ISSN 0868-854 (Print); ISSN 2413-5984 (*Online*).
Algologia. 2021. 31(*3*): *228–248*
https://doi.org/10.15407/alg31.03.228

Присвячується світлій пам'яті чл.-кор. НАН України Б.Г. Александрова

Вплив екологічних факторів на мікроводорості псамону на прикладі Одеської затоки (Чорне море, Україна)

Снігірьова А.О.[1*], Сілантьєв С.О.[2], Гончаров О.Ю.[3], Кошелев О.В.[1]

[1] *Інститут морської біології НАН України, вул. Пушкінська, 37, Одеса 65048 Україна*
[2] *Rowett Institute, University of Aberdeen, Ashgrove Road West, Aberdeen AB25 2ZD, UK*
[3] *Український науковий центр екології моря, Французький бульвар, 89, Одеса 65009 Україна*
snigireva.a@gmail.com

Надійшла до редакції 19.01.2021. Після доопрацювання 21.05. 2021. Підписана до друку 20.07.2021. Опублікована 22.09.2021

Реферат. Досліджено вплив екологічних факторів на морські мікроводорості піщаного узбережжя Одеської затоки. Незважаючи на достатню вивченість впливу фізичних та хімічних факторів середовища на мікроводорості, процеси, що відбуваються на піщаній супраліторалі в регіоні Чорного моря, потребують додаткових досліджень. В ході польового багатофакторного експерименту на узбережжі Одеської затоки досліджено взаємозалежність між чисельністю мікроводоростей та 14 екологічними факторами: низка параметрів, що визначають гранулометричний склад піску, біогенні елементи, температуру, солоність води, гідродинаміку та токсичність. Проаналізовано таксономічний склад мікроводоростей фітопсамону та їх розподіл у різних біотопах у холодноводний та тепловодний періоди. Пріоритетним фактором для угруповання фітопсамону в будь-який сезон є розмір піщинок та концентрація розчиненого кремнію. Інші параметри залежать від пори року: влітку сполуки мінерального азоту (нітрати та нітрити) є пріоритетним фактором, восени цю роль відіграють органічний азот та мулиста фракція піску.

Ключові слова: фітопсамон, екологічні фактори, гранулометричний склад, піщані пляжі, Чорне море, Україна

© Снігірьова А.О., Сілантьєв С.О., Гончаров О.Ю., Кошелев О.В., 2021

Вступ

Пісок – один з основних субстратів узбережжя Чорного моря. Особливо це стосується його північно-західної частини, де піщані пляжі займають 90% (2076 км) узбережжя. Піщані береги представляють крайовий біотоп, який акумулює вплив моря і узбережжя. У таких екотонах проходять відбуваються численні інтенсивні фізичні та хімічні процеси, що призводять до збільшення чисельності морських організмів та високого біорізноманіття (Zaitsev, 2012a). Видатний учений XX ст. В. Вернадський (1965) сформулював концепцію концен-трування живої речовини на зовнішніх межах океану. Поверхня моря, морське дно та прибережна лінія є зонами концентрування життя, де межують різні середовища. Дана концепція була розроблена К.А. Вино-градовим (Vinogradov, 1971) («контактні зони») та Ю.П. Зайцевим («контурні біотопи») (Zaitsev, 2012b). Останній класифікував ці зони як аероконтур (нейстон, поверхня моря, що межує з атмосферою), псамоконтур (морське піщане узбережжя та морське дно), літоконтур (морське узбережжя скелі та морське дно), пелоконтур (морський мул та товща води), біоконтур (поверхня морських організмів) та потамоконтур (річка та море). Поняття контурних біотопів збігається з теорією ергоклінів (“ergoclines”), сформульованою Л. Лежандром зі співавт. (Legendre et al., 1986).

Мешканці морських піщаних берегів досить добре досліджені, особливо мейобентосні тварини, які мешкають в інтерстиціальному просторі узбережжя різних морів Світового океану (Remane, 1959; McIntyre, 1969; Vorobyova et al.; 1992; Azovsky et al., 2004; Kalinowska, 2008; Kulakova, 2009). Щодо автотрофних організмів, є багато даних про епіпельні (рухливі) водорості припливних зон з різних регіонів (Park, 1988; Romani, Sabater, 2001; Saburova et al., 2001; Vilbaste, 2001; Mitbavkar, Anil, 2002; Du et al., 2010). Досить мало робіт, присвячених морським епіпсамонним водоростям (Jewson et al., 2006). Більшість з них датуються серединою 80-х рр. (Jonge, 1985; Sunbäck, Medlin, 1986; Sunbäck, 1987). Відомо, що саме епіпсамонна мікрофлора більш притаманна морським біотопам, ніж прісним (Round, 1965; Meadows, Anderson, 1968).

У порівнянні з іншими морями, піщані узбережжя Чорного моря мають певні особливості. Припливи тут майже непомітні через їхній незначний діапазон (до 4 см). Такі умови формують специфічні, порівняно з іншими морями, режими гідродинаміки, вологості, освітленості, хімічного складу, тощо (Zaitsev, Mamaev, 1997). Ці фактори необхідно враховувати при вивченні досліджуваного біотопу.

Окреме угруповання фітопсамону представлено діатомовими, зеленими водоростями, групами джгутикових, ціанобактеріями (Kovtun, 2012; Snigirova, 2013; Snigireva, Kovaleva, 2015). Під фітопсамоном ми розуміємо угруповання автотрофних організмів, які живуть між

частинками піску, рухаються по їхній поверхні або прикріплюються до них. Таким чином, ми включаємо в це угруповання як епіпельні, так і епіпсамонні мікроводорості.

При організації довгострокового екологічного моніторингу необхідно зважати на скорочення витрат часу та ресурсів. Це також стосується вибору екологічних факторів для морських досліджень. В контурних біотопах актуальними є певні абіотичні фактори, не представлені в інших біотопах. Для піщаного узбережжя, або псамоконтуру, це гранулометричний склад піску та хвильова активність (Perkins, 1974; McLachlan, Brown, 2006). Характер їхнього впливу на автотрофні організми не зовсім зрозумілий. На нашу думку, необхідно більш детально дослідити процеси формування угруповання фітопсамону та його реакції на фактори середовища.

Мета даної роботи – дослідити, які з обраних фізичних та хімічних параметрів середовища найбільше впливають на мікроводорості піщаного морського узбережжя на прикладі Одеської затоки.

Матеріали та методи

Матеріалом для роботи були проби піску, зібрані на п’яти піщаних пляжах Одеської затоки (рис. 1, табл. 1) у листопаді–грудні 2006 р. (холодноводний період) та серпні–вересні 2007 р. (тепловодний). Проб відбирали в зоні заплеску морської води (0,1–2 м, 3–5 м вище урізу води), у тимчасових водоймах та стоках дренажних вод (див. рис. 1).

