем составляли список с указанием общего количества всех встреченных в ней видов.

Площадь поверхности камня вычисляли по формуле R. Calow [1972]. Размеры камней варьировали в следующих диапазонах: длина (x) — от 4 до 12 см, ширина (y) — от 2 до 7 см, высота (z) — от 1,5 до 3,5 см. Створки ДВ очищали по стандартной методике с использованием кислот [Диатомовые водоросли СССР, 1974; Рябушко, 2013]. После отмывки чистые панцири заключали в смолу Naphrax (коэффициент преломления иммерсионного масла — 1,74).

При рассмотрении таксономической структуры ДВ использовали в основном классификационную систему [Round et al., 1990] и дополнения [AlgaeBase, 2026]. Идентификацию видов осуществляли по ряду источников [Диатомовый анализ, 1950; Рябушко, 2013; Рябушко, Бегун, 2015, 2016; Kuylenstierna, 1990; Ryabushko et al., 2022]. Индекс сапробности сообществ ДВ определяли по [Рябушко и др., 2019a; Barinova et al., 2019]. Сходство качественного состава ДВ для района исследования по сезонам оценивали с помощью коэффициента Сёренсена $K_S = 2C / (A + B)$, где C — количество общих видов для сравниваемых списков; A и B — количество видов в каждом из списков [Dice, 1945; Sørensen, 1948].

Количественный учёт сезонной динамики обилия видов (S), численности (N, кл. $\cdot\text{см}^{-2}$) и биомассы (B, мг $\cdot\text{см}^{-2}$) сообществ ДВ проводили по формулам В. И. Рябушко [2003]: $N = n \cdot V / S \cdot V_k$, где n — число клеток в счётной камере Горяева объёмом (V_k) $0,9 \text{ мм}^3$, и $B = h \cdot V \cdot b / S \cdot V_k$, где b — сумма биообъёмов клеток в мкм^3 , а h — удельный вес, составляющий $1,2 \cdot 10^{-9} \text{ мг} \cdot \text{мкм}^{-3}$ для бентосных ДВ и $1 \cdot 10^{-9} \text{ мг} \cdot \text{мкм}^{-3}$ для планктонных [Оксиук, Юрченко, 1971].

При анализе структуры сообществ ДВ использовали индексы видового разнообразия Шеннона — Уивера (H), выровненности видовой структуры сообществ Пиелу (e) и доминирования видов Бергера — Паркера (D_{BP}) [Berger, Parker, 1970; Pielou, 1966; Shannon, Weaver, 1949]. Сходство и различие в распределении ДВ в эпилитоне в зависимости от их видовой принадлежности, от районов и станций исследования, а также от сезона и частоты встречаемости определяли с применением пакета прикладных программ Past 4.12b. Микрофотографии панцирей ДВ выполнены с помощью электронного сканирующего микроскопа (см. рис. 2), а некоторых их прижизненных форм вместе с хлоропластами — с помощью светового микроскопа (см. рис. 3), что очень важно при определении таксонов без использования кислот и иммерсии. Обычно подобных фотографий в статьях крайне мало, и мы считаем необходимым восполнить этот пробел для залива Донузлав.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Предварительно нами проведена инвентаризация таксонов Bacillariophyta по авторским спискам из 15 литературных источников, поскольку в последние десятилетия имели место существенные номенклатурные перестройки для этой группы организмов. На основе собственных и литературных данных составлен общий список ДВ эпилитона крымского побережья Чёрного моря, охватывающий 296 видов, разновидностей и форм, которые относятся к 88 родам. Наибольшее количество видов принадлежит родам *Nitzschia* (32), *Cocconeis* (16), *Navicula* (16), *Amphora* (15), *Diploneis* (14), *Licmophora* (12) и *Halamphora* (11).

По результатам наших исследований, в эпилитоне залива Донузлав обнаружено 75 таксонов. На станциях возле морских ферм — 53 вида. Все они принадлежат к отделу Bacillariophyta, 3 классам, 13 порядкам, 20 семействам и 38 родам (табл. 2). Из всех ДВ 59 видов и внутривидовых

таксонов (29 родов) отмечены впервые. Наиболее разнообразно представлены *Navicula* (8 видов), *Nitzschia* (7), *Licmophora* (6) и *Halamphora* (4).

Таблица 2. Видовой состав, встречаемость, эколого-фитогеографические характеристики диатомовых водорослей эпилитона залива Донузлав (+) и его марихозяйств (++) в 2018–2020 гг. (Крым, Чёрное море)

Table 2. Species composition, occurrence, and ecological and phytogeographic characteristics of the epilithon diatoms of Donuzlav Gulf (+) and its mariculture farms (++) in 2018–2020 (Crimea, Black Sea)

№	Таксон	Вт	ЖФ	Эк	Сап	ФГ
1	<i>Achnanthes brevipes</i> C. A. Agardh кол.	+++	Бен	СМ	β	К
2	<i>Achnanthes longipes</i> C. A. Agardh кол.	+++	Бен	М	β	АБТ
3	<i>Amphora angusta</i> W. Gregory **	+++	Бен	СМ	β	К
4	<i>Amphora arcus</i> W. Gregory **	+++	Бен	М	–	АБ
5	<i>Amphora ovalis</i> (Kützing) Kützing **	+++	Бен	ПС	α - β	К
6	<i>Amphora proteus</i> W. Gregory **	+++	Бен	М	β - α	К
7	<i>Bacillaria paxillifer</i> (O. F. Müller) N. Hendeby ** кол.	+++	БП	СМ	α - α	К
8	<i>Berkeleya micans</i> (Lyngbye) Grunow ** кол.	+++	Бен	СМ	α	Б нот
9	<i>Berkeleya rutilans</i> (Trentepohl ex Roth) Grunow ** кол.	+++	Бен	СМ	–	АБ нот
10	<i>Caloneis formosa</i> var. <i>densestriata</i> Proschkina-Lavrenko **	+++	Бен	М	–	Б
11	<i>Caloneis liber</i> (W. Smith) P. T. Cleve **	+++	Бен	М	–	К
12	<i>Carinasigma rectum</i> (Donkin) G. Reid **	+++	Бен	М	–	БТ нот
13	<i>Cocconeis costata</i> W. Gregory **	+	Бен	М	β	К
14	<i>Cocconeis pseudodebesii</i> Proschkina-Lavrenko **	+	Бен	СМ	–	Б
15	<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg	+++	Бен	СМ	β	К
16	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenberg) Reimann et Lewin	+++	БП	СМ	β	К
17	<i>Diploneis bombus</i> (Ehrenberg) Ehrenberg **	+	Бен	М	–	БТ нот
18	<i>Diploneis chersonensis</i> (Grunow) P. T. Cleve **	+++	Бен	М	–	АБТ нот
19	<i>Diploneis smithii</i> (Brébisson) P. T. Cleve **	+++	Бен	СМ	–	К
20	<i>Donkinia carinata</i> (Donkin) Ralfs in Pritchard **	++	Бен	М	–	БТ
21	<i>Entomoneis paludosa</i> (W. Smith) Reimer **	+++	БП	СМ	β - α	К
22	<i>Falcula media</i> var. <i>subsalina</i> Proschkina-Lavrenko **	+++	БП	М	α	Б
23	<i>Grammatophora marina</i> (Lyngbye) Kützing ** кол.	+++	Бен	М	β	К
24	<i>Gyrosigma prolongatum</i> (W. Smith) Griffith et Henfrey **	+++	Бен	М	–	АБ нот
25	<i>Halamphora coffeiformis</i> (C. A. Agardh) Levkov **	+++	Бен	СМ	α	АБТ
26	<i>Halamphora costata</i> (W. Smith) Levkov **	+++	Бен	М	–	БТ нот
27	<i>Halamphora hyalina</i> (Kützing) Rimet et R. Jahn **	+++	Бен	М	β	АБТ нот
28	<i>Halamphora terroris</i> (Ehrenberg) P. Wang **	+++	Бен	М	–	АБТ нот
29	<i>Haslea crucigera</i> (W. Smith) Simonsen **	+	Бен	М	–	Б
30	<i>Haslea ostrearia</i> (Gaillon) Simonsen **	+	Бен	М	–	БТ
31	<i>Haslea subagnita</i> (Proschkina-Lavrenko) Makarova et Karayeva **	+++	Бен	С	–	Б
32	<i>Licmophora abbreviata</i> C. A. Agardh ** кол.	+++	Бен	М	β	К
33	<i>Licmophora dalmatica</i> (Kützing) Grunow ** кол.	+	Бен	М	–	Б
34	<i>Licmophora flabellata</i> (Greville) C. A. Agardh ** кол.	+++	Бен	М	β	БТ нот
35	<i>Licmophora gracilis</i> (Ehrenberg) Grunow кол.	+	Бен	М	–	АБТ
36	<i>Licmophora hastata</i> Mereschkowsky ** кол.	+	Бен	М	–	Б
37	<i>Licmophora paradoxa</i> (Lyngbye) C. A. Agardh ** кол.	+	Бен	М	–	К
38	<i>Lyrella clavata</i> (W. Gregory) D. G. Mann **	+++	Бен	М	–	БТ
39	<i>Melosira lineata</i> (Dillwyn) C. A. Agardh ** кол.	+++	БП	СМ	α	АБТ нот
40	<i>Melosira moniliformis</i> (O. F. Müller) C. A. Agardh ** кол.	+	БП	СМ	α - β	АБТ нот

