

СЕЗОННЕ ФОРМУВАННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ НА РІЧЦІ СУХА СУРА

Фельдман Д.В., Дрегваль І.В.

Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара
пр. Науки, 72, 49045, м. Дніпро

feldman_d@365.dnu.edu.ua, dregigor24@gmail.com

Річковий фітопланктон, який формується на водотоку має часову мінливість, то дослідження що направлені виявлення сезонної різноманітності є досить актуальними і заслуговують уваги, особливо, якщо це стосується малих річок. Видове різноманіття також має сезонну мінливість і тому цікаві дані про наявність тих чи інших видів водоростей, і особливо домінуючих видів. Домінуючі види водоростей у різні сезони можуть змінюватись в залежності від комбінації певних умов навколишнього середовища. Особливо цікаво спостерігати розвиток фітопланктону на малих водотоках, де процеси впливу різних факторів мають швидкі прояви і сильно залежать від сезонності. В наших дослідженнях на малій річці Суха Сура в 2024 році вивчався антропогенний вплив, в залежності від сезону, може сильно змінювати умови навколишнього середовища, що проявляється у зменшенні видового різноманіття водоростей, а також наявністю міжрічних варіацій продуктивності фітопланктону в один і той же сезон, але в різні роки. За досліджуваній період спостерігалось зменшення видового складу водоростей до 9 видів. Серед домінуючих видів були *Microcystis aeruginosa*; *Scenedesmus quadricauda*; *Chlorella vulgaris*; *Cyclotella meneghiniana*. Аналіз за коефіцієнтом видової подібності Соренсена $K_s = 0,785$ показав подібність видового різноманіття на різних ділянках водотока. Проведений кластерний аналіз показав, що ділянки з різним водотоком можуть мати і різний видовий склад фітопланктону. У цілому, як взимку, так і навесні домінували синьо-зелені, зелені та діатомові водорості, що пов'язано з евтрофікацією річки Суха Сура. За видовим складом фітопланктону у весняний період зберіглись види, які домінували у попередньому сезоні, також у досліджуваній період не було виявлено впливу стоків, що вплинуло на їх кількість у відносно чистих ділянках навесні було обмежено, також це період збільшення втрати стоку річки.

Таким чином, фітопланктону водотоку притаманна часова мінливість його різноманіття, яка за певних умов середовища зумовлює домінування тих чи інших видів. Ділянки з малим водотоком мають більш стабільний видовий склад фітопланктону ніж ділянки з більш швидким водотоком. Також кількісна мінливість фітопланктону пов'язана з розвитком в різні сезони року. *Ключові слова:* фітопланктон, водорості, малі річки, продуктивність фітопланктону, водна екосистема.

Seasonal formation of phytoplankton on the Sukha Sura River. Feldman D., Dregval I.

River phytoplankton, which is formed on the watercourse, has temporal variability, so studies aimed at identifying seasonal diversity are quite relevant and deserve attention, especially if it concerns small rivers. Species diversity also has seasonal variability and therefore interesting data on the presence of certain types of algae, and especially dominant species. Dominant species of algae in different seasons can change depending on the combination of certain environmental conditions. It is especially interesting to observe the development of phytoplankton on small watercourses, where the processes of influence of various factors have rapid manifestations and strongly depend on seasonality. Research was conducted in 2024 on the small Sukha Sura River, studying the dependence of anthropogenic impact on the season. Changes in environmental conditions were revealed, which is manifested in a decrease in the species diversity of algae, as well as the presence of interannual variations in phytoplankton productivity in the same season, but in different years. During the studied period, a decrease in the species composition of algae to 9 species was observed. Among the dominant species were *Microcystis aeruginosa*; *Scenedesmus quadricauda*; *Chlorella vulgaris*; *Cyclotella meneghiniana*. Analysis by the Sorensen species similarity coefficient $K_s = 0.785$ showed the similarity of species diversity in different sections of the watercourse. The cluster analysis showed that sections with different watercourses may have different species composition of phytoplankton. In general, both in winter and spring, blue-green, green and diatom algae dominated, which is associated with eutrophication of the Sukha Sura River. According to the species composition of phytoplankton in the spring period, the species that dominated in the previous season were preserved, and in the studied period, the influence of runoff was not detected, which affected their number in relatively clean areas in the spring was limited, and this is also a period of increased loss of river runoff.