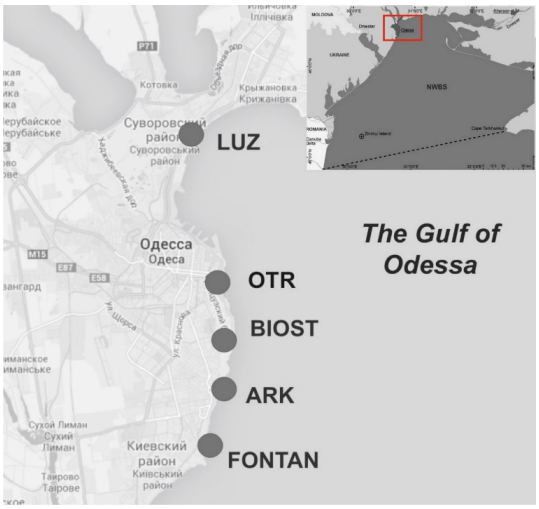

Рис. 1. Станції відбору проб на п’яти піщаних пляжах Одеської затоки

Тимчасові водойми розташовувалися на станціях: Біостанція (BIOST) (площа близько 5 м^2, глибина 0,3 м) та Фонтан (FONT) (площа 25 м^2,

глибина 0,7 м), дренажні води – в районі станцій Отрада (OTR) та Аркадія (ARK). Зразки відбирали пробовідбірником з площею поверхні 16 см^2 у верхньому шарі піску (0–2 см). Всього відібрано 49 проб: 30 проб восени 2006 р. (15 проб у зоні заплеску, 8 проб у тимчасових водоймах та 7 проб у дренажних водах) та 19 проб влітку 2007 р. (11 проб у зоні заплеску і по 4 у тимчасових водоймах і дренажних водах). Чисельність мікроводоростей визначали на 1 см^2. Для ідентифікації видів та з'ясування сучасного систематичного положення ми використовували наступні джерела: Tsarenko, 1990; Guslyakov et al., 1992; Witkowski et al., 2000; Krakhmalnyi, 2010; Guiry, Guiry, 2021. Екологічна класифікація представлена з використанням робіт: Snoeijs, 1993; Snoeijs, Vilbaste 1994; Snoeijs, Potapova, 1995; Snoeijs, Kasperoviciene, 1996; Bukhtiyarova, 1999; Barinova et al., 2006; Nevrova, Petrov, 2008; Kovtun, 2012; Snigirova, 2015.

Таблиця 1. **Координати станцій району досліджень**

Станція	Координати	
	Широта	Довгота
LUZ – Лузанівка	46˚33'06.39"	30˚46'02.73"
OTR – Отрада	46˚28'07.27"	30˚45'48.34"
BIOST – Біостанція	46˚26'28.33"	30˚46'21.17"
ARK – Аркадія	46˚25'38.26"	30˚46'01.01"
FONT – Фонтан	46˚24'426.48"	30˚45'41,94"

Одночасно з ідентифікацією водоростей були визначені такі характеристики: гранулометричний склад піску на основі модуля його крупності (MDK), медіанний (GRAN) та сортувальний (SO) коефіцієнти, об'єм найближчого життєвого простору (CLS), вміст мулистої частки (менше 0,1 мм) (SILTY); температура та солоність води (SAL); вміст поживних речовин у морській та інтерстиціальній воді (амоній (NH_3), сума нітратів та нитритів (NO_2 + NO_3), неорганічний фосфор (DIP) та кремній (Si), розчинені органічні азот (DON) та фосфор (DOP), гідродинаміка (HYDRO) та токсичність води (TOX) (табл. 2).

Для гідрохімічного та токсикологічного аналізів на місцях, розташованих на березі, була зібрана інтерстиціальна вода. Вміст біогенних елементів визначали стандартними методами (Grasshoff, 1999). Токсичність води встановлювали в лабораторії біотестування Інституту морської біології НАН України (Одеса, Україна) на основі виживання об'єктів лабораторних досліджень: партеногенетичних самок *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg для прісних вод та науплії *Artemia salina* L. для морських вод. Токсичність виражали у відсотку організмів, що вижили у порівнянні з контролем.

Гідродинаміку визначали за допомогою гіпсових конструкцій (блоки 0,5–0,7 г) за відомою методикою (Muus, 1968). Після експозиції гіпсові конструкції виносили з води, сушили і зважували. Гідродинаміку визначали як втрату маси блока (LBM) на одиницю маси за годину (% · h-) за формулою:

$$LBM\ (\% \cdot h^{-}) = (M_0 - M_t) / т \cdot 1 / M_0 \cdot 100\%,$$

де M_0 – початкова маса блоку, M_t – кінцева, t – час експозиції (год).

Об'єм найближчого життєвого простору (CLS) в інтерстиціях вимірювали на основі водонасичення піску і розраховували за формулою (Khailov et al., 1994):

$$k = (M_w / \rho_w) / (M_w / \rho_w + M_s / 2{,}65),$$

де M_w – маса води, що заповнює інтерстиціальний простір; ρ_w – густина води; M_s – маса випробуваного піску.

Аналіз впливу характеру ґрунту на фітопсамон оцінювали за п’ятьма параметрами: модулем крупності піску, стандартними гранулометричними коефіцієнтами (медіанний та сортувальний коефіцієнт), об'ємом найближчого життєвого простору, вмістом мулистої фракції піску (менше 0,1 мм). Гранулометричний склад піску визначали ситовим аналізом. Розрахунки MDK проводили за відомою методикою (Vorobyova, Kulakova, 2009). Медіанний та сортувальний коефіцієнти, що широко використовуються в морській геології, визначали за методиками, описаними в літературі (Krumbein, Pettijohn, 1938; Friedman, Johnson, 1982).

Статистичну обробку результатів проводили методами канонічного аналізу відповідності CCA, використовуючи програмний пакет Microsoft Excel 2003 та XLStat-2011.

Результати та обговорення

Фактори навколишнього середовища

Ми розділили період дослідження на тепловодний і холодноводний. Середня температура морської води в теплий період становила 20,3 °C і відповідала гідрологічному літу; холодноводний період (у середньому 8,3 °C) відповідав гідрологічній осені чорноморського регіону. Температура різних біотопів становила влітку 18,4–22,3 ºC, восени – 7,4–10,8 ºC (табл. 2). Температура води в дренажних водах влітку була на 2–4 ºC нижче, ніж в інших біотопах. Найвища температура спостерігалася в тимчасових водоймах – 22 ºC, у зоні заплеску 14–23 ºC. Температура дренажних вод восени була на 3 ºC вище, ніж в інших біотопах, і становила 7,0–9,5 ºC. Тільки на одній ділянці (OTR), на відстані 1 м від краю води, зафіксована температура піску 3,5 ºC, при цьому температура морської води становила 7,0 ºC.

Таблиця 2. **Екологічні параметри в різних біотопах Одеського узбережжя**

Параметр	Літо			Осінь			Середнє		R
	SZ	TW	DW	SZ	TW	DW	Su	Au	
HYDRO	6,427±2,492	4,062±3,073	4,310±2,826	1,254±0,657	0,865±0,771	1,440±0,888	**4,9**	**2,0**	**2,5**
SO	1,565±0,115	1,697±0,051	1,811±0,089	1,482±0,034	1,538±0,060	1,614±0,063	**1,7**	**1,5**	**1,1**
MDK	4,764±0,379	4,969±0,210	4,746±0,300	4,751±0,226	5,129±0,111	5,297±0,153	**4,8**	**5,1**	**0,9**
GRAN	0,432±0,135	0,250±0,042	0,296±0,051	0,354±0,068	0,268±0,039	0,198±0,021	**0,3**	**0,3**	**1,3**
SILTY	41,505±12,125	36,414±9,401	34,928±12,8	35,064±8,070	42,978±6,018	56,878±7,78	**37,6**	**44,6**	**0,8**
CLS	0,409±0,008	0,453±0,012	0,436±0,016	0,411±0,024	0,380±0,019	0,354±0,027	**0,4**	**0,4**	**1,1**
TOX	98,409±0,773	96,250±1,614	81,875±12,39	87,889±5,501	95,079±2,407	26,60±7,40	**92,2**	**70,1**	**1,3**
SAL	12,580±1,555	16,025±0,135	4,768±3,768	11,056±1,055	11,290±1,092	2,343±0,132	**11,1**	**8,1**	**1,4**
TEM	20,300±0,900	22,300±2,700	18,400±0,900	7,600±0,400	7,400±0,500	10,800±0,800	**20,3**	**8,6**	**2,4**
DIP	0,058±0,022	0,028±0,010	0,079±0,065	0,078±0,011	0,055±0,011	0,097±0,025	**0,06**	**0,1**	**0,6**
NH_3	0,036±0,008	0,016±0,013	0,009±0,006	0,050±0,012	0,052±0,017	0,017±0,002	**0,02**	**0,1**	**0,2**
NO_2+NO_3	0,882±0,392	0,121±0,083	12,056±0,353	1,215±0,539	0,111±0,013	4,771±0,944	**4,3**	**2,0**	**2,1**
Si	1,463±0,174	0,832±0,205	2,638±0,604	1,951±0,201	1,680±0,198	4,357±0,179	**1,6**	**2,7**	**0,6**
DOP	0,023±0,004	0,012±0,007	0,029±0,024	0,021±0,003	0,018±0,004	0,013±0,003	**0,02**	**0,02**	**0,0**
DON	2,324±0,941	1,639±0,351	18,025±8,310	4,226±2,076	1,733±0,889	10,911±4,204	**6,7**	**5,6**	**1,1**