Продолжение на следующей странице...

№	Таксон	Вт	ЖФ	Эк	Сап	ФГ
41	<i>Microtabella delicatula</i> (Kützing) Round **	+++	Бен	СМ	–	АБ
42	<i>Navicula antonii</i> Lange-Bertalot **	+	Бен	ПС	–	БТ нот
43	<i>Navicula cancellata</i> Donkin **	+++	Бен	М	–	К
44	<i>Navicula directa</i> (W. Smith) Ralfs ex Pritchard **	+++	Бен	СМ	–	К
45	<i>Navicula distans</i> (W. Smith) Ralfs ex Pritchard **	+	Бен	СМ	–	АБТ
46	<i>Navicula perrhombus</i> Hustedt ex Simonsen **	+++	Бен	СМ	–	БТ
47	<i>Navicula ramosissima</i> (C. A. Agardh) P. T. Cleve ** кол.	+++	Бен	СМ	–	АБТ нот
48	<i>Navicula salinarum</i> Grunow **	+++	Бен	С	<i>o-β</i>	АБТ нот
49	<i>Navicula pennata</i> var. <i>pontica</i> Mereschkowsky **	+++	Бен	СМ	–	БТ
50	<i>Nitzschia hybrida</i> f. <i>hyalina</i> Proschkina-Lavrenko **	+++	Бен	СМ	<i>β</i>	Б
51	<i>Nitzschia lanceolata</i> W. Smith **	+	Бен	С	<i>β</i>	БТ нот
52	<i>Nitzschia longissima</i> (Brébisson) Grunow **	+++	БП	М	–	К
53	<i>Nitzschia sigma</i> (Kützing) W. Smith **	+++	Бен	С	<i>α</i>	АБТ нот
54	<i>Nitzschia sigmoidea</i> (Nitzsch) W. Smith **	+	Бен	ПС	<i>β-α</i>	Б
55	<i>Nitzschia tenuirostris</i> Mereschkowsky **	+	БП	С	–	Б
56	<i>Nitzschia vermicularis</i> (Kützing) C. A. Hantzsch **	+	Бен	С	<i>β</i>	БТ нот
57	<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E. J. Cox ** кол.	+++	Бен	М	–	К
58	<i>Petronis monilifera</i> (P. T. Cleve) Stickle et D. G. Mann **	+++	Бен	М	–	БТ
59	<i>Plagiotropis lepidoptera</i> (W. Gregory) Kuntze **	+++	Бен	М	<i>o</i>	АБТ
60	<i>Pleurosigma elongatum</i> W. Smith **	+++	Бен	СМ	<i>β</i>	К
61	<i>Psammodyction panduriforme</i> (W. Gregory) D. G. Mann **	+++	Бен	М	–	БТ нот
62	<i>Rhaphoneis amphiceros</i> (Ehrenberg) Ehrenberg **	+	Бен	СМ	–	БТ нот
63	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenberg) O. F. Müller **	+	Бен	С	<i>β</i>	АБТ
64	<i>Seminavis ventricosa</i> (Gregory) M. Garcia-Baptista **	+++	Бен	М	<i>β</i>	К
65	<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngbye) C. A. Agardh кол.	+++	Бен	М	–	БТ нот
66	<i>Synedrosphenia crystallina</i> (C. A. Agardh) Lobban et Ashworth (= <i>Ardissonea crystallina</i>) ** кол.	+++	Бен	СМ	<i>β</i>	БТ
67	<i>Tabularia fasciculata</i> (Agardh) D. M. Williams et Round кол.	+++	Бен	СМ	<i>χ-o</i>	К
68	<i>Tabularia parva</i> (Kützing) D. M. Williams et Round ** кол.	+	Бен	СМ	<i>α</i>	АБТ нот
69	<i>Tabularia tabulata</i> (C. A. Agardh) Snoeijjs ** кол.	+++	Бен	СМ	<i>β-α</i>	К
70	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) P. T. Cleve ** кол.	+++	БП	М	–	К
71	<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenberg) P. T. Cleve **	+++	Бен	М	<i>β</i>	К
72	<i>Tryblionella coarctata</i> (Grunow) D. G. Mann **	+	Бен	СМ	–	БТ
73	<i>Tryblionella hungarica</i> (Grunow) D. G. Mann **	+	Бен	С	<i>α-o</i>	К
74	<i>Undatella lineolata</i> (Ehrenberg) L. I. Ryabushko** кол.	+++	Бен	СМ	<i>β</i>	АБТ
75	<i>Undatella quadrata</i> (Brébisson ex Kützing) Paddock ex Sims ** кол.	+	Бен	СМ	–	Б

Примечание: прочерк (–) — данные отсутствуют; * — вид указан впервые для Крыма и Чёрного моря; ** — новый вид для залива Донузлав; кол. — колониальная форма. Вт — встречаемость вида по станциям (+), включая район ферм (+++). ЖФ — жизненная форма: Бен — бентосный вид; БП — бенто-планктонный. Эк — экологическая форма: М — морской вид; ПС — пресноводно-соленоватоводный; С — соленоватоводный; СМ — соленоватоводно-морской. Сап — индекс сапробности: *α* — *α*-мезосапробионт; *β* — *β*-мезосапробионт; *β-α* — *β-α*-мезосапробионт; *o* — *o*-сапробионт; *o-α* — *o-α*-мезосапробионт; *o-β* — *o-β*-мезосапробионт; *χ-o* — *χ-o*-сапробионт. ФГ — фитогеографическая характеристика: АБ — аркто-бореальный вид; АБТ — аркто-бореально-тропический; Б — бореальный; БТ — бореально-тропический; К — космополит; нот — нотальный вид, встречающийся и в Южном полушарии.