Thus, the phytoplankton of the watercourse is characterized by temporal variability of its diversity, which under certain environmental conditions determines the dominance of certain species. Areas with a small water flow have a more stable species composition of phytoplankton than areas with a faster water flow. Also, the quantitative variability of phytoplankton is associated with development in different seasons of the year. *Key words:* phytoplankton, algae, small rivers, phytoplankton productivity, aquatic ecosystem.

Формування водоростей на малих річках є однією з сучасних екологічних проблем, особливо коли спостерігається «цвітіння» води. Таке явище є негативним для водної екосистеми і може шкодити здоров'ю людини. Домінування одних видів водоростей над іншими призводить не тільки до «цвітіння» води, а також і до порушення функціонування водної еко-

системи. Особливо це стосується видів, які виділяють сильнодіючі токсини. Ці токсини роблять воду непридатною до споживання тваринами та використання її людиною. Розвиток водоростей погіршує рекреаційну привабливість водойми.

З кожним роком проблема «цвітіння» води загострюється внаслідок посилення антропогенного

впливу на водойму. Збільшення кількості надходження біогенних елементів на урбанізованих територіях є стимулом для масового розвитку водоростей. Також підвищення температури води та збільшення періодів посухи сприяє більш інтенсивнішому розвитку водоростей [1–3].

Тому дослідження розвитку фітопланктону є актуальним і необхідним для розробки більш ефективних методів контролю та запобігання масовому розвитку водоростей на водних об'єктах. Все це потребує глибокого розуміння розвитку окремих видів водоростей та їх екологічних особливостей, що впливають на якості води.

Дослідження розвитку водоростей на певній водоймі дозволяє виявити специфічні види, оцінити їх інтенсивність, масштаби та причини цього процесу. Аналіз цих процесів дозволить розробити конкретні рекомендації щодо попередження домінуючого розвитку певних водоростей та оздоровлення річки Суха Сура.

Основними природними очищувачами водойм є фітопланктон, тому що ці організми формують структурно-функціональні зв'язки на різних рівнях організації [4–7].

Метою роботи було встановлення наявності та поширення водоростей-збудників «цвітіння» в річці Суха Сура.

В наших дослідженнях використовувались польові (візуальне обстеження водойми, відбір проб води), лабораторні (підготовка проб, мікроскопічний аналіз проб води, ідентифікація видового складу водоростей), аналітичні (аналіз факторів «цвітіння» та розробка рекомендацій) методи досліджень.

Дослідження проводились на чотирьох ділянках річки Суха Сура (рис. 1).

За результатами наших досліджень 2024 року було виявлено видовий та кількісний склад фітопланктону річки Суха Сура, що перебували в річці в зимовий період та весняний період (табл. 1).

Також визначали індекс сапробності водотоку результати дослідження наведені у табл. 2.

Індекс сапробності зазвичай варіюється від 0 до 4, де:

0-1: олігосапробна зона (чиста вода)

1-2: β -мезосапробна зона (помірно забруднена вода)

2-3: α -мезосапробна зона (забруднена вода)

3-4: полісапробна зона (сильно забруднена вода)

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що вода в річці Суха Сура на всіх досліджених ділянках та в досліджувані періоди відноситься до β -мезосапробної зони, тобто є помірно забрудненою.

Аналіз дослідження індексу видового різноманіття представлені в табл. 3.

Зростання значення індексу Шеннона відбувається як при збільшенні кількості видів, так і при збільшенні рівності між ними за кількістю зразків, тобто чим вище загальна кількість видів і частка тих із них, які представлені значною кількістю зразків, тим вище буде і індекс Шеннона.

При обрахуванні подібності різноманіття різних досліджуваних ділянок аналізувався коефіцієнт видової подібності Соренсена, який розраховувався за формулою: $S = 2c/(a+b)$, де a – кількість видів на першій ділянці; b – кількість видів на другій ділянці; c – кількість спільних видів і внутрішньовидових таксонів. За результатами наших досліджень коефіцієнт Соренсена $K_s = 0,785$, що більше 0,5, а це вказує на схоже різноманіття видів різних ділянок.