Позначення: SZ – зона заплеску, TW – тимчасові водойми, DW – дренажні води; Su – літо, Au – осінь, R – співвідношення середніх параметрів; HYDRO – гідродинаміка, % $\cdot h^{-1}$; SO – коефіцієнт сортування; MDK – модуль крупності піску; GRAN – медіанний коефіцієнт; SILTY – мулиста фракція, %; CLS – об'єм найближчого життєвого простору; TOX – токсичність,%; SAL – солоність, ‰; TEM – температура, °C; DIP – неорганічний фосфор, мгР$\cdot$л$^{-1}$; NH_3 – амоній, мгN$\cdot$л$^{-1}$; NO_2 + NO_3 – нітрати та нітрити, мгN $\cdot$ л$^{-1}$; Si – кремній, мгSi$\cdot$л$^{-1}$, DOP – фосфор, мгР$\cdot$л$^{-1}$; DON – органічний азот, мгN$\cdot$л$^{-1}$.

Влітку гідродинаміка в зоні заплеску була вищою (6%·год$^{-}$), ніж в інших біотопах (4,1%·год$^{-}$), а восени відрізнялася ще більше, досягаючи на деяких станціях 34%·год (табл. 2).

Протягом досліджень на Одеському узбережжі гранулометричний склад ґрунту (за модулем крупності піску) коливався в межах 2,6–6,0 MDK влітку та від 4,0–5,7 MDK восени. У тимчасових водоймах і в дренажних водах цей показник дуже мало відрізнявся в усі пори року (4,3–5,7 MDK), у зоні заплеску сильно коливався: 2,7–6,0 MDK влітку та 3,0–5,7 MDK восени.

Коефіцієнт сортування (SO) на всіх ділянках дещо відрізнявся (1,3–1,9) і свідчив про значне пляжне сортування, тобто спостерігалося переважання однієї з піщаних фракцій. За умови такого сортування медіанний коефіцієнт (GRAN) може безпосередньо характеризувати середній розмір піщинок. Він становив 0,12–1,30 влітку та 0,13–0,90 восени. Найнижчі значення середніх розмірів піщинок були характерними для тимчасових водойм та дренажних вод (0,25 і 0,29 відповідно). У зоні заплеску вони були трохи вищими (0,43). Діапазон змін цього показника в зоні заплеску становив 0,12–1,30, а в інших біотопах його верхня межа була в чотири рази менше – 0,15–0,37.

Високий вміст мулових фракцій спостерігався на всіх ділянках дренажних вод та тимчасових водойм і становив у середньому 34,9–36,4% влітку та 42,9–56,8% восени (табл. 2). На деяких ділянках у зоні заплеску внесок тонкої фракції також був високим (до 94,9% влітку та 83,8% восени), але на 35–45% ділянок її вміст був близьким до нуля.

Об'єм найближчого життєвого простору коливався у вузьких межах. Середні показники влітку в тимчасових водоймах (0,45) дещо перевищували показники в інших біотопах (0,41–0,43). Восени ця тенденція була характерною для зони заплеску (0,41), з нижчими значеннями на інших станціях (0,35–0,38).

Найвища токсичність у всі пори року була характерною для дренажних вод. В осінній період це було особливо помітно на станції Отрада, де вижило 7,9% випробовуваних організмів. Однак цього не спостерігалося тут влітку (90,0–97,5%). Токсичність дренажного стоку на ділянці Аркадія коливалася від 30,0 до 51,3%. Загалом вода різних біотопів характеризувалася низькою токсичністю (81,8–98,4%).

Найвищі показники солоності були властиві тимчасовим водоймам в усі сезони. Тут вона була на 1–4‰ вищою, ніж в інших біотопах. Ймовірно, це пов’язано з процесами випаровування (Perkins, 1974), оскільки в літні місяці різниця була вищою. Варто згадати, що зміна солоності пов'язана з відстанню від урізу води. На станціях Аркадія, Біостанція і Отрада на відстані 3–5 м від урізу води (еупсамон) солоність інтерстиціальної води коливалася від 2 до 8‰ влітку і на відстані 1–2 м від урізу (гідропсамон) –

від 3 до 9‰ восени. Ця різниця може бути обумовлена впливом прісної води дренажних вод (Аркадія, Отрада, Біостанція).

Дренажні води на станціях Аркадія та Отрада були прісними, з високим вмістом біогенних речовин (фосфатів, мінерального азоту, кремнію). Завдяки високій інтенсивності фізико-хімічних процесів у контурних зонах тут спостерігається підвищений вміст біогенних елементів, що є відмінною рисою цього середовища існування порівняно з товщею води. Так, порова (інтерстиціальна) вода має вищі концентрації біогенних мінеральних та органічних речовин, ніж морська. Ми відмічали підвищення вмісту цих речовин при віддаленні від урізу води. Наприклад, концентрація неорганічних сполук фосфору та азоту (DIP та NH_3) була вдвічі вищою на відстані 1 та 3 м від урізу відповідно (рис. 2) і для органічного азоту (DON) на відстані 1 м (рис. 3). Вміст кремнію та органічного фосфору (Si та DOP) був приблизно однаковим, вміст нітритів та нітратів (NO_2 та NO_3) – у 1,5 раза вищим на відстані 1 м, ніж на 0 або 3 м.

Концентрація мінерального фосфору становила від 0,01 до 0,25 мгР·л$^{-1}$ та органічного – від 0,01 до 0,10 мгР·л$^{-1}$. Вміст сполук азоту був значно вищим, особливо для нітратів та органічного азоту, діапазон значень яких становив відповідно 0,02–12,6 мгN·л$^{-1}$ та 0,01–39,96 мгN·л$^{-1}$. Концентрація розчиненого кремнію також була високою – 0,60–4,70 мг Si·л$^{-1}$ (табл. 2).

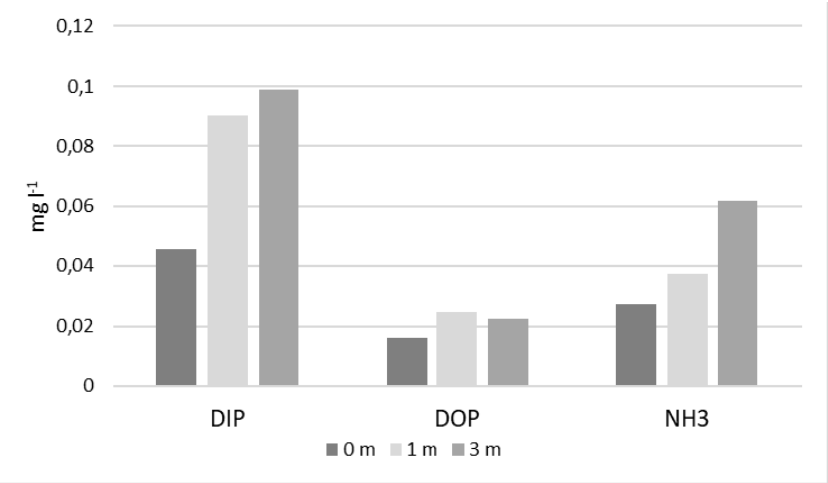

Рис. 2. Вміст біогенних елементів (фосфору та амонію) з віддаленням від урізу води

За нашими даними, найвищі концентрації нітратів, нітритів та кремнію спостерігалися в дренажних водах на станціях Аркадія та Отрада, найвищі концентрації органічного азоту – в зоні заплеску в Аркадії (11,7 мгN·л$^{-1}$) та Біостанції (11,5 мгN·л$^{-1}$), що свідчить про найбільший антропогенний вплив у цих районах. В інших біотопах вміст біогенних елементів

змінювався несуттєво. Найнижча їхня концентрація зареєстрована в Лузанівці, яка знаходиться в іншій частині затоки, на найвіддаленішій відстані від міста.