Note: –, no data; *, a species is listed for the first time for Crimea and the Black Sea; **, a new species for Donuzlav Gulf; кол., a colonial form. Вт, frequency of species occurrence by stations (+), including the area of mariculture farms (+++). ЖФ, a life form: Бен, benthic species; БП, benthic-planktonic. Эк, an ecological form: М, marine species; ПС, freshwater-brackish; С, brackish; СМ, brackish-marine. Сап, saprobic index: *α*, *α*-mesosaprobiont; *β*, *β*-mesosaprobiont; *β-α*, *β-α*-mesosaprobiont; *o*, *o*-saprobiont; *o-α*, *o-α*-mesosaprobiont; *o-β*, *o-β*-mesosaprobiont; *χ-o*, *χ-o*-saprobiont. ФГ, phytogeographic characteristics: АБ, arctic-boreal species; АБТ, arctic-boreal-tropical; Б, boreal; БТ, boreal-tropical; К, cosmopolitan; нот, notal species occurring in the Southern Hemisphere as well.

Некоторые виды представлены на микрофотографиях, выполненных в сканирующем электронном микроскопе (рис. 2А–Л) и в световом микроскопе (рис. 3А–П). Выявлено 24 колониальных вида (табл. 2), часть из них приведена на фото (рис. 2Б–Г, И, рис. 3А–Г, З, П). Кроме того, обнаружено 10 круглогодичных видов: *A. longipes* (рис. 2И), *Berkeleya rutilans* (рис. 2Б–Г), *Cocconeis scutellum* (рис. 2Л), *G. marina* (рис. 3В), *C. closterium* (рис. 3Д), *Halamphora hyalina* (рис. 3Ж), *Caloneis liber* (рис. 3И), *Trachyneis aspera* (рис. 3Н), *Navicula perrhombus* и *Synedrosphenia crystallina*. Отмечено присутствие одного потенциально токсичного вида — *Halamphora coffeiformis* (рис. 3Е). По сезонам встречено следующее количество видов ДВ: зимой — 32, весной — 50, летом — 42, осенью — 37.

Navicula antonii был обнаружен в песках бухты Круглой (пляж Севастополя) и указан впервые для Крыма и Чёрного моря [Ryabushko et al., 2022]. Впоследствии этот вид был найден в эпилитоне залива Донузлав (табл. 2, рис. 2А).

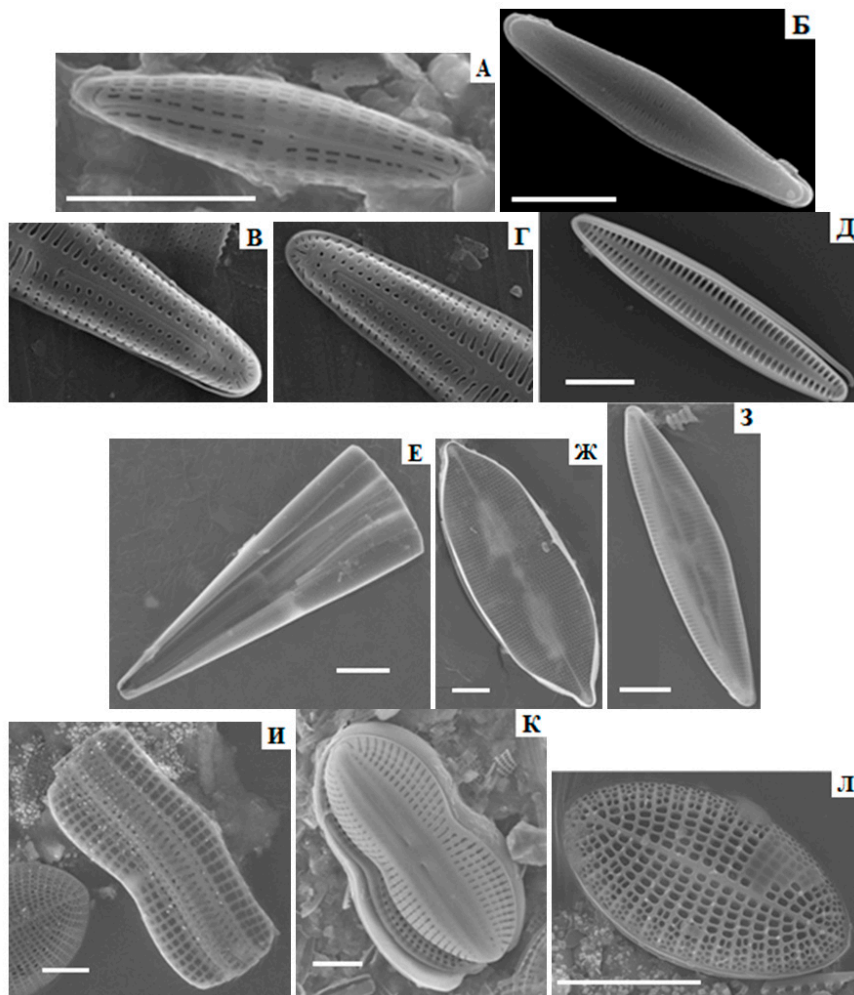


Рис. 2. Фотографии некоторых видов диатомовых водорослей залива Донузлав (сканирующий электронный микроскоп): А — *Navicula antonii*; Б–Г — *Berkeleya rutilans*, створка (Б), фрагменты и структура (В, Г); Д — *Tabularia parva*; Е — *Licmophora abbreviata*; Ж — *Petroneis monilifera*; З — *Haslea subagnita*; И — *Achnanthes longipes*; К — *Diploneis bombus*; Л — *Cocconeis scutellum*. Масштабная линейка — 10 мкм

Fig. 2. Micrographs of some diatom species of Donuzlav Gulf (a scanning electron microscope): А, *Navicula antonii*; Б–Г, *Berkeleya rutilans*, its valve (Б), fragments, and structure (В, Г); Д, *Tabularia parva*; Е, *Licmophora abbreviata*; Ж, *Petroneis monilifera*; З, *Haslea subagnita*; И, *Achnanthes longipes*; К, *Diploneis bombus*; Л, *Cocconeis scutellum*. Scale bars are 10 μm

Кроме того, нами представлены микрофотографии, полученные в световом микроскопе. Многие из зарегистрированных видов встречались в заливе довольно часто (рис. 3).