Далі ми досліджували подібності видового складу фітопланктону річки Суха Сура за допомогою кластерного аналізу. Результати кореляційного аналізу за Спірменом, як зимового періоду, так і весняного показав, що між ділянками 1 та 4 існує статистично значущий кореляційний зв'язок між параметрами $p \leq 0,01$ ($r = 0,97$). Також між ділянками 1 та 3 ($r = 0,96$, $r = 0,95$), 1 та 2 ($r = 0,84$, $r = 0,97$), 2 та 4 ($r = 0,85$, $r = 0,94$), 2 та 3 ($r = 0,82$, $r = 0,8$) спостерігались кореляційно значущі зв'язки між параметрами при $p \leq 0,01$.



Ділянка 1 - 48.453023, 34.588573

Ділянка 2 - 48.444749, 34.583110

Ділянка 3 - 48.456943, 34.578645

Ділянка 4 - 48.459930, 34.601035

Рис. 1. Ділянки взяття проб з річки Суха Сура

Таблиця 1

Видовий та кількісний склад фітопланктону річки Суха Сура у досліджуваний період

Вид	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 3	Ділянка 4
	Зима/весна, кл/л			
<i>Microcystis aeruginosa</i>	97/210	149/248	84/183	120/222
<i>Anabaena flos-aquae</i>	53/105	71/126	60/99	84/118
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	32/84	40/93	24/75	35/85
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	84/153	62/131	70/140	90/166
<i>Pediastrum boryanum</i>	45/94	30/88	54/107	45/96
<i>Chlorella vulgaris</i>	202/302	179/296	220/322	190/290
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	58/117	73/121	55/105	66/114
<i>Staphauros hantzschii</i>	40/82	50/97	30/73	45/85
<i>Aulacoseira granulata</i>	34/70	40/84	22/69	37/75

Таблиця 2

Значення індекса сапробності водотоку Суха сура

Період	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 3	Ділянка 4	Середнє значення
Зимовий	1.94	2.01	1.90	1.97	1.96
Весняний	1.98	2.04	1.95	2.00	1.99

Таблиця 3

Видове різноманіття водотоку Суха Сура за індексом Шеннона

Період	Ділянка 1	Ділянка 2	Ділянка 3	Ділянка 4	Середнє значення
Зимовий	1.998	2.020	1.931	2.038	1.997
Весняний	2.075	2.091	2.057	2.086	2.077

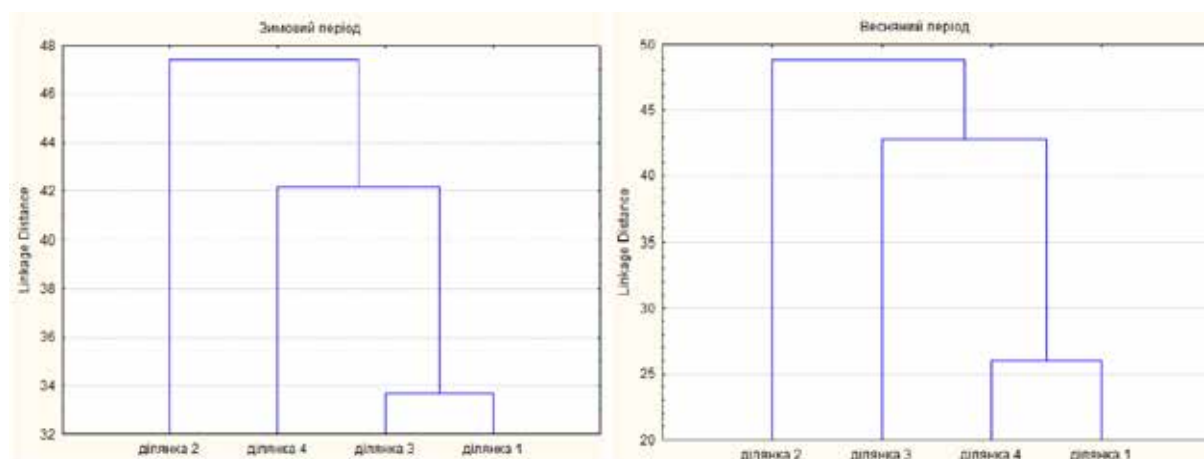


Рис. 2. Кластерний аналіз ділянок річки Суха Сура за видовим складом фітопланктону взимку та на весні 2024 р.