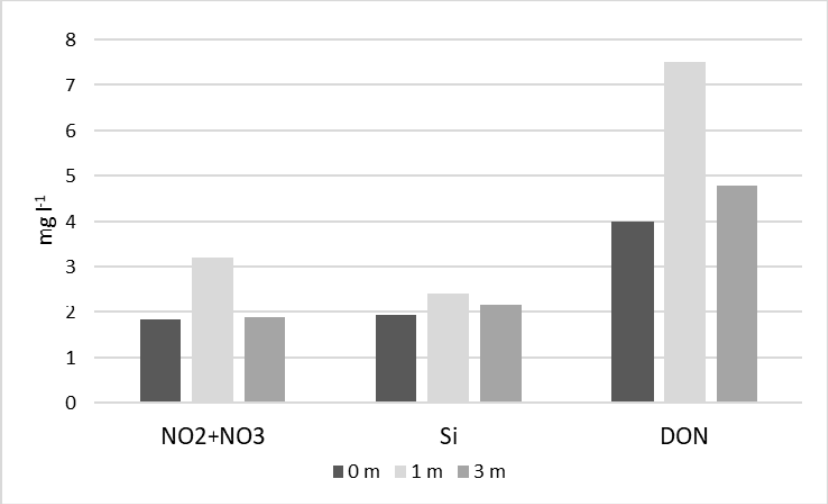

Рис. 3. Вміст біогенних елементів (нітратів, нітритів, кремнію, органічного азоту) з віддаленням від урізу води

Вміст нітратів та нітритів на узбережжі Одеської затоки влітку був у 2 рази вищим, ніж восени, а вміст органічного азоту – в 1,1 раза. Біля витоків дренажних вод у теплий період вміст амонію був вищим у 10 разів, нітратів, нітритів, органічного фосфору – втричі, органічного азоту – вдвічі. Навпаки, вміст кремнію в холодноводний період був удвічі вищим, ніж у тепловодний (див. табл. 2).

У зоні заплеску по сезонам змінювалася лише концентрація органічного азоту, зростаючи в 7 разів в осінній період. У тимчасових водоймах спостерігалися сезонні зміни мінерального фосфору, амонію та кремнію, що зростали в холодноводний період. Станції в зоні заплеску за відсутності впливу дренажного стоку (Біостанція, Лузанівка) мали відносно низький вміст поживних речовин (див. табл. 2), тимчасові водойми – найменший їхній вміст. Осінній період характеризувався низьким вмістом мінеральних елементів, зберігаючи той самий розподіл, що і влітку.

Мікроводорості

В угрупованні фітопсамону Одеської затоки виявлено 76 таксонів автотрофних організмів, з них 55 належать до *Bacillariophyta*, 3 – *Chlorophyta*, 2 – *Cryptophyta*, 3 – *Dinophyta*, 4 – *Euglenophyta* та 9 – *Cyanoprokaryota*.

Аналіз CCA включав 44 види, що зустрічаються щонайменше на 3–5 станціях (табл. 3). Більшість видів фітопсамону були епіпельними (20 видів, або 39%) та епіпсамонними (14 видів, або 27%). Решта мікроводоростей представлена епіфітними (11 видів, 14,5%) та планктонними (4 види, або 5,2 %). Деякі з них були постійним компонентом псамону: *Tabularia fasciculata* (C.Agardh) D.M.Williams et Round *Merismopedia punctata* Meyen. Їхній відсоток був вищим у теплу пору року порівняно із холодним періодом. Детальна класифікація водоростей псамону за еколого-біологічними характеристиками представлена раніше (Snigirova, 2015).

Серед 44 видів, які були включені в аналіз CCA, 25 траплялися в обидва сезони. Влітку зареєстровано 9 видів (*Achnanthes* sp., *Diatoma vulgaris* Bory, *Diploneis subadvena* Hust., *Entomoneis paludosa* (W.Sm.) Reimer, *Pleurosigma elongatum* (W.Sm.) van Heurk, *Tabularia fasciculata*, *Oscillatoria margaritifera* Kütz. ex Gomont), восени – 10 (*Amphora caroliniana* Giffen, *Hippodonta capitata* (Ehrenb.) Lange-Bert. et al., *Navicula cancellata* Donkin, *N. ramosissima* (C.Agardh) Cleve, *Navicula* sp. 5, *Planothidium* cf. *lanceolatum* (Bréb. ex Kütz.) Lange-Bert., *Pseudo-nitzschia seriata*, *Amphidinium* sp., *Prorocentrum* sp., *Phormidium nigroviride* (Thw. ex Gomont) Anagn. et Komárek).

Таблиця 3. **Розподіл мікроводоростей фітопсамону (тис. кл.·см$^{-2}$, сер. знач.) в Одеській затоці в літній та осінній періоди**

Таксон	Код	Осінь			Літо		
		SZ	TW	DW	SZ	TW	DW
Achnanthes brevipes C.Agardh	Ach br	0,0	0,9	20,1	1,9	47,2	3333,5
Achnanthes sp.	Ach sp	0,5	2,4	2,7	1,1	10,5	1315,3
Amphora caroliniana Giffen	Am ca	1,4	36,5	9,2	0,0	127,5	0,0
A. proteus Greg.	Am pr	2,9	0,2	1,3	2,2	1,7	26,1
Amphora sp. 1	Am 1	1,4	16,3	26,7	1,1	125,7	492,5
Amphora sp. 2	Am 2	0,5	22,1	79,8	49,4	225,1	471,5
Attheya decora T.West	Att de	0,9	138,3	1,3	6,1	1,0	0,0
Cylindrotheca closterium (Ehrenb.) Reimann et J.C.Lewin	Cy clost	9,7	3,1	6,6	68,9	146,6	214,8
Diatoma vulgaris Bory	Diat vu	3,0	73,4	3,0	2,3	293,4	0,0
Diploneis subadvena Hust.	Dipl sub	0,4	0,0	11,2	0,0	0,0	1908,9
Entomoneis paludosa (W.Sm.) Reimer	Ent pal	0,0	32,1	0,0	1,1	223,7	0,0

Genus et sp. Indet	Bac sp	1,1	1,9	0,0	0,0	61,1	0,0
Halamphora coffeaeformis (C.Agardh.) Levkov	Halam coff	0,8	25,4	7,9	3,8	113,6	10,5
Hippodonta capitata (Ehrenb.) Lange-Bert. et al.	Hip cap	0,1	0,0	34,2	0,0	0,0	47,2
Navicula cancellata Donkin	Nav canc	6,9	4,3	0,0	11,4	0,0	0,0
N. phylleptosoma Lange-Bert.	Nav phyl	28,3	53,5	248,5	203,2	10,5	0,0
N. pontica (Mereschk.) A.Witkowski et al.	Nav pont	3,0	39,7	7,6	10,3	110,1	20,9
N. ramosissima (C.Agardh) Cleve	Nav ram	4,9	779,6	0,0	0,0	0,0	0,0
N. salinarum Grunow	Nav sal	83,0	10142,8	5974,6	50,3	435,1	990,4
Navicula sp. 1	Nav 1	3,6	17,4	6,3	15,9	508,0	691,8
Navicula sp. 2	Nav 2	4,7	2,4	92,5	30,5	132,0	977,5
Navicula sp. 5	Nav 5	2,1	0,0	38,6	0,0	0,0	0,0
Nitzschia hybrida Grunow in Cleve et Grunow	Nit hy	1,8	45,3	17,4	1,1	0,0	20,8
Nitzschia sp.	Nit sp	0,0	0,0	0,0	2,7	1,6	2,8
Plagiotropis lepidoptera (W.Greg.) Kuntze	Plag lep	0,1	14,9	10,5	0,0	19,2	0,0
Planothidium cf. *lanceolatum* (Bréb. ex Kütz.) Lange-Bert.	Plan la	0,4	8,1	70,9	0,0	0,0	0,0
P. delicatulum (Kütz.) Round et Bukht.	Plan del	0,1	40,8	50,8	11,8	5,2	31,6
Pleurosigma elongatum (W.Sm.) van Heurk	Pleur el	0,0	2,1	0,0	3,4	83,8	73,4
Pseudo-nitzschia seriata (Cleve) H.Perag.	Pseud se	24,4	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0
Rhoicosphenia abbreviata (C.Agardh) Lange-Bert.	Rhoic abb	0,0	2,3	80,6	1,1	0,0	1829,2
Skeletonema costatum (Grev.) Cleve	Scel cost	197,7	24,3	0,0	0,0	0,0	0,0
Tabularia fasciculata (C.Agardh) D.M.Williams et Round	Tab fasc	0,1	2,4	5,7	0,0	5,2	68,4
Tryblionella acuminata (W.Sm.) Grunow	Tryb ac	0,0	10,2	5,2	1,1	10,4	0,0
Genus et sp. Indet	Dino	15,3	32,4	14,8	93,3	3,5	0,0
Amphidinium sp.	Amphi sp	3,1	433,6	5,8	0,0	0,0	0,0
Prorocentrum sp.	Pror sp	3,0	0,0	81,2	0,0	31,4	0,0