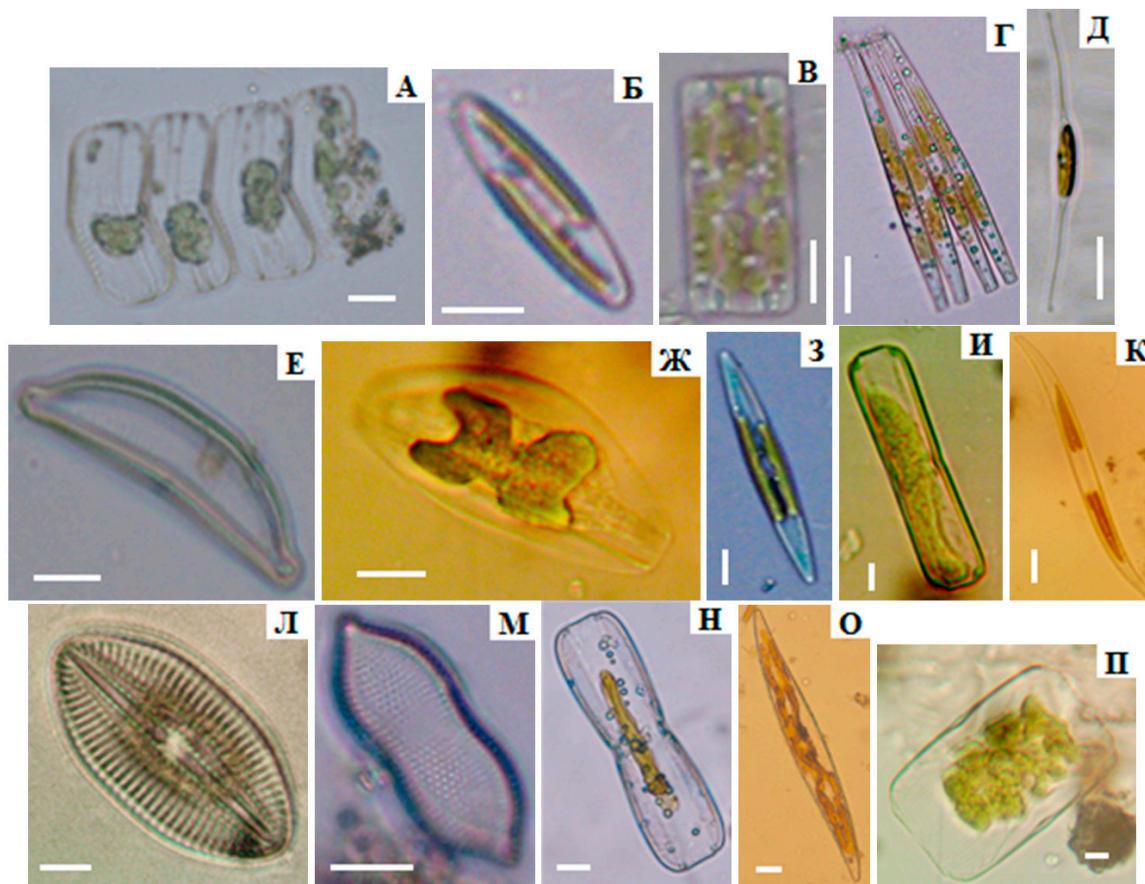


Рис. 3. Фотографии некоторых видов диатомовых водорослей эпилитона залива Донузлав (световой микроскоп): А — *Achnanthes brevipes*; Б — *Berkeleya rutilans*; В — *Grammatophora marina*; Г — *Tabularia tabulata*; Д — *Cylandrotheca closterium*; Е — *Halamphora coffeiformis*; Ж — *Halamphora hyalina*; З — *Haslea ostrearia*; И — *Caloneis liber*; К — *Nitzschia sigma*; Л — *Diploneis smithii*; М — *Tryblionella coarctata*; Н — *Trachyneis aspera*; О — *Pleurosigma elongatum*; П — *Undatella quadrata*. Масштабная линейка — 10 мкм

Fig. 3. Micrographs of some diatom species of the epilithon diatoms of Donuzlav Gulf (a light microscope): А, *Achnanthes brevipes*; Б, *Berkeleya rutilans*; В, *Grammatophora marina*; Г, *Tabularia tabulata*; Д, *Cylandrotheca closterium*; Е, *Halamphora coffeiformis*; Ж, *Halamphora hyalina*; З, *Haslea ostrearia*; И, *Caloneis liber*; К, *Nitzschia sigma*; Л, *Diploneis smithii*; М, *Tryblionella coarctata*; Н, *Trachyneis aspera*; О, *Pleurosigma elongatum*; П, *Undatella quadrata*. Scale bars are 10 μ m

Эколого-флористический анализ ДВ эпилитона залива показал следующее. В сообществах преобладали бентосные жизненные формы (88 %). Бенто-планктонные формы были редкими (12 %). При этом отмечен всего один планктонный вид ДВ — *Thalassiosira eccentrica* (табл. 2), который часто встречается в работах по изучению микрофитобентоса Чёрного моря.

Несмотря на низкую солёность залива, преобладали морские (47 % всех видов) и солоноватоводно-морские виды — 39 % (табл. 2, рис. 4), что в целом характерно для микрофитобентоса Чёрного моря [Рябушко, 2013]. Отмечено три пресноводно-солоноватоводных вида. В прошлом Донузлав был отделён от моря, его называли озером или лиманом. Теперь же, после объединения его акватории с морем, по нашим данным, Донузлав можно считать морским заливом [Ryabushko et al., 2019b].

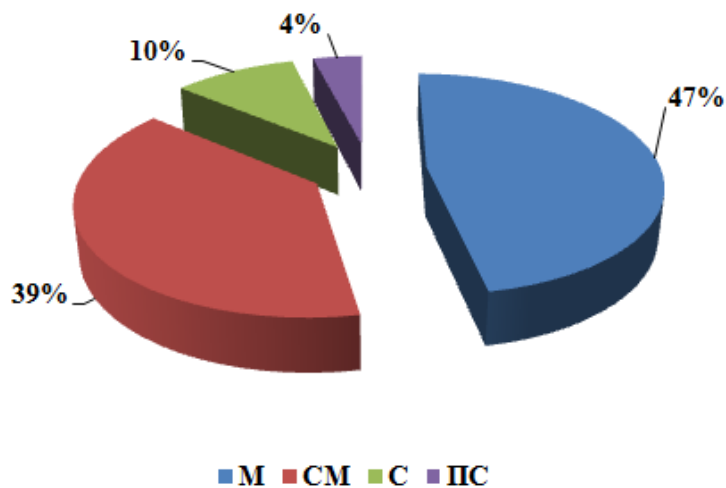


Рис. 4. Распределение видов диатомовых водорослей эпилимтона залива Донузлав по отношению к солёности воды. М — морские формы; СМ — солоноватоводно-морские; С — солоноватоводные; ПС — пресноводно-солоноватоводные

Fig. 4. The ratio of diatom species of Donuzlav Gulf in terms of water salinity. M, marine forms; СМ, brackish-marine; С, brackish; ПС, freshwater-brackish

К экологическим характеристикам относится индикаторная роль видов ДВ по сапробности [Рябушко и др., 2019а; Varinova et al., 2019]. Отмечено преобладание β -мезосапробионтных видов (53 %) — индикаторов умеренного органического загрязнения вод (рис. 5). Сходные значения этой группы видов указаны и для других районов крымского побережья Чёрного и Азовского морей [Рябушко, 2013; Varinova et al., 2019; Ryabushko et al., 2019b, 2023]. Вклад других индикаторных групп был следующим: β - α -мезосапробионтов и α -мезосапробионтов — по 11 %; o -сапробионтов и o - β -мезосапробионтов — по 8 %; o - α -мезосапробионтов — 6 %; χ - o -сапробионтов — 3 % (табл. 2, рис. 5).

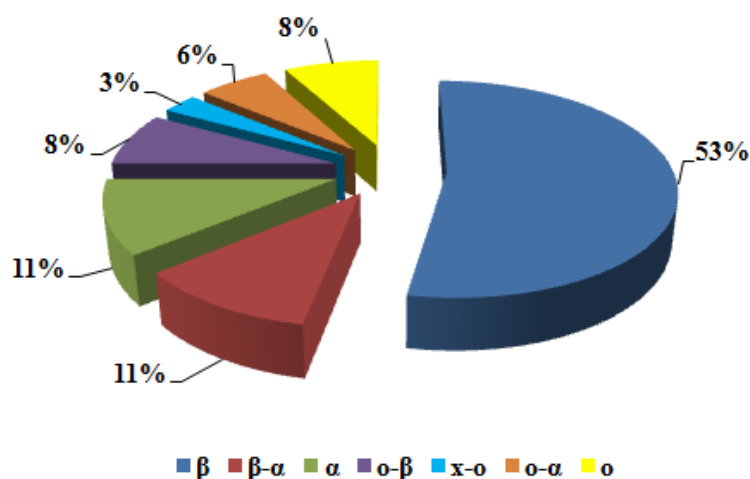


Рис. 5. Распределение диатомовых водорослей — индикаторов сапробности в заливе Донузлав: β — β -мезосапробионты; β - α — β - α -мезосапробионты; α — α -мезосапробионты; o - β — o - β -мезосапробионты; χ - o — χ - o -сапробионты; o - α — o - α -мезосапробионты; o — o -сапробионты

Fig. 5. The ratio of diatoms serving as indicators of saprobity in Donuzlav Gulf: β , β -mesosaprobionts; β - α , β - α -mesosaprobionts; α , α -mesosaprobionts; o - β , o - β -mesosaprobionts; χ - o , χ - o -saprobionts; o - α , o - α -mesosaprobionts; o , o -saprobionts

Кроме экологических характеристик, проанализированы фитогеографические составляющие флоры ДВ в зависимости от ареалов видов, что существенно дополнило общую характеристику вод залива. Выявлено преобладание космополитных видов (34 %), то есть тех, которые характеризуются повсеместным распространением в Мировом океане (рис. 6).