Genus et sp. Indet	Cyan	22,9	14,3	32,3	68,6	76,9	120,6
Aphanocapsa litoralis (Hansg.) Komárek et Anagn.	Aph li	1,5	5,1	274,2	8,0	403,6	40927,8
Merismopedia punctata Meyen	Meris pun	20,7	23,6	0,0	613,2	974,8	4764,2
Oscillatoria margaritifera Kütz. ex Gomont	Osc ma	0,0	1,2	0,0	1,1	57,7	0,0
Phormidium nigroviride (Thw. ex Gomont) Anagn. et Komárek	Phorm nv	0,5	0,0	122,8	0,0	47,2	62,7
Clamidomonas sp. 1	Chl 1	13,5	5,3	14,4	86,4	47,2	88,9
Clamidomonas sp. 2	Chl 2	1,4	35,8	16,9	42,9	58,8	94,3
Cryptomonas sp.	Crypt sp	1,8	32,1	0,0	53,7	60,9	10,5

П о з н а ч е н н я . TW – тимчасові водойми, SZ – зона заплеску, DW – дренажні води.

Проаналізовано розподіл мікроводоростей у різних біотопах (табл. 4). У зоні заплеску переважали ціанопрокаріоти та криптофітові, у тимчасових водоймах – діатомові та динофлагеляти, а поблизу виходу дренажних вод – діатомові, зелені водорості та ціанопрокаріоти.

У зоні заплеску найпоширенішими були дрібні види (до 20 мкм) роду *Navicula* Bory de Saint-Vincent, а також планктонні види *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve та *Merismopedia punctata* Meyen.

Таблиця 4. **Чисельність фітопсамону (тис. кл.·см$^{-2}$) у різних біотопах Одеського узбережжя**

Біотоп	min	max	середня
Зона заплеску	0,9	626,8	82,6
Тимчасові водойми	14,6	6672,4	767,2
Дренажні води	7,6	8504,2	1604,3

Основу комплексу домінуючих видів водоростей, що мешкають біля дренажних вод, складали 4 види діатомових (*Achnanthes brevipes* C.Agardh, *Diatoma tenue* C.Agardh, *D. vulgaris* Bory, *Rhoicosphenia abbreviata* (C.Agardh) Lange-Bert.), 1 вид ціанопрокаріот (*Aphanocapsa litoralis* (Hansg.) Komárek et Anagn.) та 1 вид зелених (*Desmodesmus communis* (E.Hegew.) E.Hegew.). Можливо, ці види можна розглядати як показники високого вмісту біогенних елементів, властивих цьому біотопу.

З іншого боку, є ряд мікроводоростей, які не зустрічалися в дренажних водах. Це 7 видів *Bacillariophyta* (*Caloneis amphisbaena* (Bory) Cleve, *Cocconeis scutellum* Ehrenb., *Diploneis subadvena* Hust., *Entomoneis paludosa*

(W.Sm.) Reimer, *Navicula cancellata* Donkin, *Petroneis humerosa* (Brèb. ex W.Sm.) Stickle et D.G.Mann, *Skeletonema costatum* (Grev.) Cleve) та 1 вид ціанопрокаріот (*Oscillatoria margaritifera* Kütz. ex Gomont).

У тимчасових водоймах спостерігалася висока середня чисельність кількох видів: *Navicula salinarum* Grunow (8,3 млн кл.·см$^{-2}$), *Navicula ramosissima* (C.Agardh) Cleve (2 млн кл. · см$^{-2}$), *Amphidinium* sp. (690 тис. кл. м$^{-2}$). Представники *Cyanoprokaryota* – *Merismopedia punctata* Meyen масово розвивалася як у зоні заплеску, так і в тимчасових водоймах (1 млн кл. · см$^{-2}$), а *Phormidium nigroviride* (Thw. ex Gomont) Anagn. et Komárek – у тимчасових водоймах та поблизу дренажних вод (188 та 277 тис. кл.· см$^{-2}$ відповідно). Інші види – *Cylindrotheca closterium* (250 тис. кл.· см$^{-2}$), *Attheya decora* T.West (185 тис. кл.· см$^{-2}$) та *Chroococcus turgidus* (Kütz.) Nägeli (147 тис. кл.· см$^{-2}$) – траплялися в тимчасових водоймах.

Крім того, ідентифіковано види, які не були масовими, але зафіксовані на більшості станцій. Серед них прикріплені до піщинок (епіпсамонні): *Attheya decora* T.West (1–139 тис. кл.· см$^{-2}$), *Halamphora coffeaeformis* (C.Agardh.) Levkov (1–114), *Planothidium delicatulum* (Kütz.) Round et Bukht. (5–51), *Nitszchia hybrida* Grunow in Cleve et Grunow (1–45), *Navicula pontica* (Mereschk.) A.Witkowski, Kulikovskiy, Nevrova et Lange-Bert. (1–440) та рухомі види (епіпелітні): *Cylindrotheca closterium* (3–214), *Entomoneis paludosa* (W.Sm.) Reimer (1–224), *Pleurosigma elongatum* (W.Sm.) van Heurk, (C.Agardh) D.M.Williams et Round (2–84) та *Plagiotropis lepidoptera* (W.Greg.) Kuntze (11–19 тис. кл.· см$^{-2}$).

Аналіз даних

Результати дослідження представлені на CCA діаграмах (рис. 4, 5).

Вони базуються на чисельності мікроводоростей Одеського узбережжя та 14 екологічних параметрах (табл. 2). На них показані зміни в структурі угруповання між дослідженими станціями. Параметри середовища ординації представлені стрілками, що показують напрямок взаємодії з іншими факторами. Дані щодо чисельності мікроводоростей поділені на холодний і теплий періоди, тому фактор температури не включено в аналіз.

На діаграмах CCA показано різний вплив екологічних факторів щодо особливостей ґрунту. Модуль крупності піску (MDK) та медіанний коефіцієнт (GRAN) є найбільш значущими факторами, що описують характер ґрунту. Коефіцієнт сортування (SO) та об'єм найближчого життєвого простору CLS) менш значущі. Параметр, що характеризує вміст мулистої фракції (SILTY), протилежний переліченим гранулометричним параметрам, і ця залежність зберігається як у теплий, так і холодний періоди. Цікаво, що напрямок фактору SILTY пов’язаний не з розподілом певних видів чи типом біотопу, а з біогенними елементами, а саме вмістом нітратів та нітритів ($NO_2 + NO_3$).