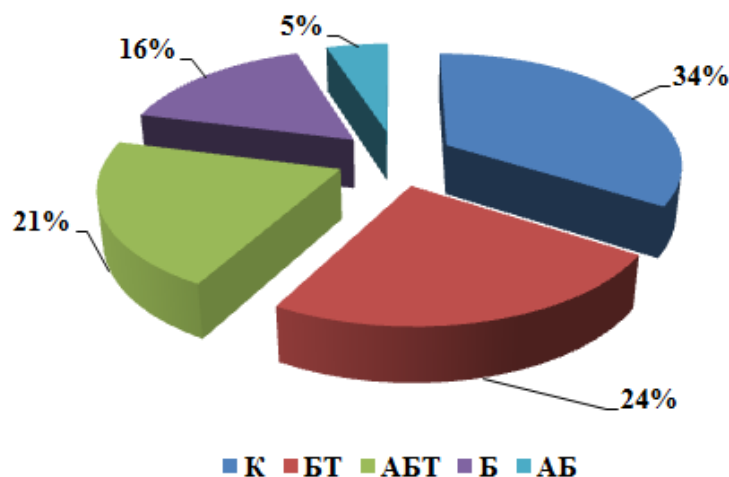


Рис. 6. Фитогеографические составляющие флоры диатомовых водорослей залива Донузлав. К — виды-космополиты; БТ — boreально-тропические; АБТ — аркто-boreально-тропические; Б — boreальные; АБ — аркто-boreальные виды

Fig. 6. Phytogeographic components of diatom flora in Donuzlav Gulf: К, cosmopolitan species; БТ, boreal-tropical; АБТ, arctic-boreal-tropical; Б, boreal; АБ, arctic-boreal

Сходство качественного состава ДВ по сезонам оценено с помощью коэффициента Сёренсена K_S (рис. 7). По результатам его применения нами отмечено, что для Донузлава характерны наибольшие усреднённые величины K_S в летние месяцы и минимальные — в зимние. Летом флора разных локаций выглядела существенно более единообразно, чем зимой.

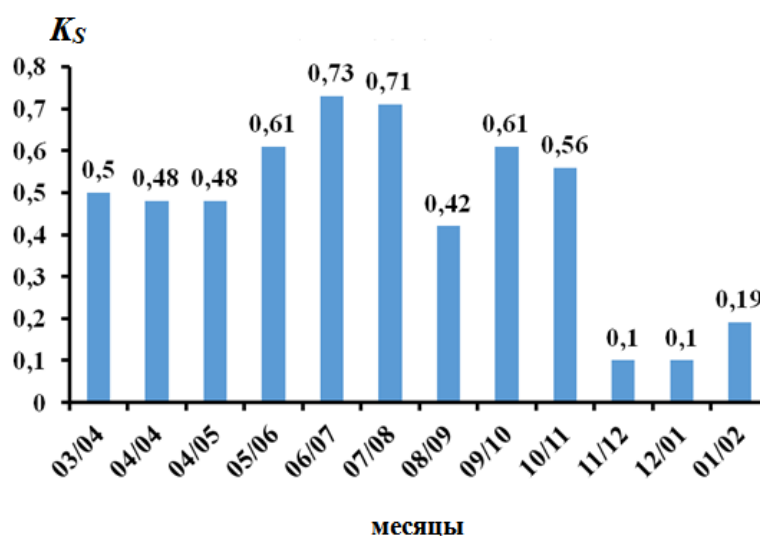


Рис. 7. Динамика средних значений коэффициента Сёренсена (K_S) для диатомовых водорослей эпилитона залива Донузлав

Fig. 7. Dynamics of mean values of the Sørensen coefficient (K_S) for the epiphyton diatoms of Donuzlav Gulf

С помощью кластерного анализа нами определён уровень сходства между видами ДВ по их встречаемости в сообществах (рис. 8). Кластерный анализ средних значений коэффициента Сёренсена показал низкую степень сходства (менее 0,075) у *Nitzschia sigma* по сравнению со всеми остальными видами, отмеченными нами в заливе за всё время исследования. При этом величины сходства остальных видов по частоте встречаемости формируют единый кластер.

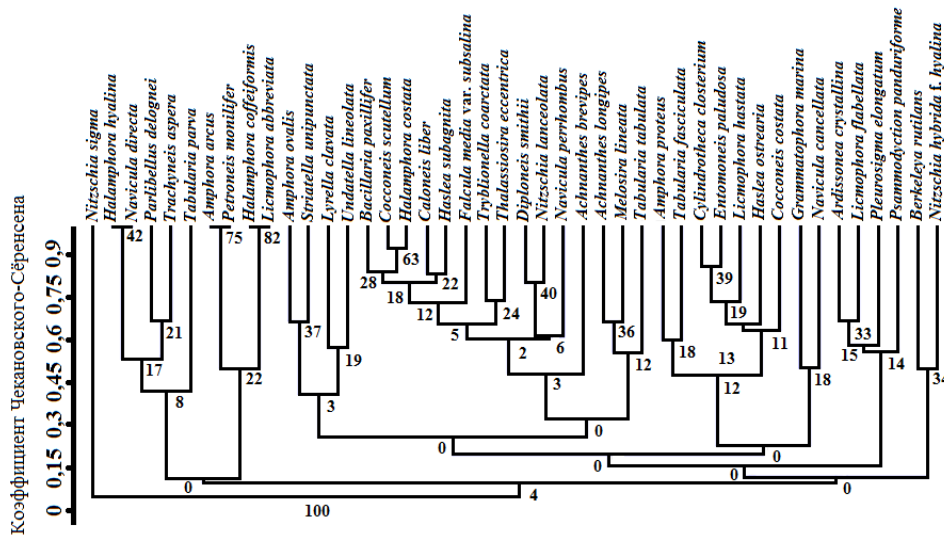


Рис. 8. Дендрограмма сходства диатомовых водорослей залива Донузлав по встречаемости видов (числа под дендрограммой — бутстреп-поддержка)

Fig. 8. Dendrogram of similarity of diatoms of Donuzlav Gulf by species occurrence (bootstrap support values are shown at nodes)

Годовой ход значений индекса выровненности видов Пиелу (e) в сообществах ДВ во многом был схож по своей динамике с годовым ходом значений индекса Шеннона — Уивера (H). Это объясняется их прямой взаимосвязью друг с другом. Изменчивость сообществ ДВ во многом зависит от температуры воды и сезона отбора проб. Наибольшая выровненность видов отмечена в сентябре, а наименьшая — в декабре (рис. 9). Что касается динамики индекса Пиелу по сезонам, то весной, при высоких его значениях, общая выровненность минимальна, а летом и осенью она существенно выше.

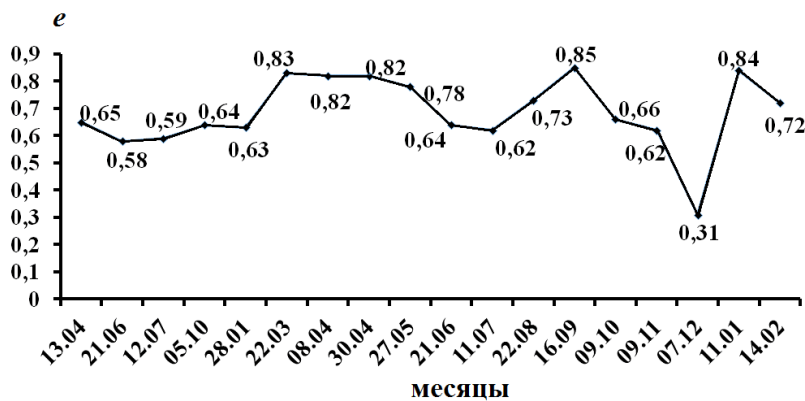


Рис. 9. Сезонная динамика средних значений индекса Пиелу (e) сообществ диатомовых водорослей в заливе Донузлав

Fig. 9. Seasonal dynamics of mean values of the Pielou index (e) of diatom communities in Donuzlav Gulf

Индекс выровненности видов в сообществах ДВ напрямую связан с индексом видового разнообразия Шеннона — Уивера, и при анализе его годовой динамики мы наблюдали различия в наименьших и наибольших колебаниях значений (рис. 9). Максимальные и минимальные значения индекса Пиелу и индекса Шеннона — Уивера отмечены в следующие месяцы: 0,31 (e) и 0,98 (H) в декабре и 0,85 (e) в сентябре и 3,26 (H) в мае (рис. 9, 10). Наименьшие значения для e и H зарегистрированы в декабре (0,31 и 0,98 соответственно), наибольшие выявлены для e в сентябре (0,85) и для H в мае (3,26) (рис. 9, 10). Это вызвано тем, что при низкой температуре воды, как зафиксировано в декабре, наблюдаются пики численности преобладающих видов. При высокой численности доминирующего вида индекс Пиелу всегда стремится к минимальным значениям. Средние значения температуры и солёности воды по сезонам, кроме зимы, относительно слабо различались между собой (см. табл. 1).

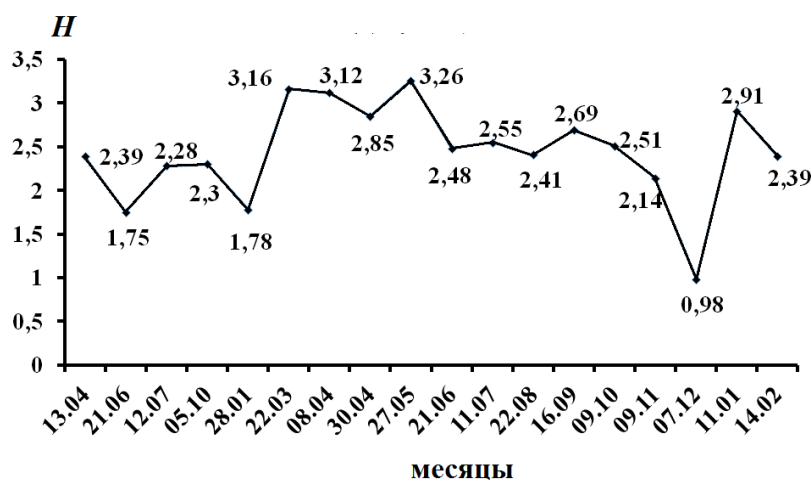


Рис. 10. Сезонная динамика индекса Шеннона — Уивера (H) диатомовых водорослей в заливе Донузлав

Fig. 10. Seasonal dynamics of the Shannon–Weaver index (H) for diatoms in Donuzlav Gulf

Зимой (декабрь — февраль) количественные характеристики популяций и сообществ ДВ были довольно низкими, как и гидрологические показатели (табл. 1). Доминировали колониальные виды *B. rutilans* ($N = 30,35 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,012$ мг \cdot см $^{-2}$) и *Tabularia fasciculata* ($N = 21,6 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,031$ мг \cdot см $^{-2}$). Субдоминантами были *Nitzschia hybrida* f. *hyalina* ($N = 7,3 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,029$ мг \cdot см $^{-2}$), *Tryblionella coarctata* ($N = 9,9 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,016$ мг \cdot см $^{-2}$) и *Haslea subagnita* ($N = 11,4 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,015$ мг \cdot см $^{-2}$).

Весной (март — май) доминировали *B. rutilans* ($N = 45,32 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,019$ мг \cdot см $^{-2}$), *C. closterium* ($N = 51,2 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,011$ мг \cdot см $^{-2}$) и *Licmophora abbreviata* ($N = 42,2 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,07$ мг \cdot см $^{-2}$), которые суммарно составляли 71 % по численности и 49 % по биомассе. Среди субдоминантов выявлены *H. subagnita* в марте ($N = 18,4 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,047$ мг \cdot см $^{-2}$), *Navicula directa* в апреле ($N = 25,6 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,151$ мг \cdot см $^{-2}$) и *N. perrhombus* в мае ($N = 15,5 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,051$ мг \cdot см $^{-2}$).

Что касается лета (июнь — август), то в июне 2019 г., при температуре +25,3 °C и солёности 13,86 ‰, популяция *B. rutilans* достигала наибольших значений количественных параметров ($N = 112,6 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,086$ мг \cdot см $^{-2}$) (табл. 1). Субдоминантами были *N. perrhombus* ($N = 61,4 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,094$ мг \cdot см $^{-2}$) и *L. abbreviata* ($N = 54,4 \cdot 10^3$ кл. \cdot см $^{-2}$ при $V = 0,07$ мг \cdot см $^{-2}$). В августе произошло снижение температуры воды до +20,6 °C на фоне повышения солёности до 16,72 ‰ (см. табл. 1), что привело к сокращению общей численности и при этом к увеличению биомассы сообществ ДВ до максимума (табл. 3). Также для летнего

сезона отмечен наибольший разброс значений численности и биомассы. В целом усреднённые значения численности и биомассы сообществ ДВ достигали максимума в весенне-летний период и минимума — в осенне-зимний.

Таблица 3. Средние значения и диапазон (min–max) численности (N) и биомассы (B) сообществ диатомовых водорослей в заливе Донузлав по сезонам (T — температура воды; Sal — солёность)

Table 3. Mean values and ranges (min–max) for abundance (N) and biomass (B) of diatom communities in Donuzlav Gulf by season (T, water temperature; Sal, salinity)

Сезон	T, °C	Sal, ‰	N, $\times 10^3$ кл.·см ⁻²	B, мг·см ⁻²
Весна	+10,0...+20,7	15,56–17,97	139,93 \pm 17,61 (126,31–157,57)	0,36 \pm 0,09 (0,218–0,510)
Лето	+20,6...+27,0	18,50–25,3	134,37 \pm 21,45 (68,3–254,0)	0,594 \pm 0,178 (0,19–1,15)
Осень	+14,1...+22,0	16,58–17,81	96,07 \pm 8,21 (14,8–154,6)	0,203 \pm 0,051 (0,037–0,486)
Зима	+7,0...+10,0	16,58–18,01	59,48 \pm 6,91 (57,05–63,54)	0,182 \pm 0,046 (0,112–0,322)

Примечание: после \pm приведена ошибка среднего при уровне значимости $p \leq 0,05$ ($n = 27$).

Note: after \pm , the error of the mean is given at a significance level of $p \leq 0.05$ ($n = 27$).

Осенью (сентябрь — ноябрь) при снижении температуры воды с +22,0 до +14,1 °C (см. табл. 1) выявлено уменьшение основных интегральных показателей обилия сообществ (табл. 3). Доминантами были *B. rutilans* ($N = 66,5 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² при $B = 0,012$ мг·см⁻²), *C. scutellum* ($N = 4,5 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² при $B = 0,018$ мг·см⁻²) и *L. abbreviata* (N от $43,6 \cdot 10^3$ до $58,4 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² при B от 0,167 до 0,285 мг·см⁻²). Субдоминантами были *Navicula cancellata* ($N = 14,8 \cdot 10^3$ кл.·см⁻² при $B = 0,042$ мг·см⁻²), а также *C. closterium*.