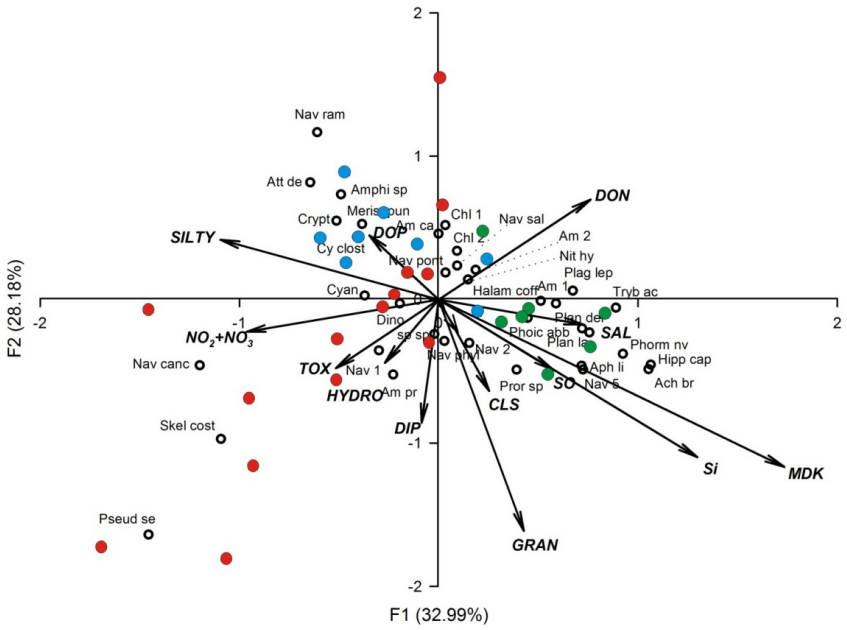

Рис. 4. Ординаційна діаграма за результатами CCA аналізу чисельності видів у холодноводний період. Значимість ефекту дванадцяти факторів середовища (див. табл. 2) перевірена тестом Монте-Карло (Monte-Carlo permutation test), $p < 0{,}0001$. Довжина та напрям стрілок вказують на відносну значимість та напрям змін факторів. Безбарвні кола – види мікроводоростей, червоні – станції відбору проб в зоні заплеску, блакитні – в тимчасових водоймах, зелені – біля виходу дренажних вод. Перші дві осі представляють 64,31% сукупної обмеженої дисперсії. Розшифровка назв видів представлена в табл. 3

При аналізі діаграм ми не виявили явної залежності розподілу конкретних видів фітопсамону від екологічних параметрів, тому характеризуємо ступінь впливу досліджуваних факторів на угруповання в цілому. Слід зазначити, що існує певна закономірність розподілу мікроводоростей псамону щодо досліджуваних біотопів в різні сезони. У холодноводний період гранулометричні коефіцієнти (MDK та GRAN), вміст кремнію (Si), органічного азоту (DON) та мулиста фракція піску (SILTY) були найважливішими факторами в усіх біотопах (див. рис. 4). Щодо особливостей різних біотопів відзначається такий розподіл факторів. На фітопсамон зони заплеску впливали неорганічні речовини (NO_2+NO_3, DIP), токсичність (TOX) та гідродинаміка (HYDRO). Фітопсамон поблизу дренажних вод формувався під впливом органічного азоту (DON), кремнію (Si), модуля крупності піску (MDK), солоності (SAL), об'єму найближчого життєвого простору (CLS). Вміст органічного фосфору (DOP) впливав на угруповання мікроводоростей псамону у тимчасових водоймах у холодний період. Характер впливу амонію слабкий у холодний період, тому на діаграмі не позначений.

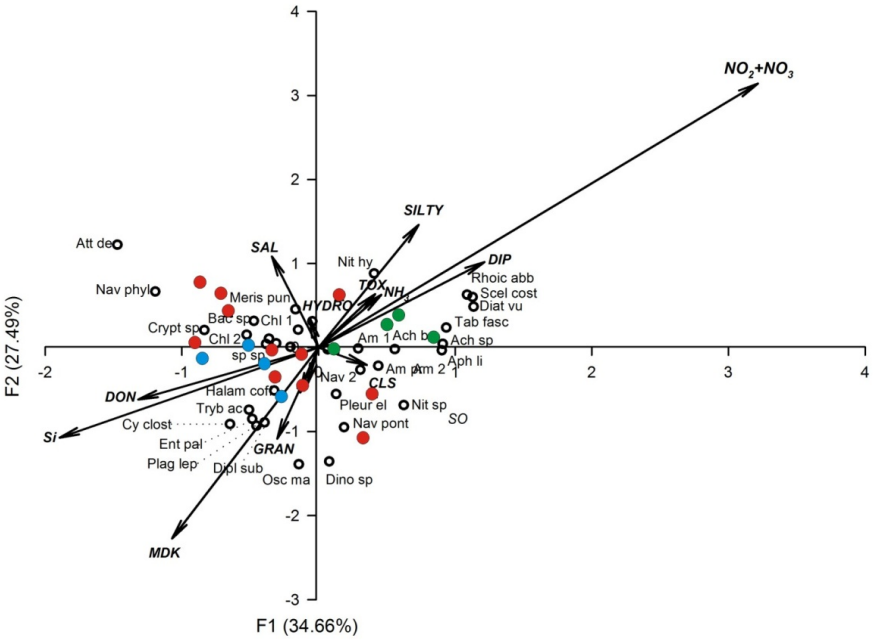

Рис. 5. Ординаційна діаграма за результатами CCA аналізу чисельності видів в тепловодний період. Значимість ефекту дванадцяти факторів середовища (див. табл. 2) перевірена тестом Монте-Карло (Monte-Carlo permutation test), $p < 0{,}0001$. Довжина та напрям стрілок вказують на відносну значимість та напрям змін факторів. Безбарвні кола – види мікроводоростей, червоні – станції відбору проб в зоні заплеску, блакитні – в тимчасових водоймах, зелені – біля виходу дренажних вод. Перші дві осі представляють 62,15% сукупної обмеженої дисперсії. Розшифровка назв видів представлена в табл. 3

У тепловодний період основну роль у формуванні фітопсамону відігравав вміст NO_2+NO_3, MDK та Si (рис. 5). Цей період припадає на кінець літа, коли мінеральні сполуки збагачують воду та сприяють росту мікроводоростей. У цей час відбувається друге «цвітіння» води та посилення розвитку мікрофітобентосу. Відомо, що значення вмісту нітратів зростає протягом літнього періоду (Jewson et al., 2006). Крім того, ми проаналізували зміни розміру клітин у різних біотопах (табл. 5). Наявність більших клітин мікроводоростей у дренажних водах та в зоні заплеску в теплий період також пояснюється високим вмістом біогенних речовин.

Взаємозв'язок параметрів навколишнього середовища з мікроводоростями конкретних біотопів менш помітний у теплий період: найбільш значущими факторами для зони заплеску та тимчасових водойм, крім згаданих вище, є органічний азот (DON), солоність (SAL) та медіанний коефіцієнт (GRAN). Розвиток фітопсамону поблизу дренажних

вод визначається неорганічним фосфором (DIP), мулистою фракцією (SILTY), вмістом амонію (NH_4), токсичністю (TOX). Фактори: об'єм найближчого життєвого простору (CLS), гідродинаміка (HYDRO), коефіцієнт сортування піску (SO) не є суттєвими (див. рис. 5).

Таблиця 5. **Довжина клітин (мкм) водоростей фітопсамону в різних біотопах Одеського узбережжя в 2006–2007 рр.**

Період	Зона заплеску	Тимчасові водойми	Дренажні води
Літо	16,01	18,02	22,22
Осінь	10,45	19,95	13,38

Існує кілька досліджень впливу розміру частинок піску на мікрофітобентос. У роботі М. Сабурової зі співавторами (2001) відзначено, що найменші (< 0,1 мм) і найбільші (> 1 мм) фракції піску більш суттєво впливають на розподіл мікрофітобентосу. За іншими даними, дрібна (0,25–0,10 мм) фракція піску виключно важлива для діатомових (Petrov, Nevrova, 2013), криптофітових водоростей та динофлагелят (Snigirova, 2013).