Нами показана степень доминирования круглогодичного мелкоклеточного вида *B. rutilans* в сообществах ДВ по индексу Бергера — Паркера, значения которого по сезонам составляли от 0,26 до 0,58 (рис. 11). Доля вида по численности — 40 % зимой, 27 % весной, 48 % летом и 30 % осенью. *B. rutilans* является мелкоклеточным видом, поэтому его доля по биомассе была крайне мала, до 8 % всего сообщества.

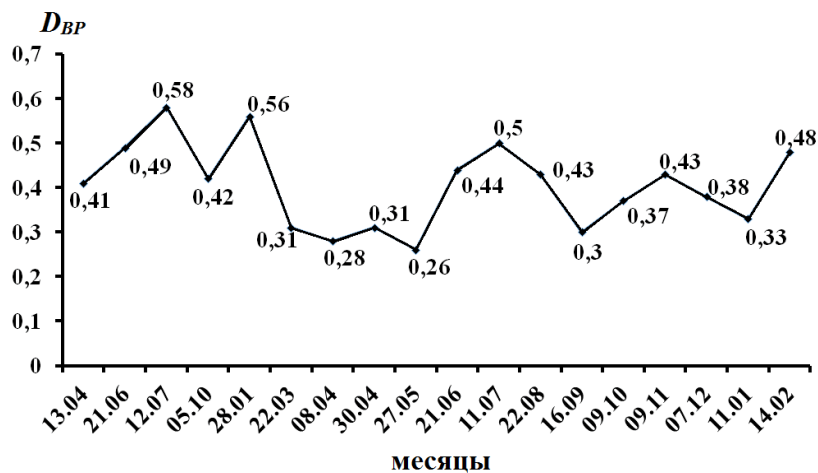


Рис. 11. Сезонная динамика индекса доминирования Бергера — Паркера (D_{BP}) для популяции диатомовой водоросли *Berkeleya rutilans* в заливе Донузлав

Fig. 11. Seasonal dynamics of the Berger–Parker dominance index (D_{BP}) for the population of a diatom *Berkeleya rutilans* in Donuzlav Gulf

- Malchenko Yu. A., Lipchenko A. E., Zhilyaev D. P., Bobrova S. A. Hydrological and hydrochemical conditions of the Crimean and Caucasus shelf zones in 2016–2017. *Trudy Gosudarstvennogo okeanograficheskogo instituta*, 2018, no. 219, pp. 66–87. (in Russ.]. <https://elibrary.ru/utdxnu>
4. Зуев Г. В., Болтачев А. Р. Влияние подводной добычи песка на экосистему лимана Донузлав // *Экология моря*. 1999. Вып. 48. С. 5–9. [Zuev G. V., Boltachev A. R. Influence of underwater quarrying of sand on the Donuzlav Estuary ecosystem. *Ekologiya morya*, 1999, iss. 48, pp. 5–9. (in Russ.]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/4199>
 5. Ли Р. И., Рябушко Л. И. Сезонная динамика видового состава и количественных характеристик диатомовых водорослей эпилимона Карантинной бухты в зависимости от температуры воды в Чёрном море // *Системы контроля окружающей среды* : сб. науч. тр. / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т. Севастополь, 2010. Вып. 14. С. 215–221. [Li R. I., Ryabushko L. I. Sezonnaya dinamika vidovogo sostava i kolichestvennykh kharakteristik diatomovykh vodoroslei epilimona Karantinnoi bukhty v zavisimosti ot temperatury vody v Chernom more. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* : sb. nauch. tr. / NAN Ukrainy, Mor. gidrofiz. in-t. Sevastopol, 2010, iss. 14, pp. 215–221. (in Russ.]. <https://elibrary.ru/lqrjiv>
 6. Лилицкая Г. Г., Царенко П. М., Маслов И. И. Bacillariophyta оз. Донузлав (Крым, Украина) // *Альгология*. 2012. Т. 22, № 1. С. 102–113. [Lilitskaya G. G., Tsarenko P. M., Maslov I. I. Bacillariophyta of Lake Donuzlav (the Crimea, Ukraine). *Algologia*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 102–113. (in Russ.)]
 7. Лишаев Д. Н., Рябушко Л. И. Видовая и количественная структура донных сообществ диатомовых водорослей эпилимона каменистых грунтов залива Донузлав (Крым, Чёрное море) // *Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана* : сб. тез. II Всерос. науч.-практ. шк.-конф., 28 сентября – 02 октября 2020 г., пгт Курортное, Феодосия, Республика Крым, РФ. Севастополь : ФГБНУ «Институт природно-технических систем», 2020. С. 124–125. [Lishaev D. N., Ryabushko L. I. Vidovaya i kolichestvennaya struktura donnykh soobshchestv diatomovykh vodoroslei epilimona kamenistykh gruntov zaliva Donuzlav (Krym, Chernoe more). In: *Nazemnye i morskije ekosistemy Prichernomor'ya i ikh okhrana* : sb. tez. II Vseros. nauch.-prakt. shk.-konf., 28 sentyabrya – 02 oktyabrya 2020 g., pgt Kurortnoe, Feodosiya, Respublika Krym, RF. Sevastopol : FGBNU “Institut prirodno-tekhnicheskikh sistem”, 2020, pp. 124–125. (in Russ.]. <https://elibrary.ru/twmrjo>
 8. Оксийук О. П., Юрченко В. В. О весе диатомовых водорослей // *Гидробиологический журнал*. 1971. Т. 7, № 3. С. 117–120. [Oxiyuk O. P., Yurchenko V. V. On the weight of Diatomeae algae. *Gidrobiologicheskii zhurnal*, 1971, vol. 7, no. 3, pp. 117–120. (in Russ.)]
 9. Рябушко В. И., Алеев М. Ю., Радченко В. Н., Рябушко Л. И., Чубчикова И. Н. Применение некоторых биоиндикаторов для оценки состояния импактных морских экосистем // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 2003. Вып. 2. С. 144–154. [Ryabushko V. I., Aleev M. Yu., Radchenko V. N., Ryabushko L. I., Chubchikova I. N. Application of some bioindicators for assessment of state of impact marine ecosystem. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa*, 2003, iss. 2, pp. 144–154. (in Russ.]. <https://elibrary.ru/xmrdlv>
 10. Рябушко Л. И. Диатомовые водоросли микрофитобентоса твёрдых грунтов прибрежных районов Севастопольской бухты (Чёрное море) // *Альгология*. 1994. Т. 4, № 2. С. 15–21. [Ryabushko L. I. Microphytobenthic diatom algae from the hard grounds in littoral of the Sevastopol Bay (the Black Sea). *Algologia*, 1994, vol. 4, no. 2, pp. 15–21. (in Russ.]. <https://elibrary.ru/naycpq>
 11. Рябушко Л. И. Микрофитобентос филлофорного поля Зернова (Чёрное море) // *Экосистемы*. 2020. № 23 (53). С. 16–31. [Ryabushko L. I. Microphytobenthos of Zernov's *Phyllophora* field (the Black Sea). *Ekosistemy*, 2020, no. 23 (53), pp. 16–31. (in Russ.]. <https://elibrary.ru/kyfkwmm>
 12. 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>
13. Рябушко Л. И., Бегун А. А. *Диатомовые водоросли микрофитобентоса Японского моря* : в 2 т. Севастополь ; Симферополь : Н.Орианда, 2015. Т. 1. 288 с. [Ryabushko L. I., Begun A. A. *Diatoms of Microphytobenthos of the Sea of Japan* : in 2 vols. Sevastopol ; Simferopol : N.Orianda, 2015, vol. 1, 288 p. (in Russ.)]. <https://repository.marine-research.ru/handle/299011/7924>
14. 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>
15. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В., Баринава С. С. Индикаторные микроводоросли бентоса в оценке степени органического загрязнения вод на примере крымского побережья Азовского моря // *Морской биологический журнал*. 2019а. Т. 4, № 3. С. 69–80. [Ryabushko L. I., Bondarenko A. V., Barinova S. S. Indicator benthic microalgae in assessment of the degree of organic water pollution on the example of Crimean coastal waters of the Sea of Azov. *Marine Biological Journal*, 2019a, vol. 4, no. 3, pp. 69–80. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.21072/mbj.2019.04.3.07>
16. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В., Мирошниченко Е. С., Лишаев Д. Н., Широян А. Г. Диатомовые водоросли и цианобактерии перифитона экспериментальных синтетических полимерных материалов в Карантинной бухте Чёрного моря // *Биология внутренних вод*. 2020. № 4. С. 355–363. [Ryabushko L. I., Bondarenko A. V., Miroshnichenko E. S., Lishaev D. N., Shiroyan A. G. Diatoms and cyanobacteria of periphyton of experimental synthetic polymer materials in Karantinnaya Bay in the Black Sea. *Biologiya vnutrennikh vod*, 2020, no. 4, pp. 355–363. (in Russ.)]. <https://doi.org/10.31857/s0320965220030158>
17. Самышев Э. З., Сеничкина Л. Г., Сергеева Н. Г., Михайлова Т. В., Панкратова Т. М. Структура и функционирование сообществ планктона и бентоса оз. Донузлав в условиях антропогенного загрязнения и оценка перспектив его рыбохозяйственного использования // *Системы контроля окружающей среды* : сб. науч. тр. / НАН Украины, Мор. гидрофиз. ин-т. Севастополь, 2001. С. 301–325. [Samyhev E. Z., Senichkina L. G., Sergeeva N. G., Mikhaylova T. V., Pankratova T. M. Structure and functioning of planktonic and benthic communities in the lake-estuary Donuzlav in the conditions of anthropogenic contamination and the estimation of outlooks of its fish industrial use. *Sistemy kontrolya okruzhayushchei sredy* : sb. nauch. tr. / NAN Ukrainy, Mor. gidrofiz. in-t. Sevastopol, 2001, pp. 301–325. (in Russ.)]. <https://elibrary.ru/nbstwe>
18. Христюк П. М. *Основные черты флоры водорослей пресных вод Крыма* : дис. ... канд. биол. наук. Симферополь, 1949. 1222 с. [Khristyuk P. M. *Osnovnye cherty flory vodoroslei presnykh vod Kryma*. [dissertation]. Simferopol, 1949, 1222 p. (in Russ.)]
19. *AlgaeBase*. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway / M. D. Guiry, G. M. Guiry (Eds) : [site], 2026. URL: <http://www.algaebase.org> [accessed: 17.04.2026].
20. Balycheva D. S. Seasonal quantitative dynamics of periphyton Bacillariophyta on experimental glass slides exposed monthly in a coastal seawater area of the Crimea. *International Journal on Algae*, 2014, vol. 16, iss. 3, pp. 229–236. <https://doi.org/10.1615/interjalgae.v16.i3.20>
21. 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*, 2019, vol. 48, iss. 2, pp. 125–139. <https://doi.org/10.1515/ohs-2019-0013>
22. Berger W. H., Parker F. L. Diversity of planktonic Foraminifera in deep-sea sediments. *Science*, 1970, vol. 168, iss. 3937, pp. 1345–1347. <https://doi.org/10.1126/science.168.3937.1345>