Автотрофні мешканці мулистих субстратів характеризуються ширшою екологічною пластичністю і здатні до існування в різних біотопах (Fundamentals…, 1979). Однак пісок є набагато суворішим середо-вищем (Round, 1965), а його мешканці потребують спеціальних пристосувань, їх нелегко знайти в мулових відкладах (Jewson et al., 2006). Можливо, цим пояснюється відсутність чіткої залежності епіпельних та епіпсамонних видів водоростей під впливом різних факторів. Іноді така термінологія не здається доречною з огляду на значний внесок фізичних факторів (Jonge, 1985). Загалом, індикаційні характеристики морських бентосних видів ще потрібно дослідити (Borja et al., 2013), зокрема для мікрофітобентосу Чорного моря (Nevrova et al., 2015; Barinova et al., 2019a, b).

У нашому дослідженні акцент зроблено на значенні гранулометричного складу ґрунту для мікроводоростей. Важливо було встановити, які з гранулометричних коефіцієнтів найбільше підходять для моніторингових досліджень. Традиційні геологічні коефіцієнти – SO, GRAN – відіграють допоміжну роль, оскільки безпосередньо описують відкладення, дають їхні геологічні характеристики, дозволяють ранжувати відносні розміри піщаних зерен пляжів. Однак в результаті аналізу CCA виявлено, що модуль крупності піску (MDK) є найважливішим з показників, що характеризують піщаний субстрат. Вплив цього фактору на фітопсамон не залежав від пори року.

Таблиця 6. **Зміни розмірів фракцій піску на узбережжі Одеської затоки**

Фракція	Медіанний коефіцієнт	Літо, %	Осінь, %
Дрібна	0,1–0,3	63,2	83,3
Середня	0,4–0,7	21,0	10,0
Крупна	0,8–1,3	15,8	6,6

Природні коливання гранулометричного складу піску притаманні пляжам узбережжя Одеської затоки. Середній розмір частинок піску становив 0,28–0,36 мм. Частка дрібнозернистого піску на вивчених станціях восени була значно вищою (83%), ніж влітку (63%) (табл. 6). Такі коливання, можливо, пояснюють виразніший вплив коефіцієнтів зернистості в холодний період, ніж у теплий, не зменшуючи значення розміру частинок піску для мікроводоростей. У літературі згадується важлива роль мікроводоростей пухких субстратів у продукційних процесах (Jewson et al., 2006).

Висновки

На основі оригінальних досліджень ми ранжували вивчені екологічні параметри за їхнім значенням у формуванні угруповань фітопсамону. Гранулометричний склад ґрунту та розчиненого кремнію (Si) є пріоритетними факторами, які не залежать від пори року та найактивніше впливають на псамофільні мікроводорості. У теплий період у разі високої інтенсивності процесів вміст нітратів та нітритів є найважливішим фактором, що визначає розподіл мікроводоростей на піщаному узбережжі. У холодний період цими факторами є органічний азот та мулиста фракція піску. Інші параметри менше впливають на формування угруповань мікроводоростей, але, безсумнівно, відіграють певну роль у цих процесах.

Список літератури

Azovsky A.I., Chertoprood E.S., Saburova M.A., Polikarpov I.G. 2004. Spatio-temporal variability of micro- and meiobenthic communities in a White Sea intertidal sandflat. *Estuar., Coast. Shelf Sci.* 60(4): 663–671.

Barinova S.S., Bilous O.P., Tsarenko P.M. 2019a. *Algal Indication of Water Bodies in Ukraine: Methods and Perspectives*. Haifa: Univ. Haifa Publ.

Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. *Biodiversity of algae-indicators of the environment*. Tel Aviv: PiliesStudio. 499 p. [Баринова С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды.* Тель-Авив: PiliesStudio. 499 с.].

Barinova S., Bondarenko A., Ryabushko L., Kapranov S. 2019b. Microphytobenthos as an indicator of water quality and organic pollution in the western coastal zone of the Sea of Azov. *Oceanol. Hydrobiol. Stud*. 48: 21–35.

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. 2013. Good Environmental Status of marine ecosystems: what is it and how do we know when we have attained it? *Mar. Pollut. Bull*. 76(1–2): 16–27.

Bukhtiyarova L.N. 1999. In: *Use of Algae for Monitoring Rivers.* Agence de l`Eau Artois-Picardie.

Du G.Y., Son M., An S., Chung Ik K. 2010. Temporal variation in the vertical distribution of microphytobenthos in intertidal flats of the Nakdong River estuary, Korea. *Estuar., Coast. Shelf Sci.* 86(1): 62–70.

Friedman G.M., Johnson K.G. 1982. *Exercises in Sedimentology*. New York: Wiley.

Fundamentals of biological productivity of the Black Sea. 1979. Kyiv. Naukova Dumka. 392 p. [*Основы биологической продуктивности Черного моря.* 1979. Киев: Наук. думка. 392 с.].

Grasshoff K., Kreming K., Ehrhardt M. 1999. *Methods of seawater analysis*. Third, Completely Revised and Extended Edition. Basel: Verlag Chemie.

Guiry M.D., Guiry G.M. 2021. *AlgaeBase.* World. electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway.

Guslyakov N.Ye., Zakordonets O.A., Gerasimyuk V.P. 1992. *Atlas of benthic diatoms of the north-western part of the Black Sea and adjoining reservoirs*. Kyiv: Naukova Dumka. 112 p. [Гусляков Н.Е., Закордонец О.А., Герасимюк В.П. 1992. *Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Черного моря и прилегающих водоемов*. Киев: Наук. думка. 112 с.].

Jewson D.H., Lowry S.F., Bowen R. 2006. Co-existence of and survival of diatoms on sand grains. *Eur. J. Phycol.* 41(2): 131–146.

Jonge V.N. 1985. The occurrence of epipsammic diatom populations: a result of interaction between physical sorting of sediment and sertain properties of diatom species. *Estuar., Coast. Shelf Sci.* 21: 607–622.

Kalinowska K. 2008. Psammon ciliates: diversity and abundance in hygroarenal of eutrophic lake. *Pol. J. Ecol*. 56: 259–271.

Khailov K.M., Prazukin A.V., Rabinovich M.A., Chepurnov V.A. 1994. Connection of biological parameters of plant growth with physical parameters of experimental “reef” constructions in the eutrophic marine area. *Water Res.* 21(2): 166–175. [Хайлов К.М., Празукин А.В., Рабинович М.А., Чепурнов В.А. 1994. Связь биологических параметров фито-обрастания с физическими параметрами экспериментальных «рифовых» конструкций в евтрофируемой морской акватории. *Вод. ресурсы*. 21(2): 166–175].

Kovtun O.A. 2012. *Phytobenthos of the Tiligul Estuary* (*Black Sea, Ukraine*). Saarbrucken, Deutschland: LAP Lambert Acad. Publ., AV Akademikerverlang GmbH Co. KG. 360 p.

Krakhmalnyi A.F. 2010. *Dinophyte algae of Ukraine (illustrated guide*). Kyiv: Alterpress. 444 p. [Крахмальный А.Ф. 2010. *Динофитовые водоросли Украины* (*Иллюстрированный определитель*). Киев: Альтерпресс. 444 с.].

Krumbein W.C., Pettijohn F.J. 1938. *Manual of Sedimentary Petrography*. New York: Appleton-Century-Crofts. 549 p.

Legendre L., Demers S., LeFaivre D. 1986. *Marine interfaces ecohydrodynamics*. Amsterdam: Elsevier. 29 p.

McIntyre A.D. 1969. Ecology of marine meiobenthos. *Biol. Rev.* 44(2): 245–288.

McLachlan A., Brown A.C. 2006. *The Ecology of Sandy Shores*. Elsevier Inc. 392 p.

Meadows P.S., Anderson J.G. 1968. Microorganisms attached to marine sand grains. *J. Mar. Biol. Assess.U.K.* 48: 161–175.

Mitbavkar S., Anil A. 2002. Diatoms of the microphytobenthic community: population structure in a tropical intertidal sand flat. *Mar. Biol.* 140(1): 41–57.

Muus B.I. 1968.A field method for measuring "exposure" by means of plaster balls. *Sarsia*. 34: 61–68.

Nevrova E.L., Petrov A.N. 2008. In: *Microalgae of the Black Sea: problems of biodiversity conservation and biotechnological use*. Sevastopol: EKOSI-Gidrofizika. Pp. 60–85. [Неврова Е.Л., Петров А.Н. 2008. Таксономическое разнообразие диатомовых бентоса Черного моря. В кн.: *Микроводоросли Черного моря: проблемы сохранения биоразнообразия и биотехнологического использования*. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика. С. 60–85].

Nevrova E.L., Snigireva A.A., Petrov A.N., Kovalova G.V. 2015. *Guidelines for the Study of Marine Microphytobenthos and its Application for Environmental Quality Control*. Sevastopol: Orianda. 176 p. [Неврова Е.Л., Снигирева А.А., Петров А.Н., Ковалева Г.В. 2015. *Руководство по изучению морского микрофитобентоса и его применению для контроля качества среды*. Севастополь: Оріанда. 176 с.].

Park R.A. 1988. Ecology of epipelic diatoms. In: *Abstracts of 10th International Symposium on Living and Fossil Diatoms*. Huhmari: Univ. Joensuu. P. 76.

Petrov A.N., Nevrova E.L. 2013. Prognostic estimation of species richness of benthic *Bacillariophyta. Int. J. Algae*. 15(1): 5–25. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v15.i1.10

Remane A. 1959. *Die Interstitielle Fauna des Meeressandes*: *Proc. XV Int. Cong. Zool*. Pp. 320–323.

Romaní A.M., Sabater S. 2001. Structure and activity of rock and sand biofilms in a Mediterranean stream. *Ecology*. 82: 3232–3245.

Round F.E. 1965.The epipsammon: a relatively unknown freshwater algal association. *Br. Phycol. Bull.* 6: 456–462.

Saburova M.A., Polikarpov I.G., Burkovsky I.V., Mazei Iu.A. 2001. Macro-scale distribution of interstitial microphytobenthos in the estuary of the Chernaya River (Kandalaksha Gulf, White Sea). *Ekol. Morya.* 58: 7–12. [Сабурова М.А. Поликарпов И.Г., Бурковский И.В., Мазей Ю.А. 2001. Макромасштабное распределение интерстициального микрофито-бентоса в эстуарии реки Черной (Кандалакшский залив, Белое море). *Экол. моря*. 58: 7–12].

Snigirova A. 2013. Benthic microalgae under the influence of beach nourishment in the Gulf of Odessa (the Black Sea). *Bot. Lith.* 19(2): 120–128.

Snigirova A.A. 2015. Ecological and biological peculiarities of psammon microalgae of the Gulf of Odessa (the Black Sea). *Bull. ONU.* 20(1): 137–150. [Снигирева А.А. 2015. Эколого-

биологическая характеристика псамофильных микроводорослей Одесского залива (Черное море). *Вісн. ОНУ*. 20(1): 137–150].

Snigirova A.A., Kovaleva G.V. 2015. Diatom algae of sandy spits of the northwestern part of the Black Sea (Ukraine). *Int. J. Algae*. 17(2): 107–130. https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v17.i2.10

Snoeijs P. 1993. *Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea*. Vol. 1. Uppsala: Opulus Press. 129 p.

Snoeijs P., Vilbaste S. 1994. *Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea*. Vol. 2. Uppsala: Opulus Press. 125 p.

Snoeijs P., Potapova M. 1995. *Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea*. Vol. 3. Uppsala: Opulus Press. 126 p.

Snoeijs P., Kasperoviciene J. 1996. *Intercalibration and distribution of diatom species in the Baltic Sea*. Vol. 4. Uppsala: Opulus Press. 126 p.

Sunbäck K. 1987. The epipsammic marine diatom *Opephora olsenii* Moller. *Diatom Res.* 2(2): 241–249.

Sunbäck K., Medlin L.K. 1986. A light and electron microscopis study of the epipsammic diatom *Catenula adhaerens* Mereschkowsky. *Diatom Res.* 1(2): 283–290.

Tsarenko P.M. 1990. *Brief guide to Chlorococcal algae of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Naukova Dumka. 208 p. [Царенко П.М. 1990. *Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР*. Киев: Наук. думка. 208 с.].

Vernadsky V.I. 1965. *Chemical structure of the Earth's biosphere and its environment*. Moscow: Science. 175 p. [Вернадский В.И. 1965. *Химическое строение биосферы Земли и ее окружение*. М.: Наука. 175 с.].

Vilbaste S. 2001. Benthic diatom communities in Estonian Rivers. *Boreal Environ. Res*. 6: 191–203.

Vinogradov K.A. 1971. In: *Problems of marine biology*. Kyiv: Naukova Dumka. Pp. 218–222. [Виноградов А.К. 1971. К проблеме контактных зон моря. В кн.: *Проблемы морской биологии*. Киев: Наук. думка. С. 218–222].

Vorobyova L.V., Zaitsev Yu.P., Kulakova I.I. 1992. *Interstitial meiofauna of sandy beaches of the Black Sea*. Kiev: Naukova Dumka. 144 p. [Воробьева Л.В., Зайцев Ю.П., Кулакова И.И. 1992. *Интерстициальная мейофауна песчаных пляжей Черного моря*. Киев: Наук. думка. 144 с.].

Witkowski A., Lange-Bertalot H., Metzeltin D. 2000. Diatom flora of marine coasts. *Iconograph. Diatomol*. Issue 7. Ruggell: A.R.G. Gantner. 925 p.

Zaitsev Yu. 2012a. A key role of sandy beaches in the marine environment. *J. Black Sea/Mediter. Environ.* 18(2): 114–127.

Zaitsev Yu.P. 2012b. Major Accumulations of Life and Main “Pain Points” in the Seas and Oceans. *J. Environ. Sci. Engineer*. 1(7A): 886–897.

Zaitsev Yu., Mamaev V. 1997. *Marine biological diversity in the Black Sea. A study of change and decline*. New York: Unit. Nat. Publ. 208 p.

Підписав до друку П.М. Царенко

Snigirova A.O.[1], Silantyev S.O.[2], Goncharov O.Yu.[3], Koshelev O.V.[1]. 2021. **Epipelic and epipsammic microalgae responses to environmental parameters: the Black Sea case study (the Gulf of Odesa, Ukraine)**. *Alglogia*. 31(3): 228–248

[1] Institute of Marine Biology NAS of Ukraine,
Pushkinska Str., 37, Odesa 65048, Ukraine
[2] Rowett Institute, University of Aberdeen,
Ashgrove Road West, Aberdeen AB25 2ZD, UK
[3] Ukrainian Scientific Center of Ecology of the Sea,
Frantsuzsky Blvd., 89, Odesa 65009, Ukraine

In spite of relatively frequent studies of the influence of environmental parameters on the microalgae communities, the processes that occur in the sandy littoral in the Black Sea region seeks for additional research. The aim of this paper was to range the environmental factors in relation to algal sandy communities and show the interaction between microalgae abundance and 14 environmental factors during field multifactoral experiment: 5 parameters describing sand grain composition, nutrients, temperature and salinity of water, hydrodynamics and water toxicity. The species composition of epipelic and epipsammic microalgae and their distribution in different habitats in summer and autumn periods were analysed. The priority factor for psammon algal community in any season is size of sand grains and siliceous oxide. Other variables depend on the season: while in summer, mineral nitrogen (nitrates and nitrites) effects the microphytes more intensively than others, in autumn it is replaced by organic nitrogen and silty fraction.

K e y w o r d s : splash zone, epipsammic, epipelic microalgae, environmental factors, particle size, sandy beaches, the Black Sea