23. Blaginina A., Balycheva D., Miroshnichenko E., Ryabushko L., Kapranov S., Barinova S., Lishaev D. Does the elemental composition of rock surfaces affect marine benthic communities of diatoms and cyanobacteria? *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, vol. 11, iss. 8, art. 1569 (24 p.). <https://doi.org/10.3390/jmse11081569>
24. Calow R. A method for determining the surface areas of stones to enable quantitative density estimates of littoral stone-dwelling organisms to be made. *Hydrobiologia*, 1972, vol. 40, iss. 1, pp. 37–50. <https://doi.org/10.1007/bf00123590>
25. Dice L. R. Measures of the amount of ecologic association between species. *Ecology*, 1945, vol. 26, no. 3, pp. 297–302. <https://doi.org/10.2307/1932409>
26. Kuylenstierna 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.
27. Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, 1966, vol. 13, pp. 131–144. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(66\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0022-5193(66)90013-0)
28. 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.
29. Ryabushko L., Balycheva D., Kapranov S., Shiroyan A., Blaginina A., Barinova S. Seasonal dynamics of microphytobenthos distribution in three ecotopes on a mussel farm (Black Sea). *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023, vol. 11, iss. 11, art. 2100 (24 p.). <https://doi.org/10.3390/jmse11112100>
30. Ryabushko L., Begun A., Barinova S., Lishaev D. The pennate benthic diatoms of the sand beach of Kruglaya Bay (the Black Sea). *Transylvanian Review of Systematical and Ecological Research*, 2022, vol. 24, iss. 2, pp. 19–44. <https://doi.org/10.2478/trser-2022-0009>
31. Ryabushko L. I., Lishaev D. N., Kovrigina N. P. Species diversity of epilithon diatoms and the quality of the waters of the Donuzlav Gulf ecosystem (Crimea, the Black Sea). *Diversity*, 2019b, vol. 11, iss. 7, art. 114 (12 p.). <https://doi.org/10.3390/d11070114>
32. Shannon C. E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Vol. 1. Urbana, IL : University of Illinois Press, 1949, 117 p.
33. Sørensen T. *A Method of Establishing Groups of Equal Amplitude in Plant Sociology Based on Similarity of Species Content and Its Application to Analysis of the Vegetation on Danish Commons*. København : I kommission hos E. Munksgaard, 1948, 34 s. (Biologiske Skrifter/Kongelige Danske Videnskabernes Selskab, 1948, Bd 5, nr. 4).

SPECIES DIVERSITY OF THE EPILITHON DIATOMS OF DONUZLAV GULF (CRIMEA, THE BLACK SEA)

L. Ryabushko and D. Lishaev

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

For the first time, original and literature data are summarized on the composition of diatoms, their ecological and phytogeographic characteristics, seasonal dynamics, and structural indicators. Original data are based on 54 samples of the epilithon of Donuzlav Gulf (the Black Sea) taken in 2018–2020 at depths of 0.1–1.5 m, at temperatures of +7.0...+27.0 °C, and salinity of 13.86–18.60‰. We registered 75 taxa of the phylum Bacillariophyta represented by 3 classes, 13 orders, 20 families, and 38 genera. In the area of mariculture farms, 53 species were found. Out of those, 52 were common. A total of 59 taxa (29 genera) were noted in Donuzlav Gulf for the first time. The most species-diverse genera were *Navicula* (8 species), *Nitzschia* (7), *Licmophora* (6), and *Halamphora* (4). In winter, 32 species were recorded; in spring, 50; in summer, 42; and in autumn, 37. The communities were dominated by benthic species (88%), marine (47%), brackish-marine (39%), cosmopolitan (34%), and β -mesosaprobic (53%), *i. e.*, species that serve as indicators of moderate organic pollution of water. We identified 24 colonial species and 10 year-round ones: *Achnanthes longipes*, *Berkeleya rutilans*,

Caloneis liber, *Cocconeis scutellum*, *Cylindrotheca closterium*, *Grammatophora marina*, *Halamphora hyalina*, *Navicula perrhombus*, *Trachyneis aspera*, and *Synedrosphenia crystallina*. Also, one potentially toxic species was noted: *Halamphora coffeiformis*. The maximum richness of diatom species ($S = 18$), their abundance ($N = 254.0 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$), and biomass ($B = 1.15 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) were revealed in summer, while the minimum values ($S = 9$ species, $N = 14.8 \cdot 10^3 \text{ cells} \cdot \text{cm}^{-2}$, and $B = 0.037 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$) were observed in autumn.

Keywords: diatoms, ecological and phytogeographical characteristics, seasonal dynamics, species richness, abundance, biomass, epilithon, Donuzlav Gulf, Black Sea