У наших дослідженнях основні види були присутні на всіх ділянках, тому вирахування подібності видового складу водоростей між різними місцями відбору застосовували індекс Жаккара, який розраховувався на основі відносної чисельності видів. На основі цього індексу був проведений кореляційний аналіз та побудована дендрограма.

На основі цих матриць нами був зроблений кластерний аналіз ділянок річки Суха Сура за видовим складом фітопланктону, який чітко ілюструє схожість ділянок річки (рис. 2).

У обидва сезони спостерігається дуже висока подібність між усіма ділянками відбору (всі значення індексу Жаккара вище 0,77), що вказує на

однорідність видового складу фітопланктону вздовж досліджуваної ділянки річки Суха Сура.

Ділянки 1 і 3 мають найвищу подібність у зимовий сезон, що може вказувати на схожі екологічні умови на цих ділянках. Навесні ділянки 1 і 4 вже мають більшу подібність порівняно з ділянками 2 і 3.

Ділянка 2 має найменшу подібність з іншими ділянками в обидва сезони, що може свідчити про деякі відмінності в умовах середовища в цій точці.

Навесні також найбільша ступінь схожості виявлена між ділянками 4 та 1, але значно впливала на схожість між ділянками також відстань між ділянками. Такі види, знайдені у гірлі річки, як *Melosira italica*, *Cocconeis placentula*, *Dictyosphaerium pulchellum*, безумовно слід вважати видами, не притаманними для фітопланктону річки. У цілому, навесні домінували синьо-зелені, зелені та діатомові водорості. Можливо таке домінування пов'язано з евтрофікацією річки Суха Сура [8, 9]. Таким чином, за видовим складом у весняний період збереглися види, які домінували у попередньому сезоні [9–11], також у весняний період не було виявлено впливу стоків і на це можливо дві причини: 1) завдяки малій кількості холодостійких масових видів, їх кількість у відносно чистих ділянках навесні було обмежено; 2) у цей період однозначно відчувається вплив річки внаслідок збільшення втрати стоку.

Подібність між різними ділянками дещо зростає у весняний період порівняно з зимовим, що може бути пов'язано з більш однорідними умовами в річці в теплу пору року. Загальна структура подібності між ділянками зберігається в обидва сезони, що вказує на стабільність просторового розподілу фітопланктону в річці Суха Сура [11].

Таким чином, якісний склад фітопланктону річки визначається значним видовим різноманіттям, в основному, за рахунок діатомових, зелених та синьо-зелених водоростей. Домінантами були види: *Microcystis aeruginosa*; *Anabaena flos-aquae*; *Scenedesmus quadricauda*; *Chlorella vulgaris*; *Cyclotella meneghiniana*. Ступінь їхнього розвитку залежала в першу чергу від гідрологічних особливостей ділянок річки або комунальними стічними водами.

Проводячи аналіз формування фітопланктону в умовах антропогенного забруднення водотоку виявлено, що значна частина видів водоростей є індикаторами органічного забруднення води. Аналіз на сапробність показує, що в водотоку Суха Сура склалася загрозлива ситуація з забруднення води, так як багато забруднювачів м. Кам'янське створюють

умови до розвитку водоростей. Серед водоростей можна виділити біоіндикатори, що представляють різні види – біоіндикатори від *c* – *o* – сапробних (найбільш чисті води) до *a* – мезо – та *r* – сапробних (найбільш забруднені води), але більшість біоіндикаторів належать до *b* – мезосапробів (помірно забруднені води).

Формування розвитку водоростей *Microcystis aeruginosa*, що відноситься до індикаторів *a* – мезосапробної зони, корелює із збільшенням видового різноманіття еугленових із роду *Euglena*, а це свідчить про забруднення певної ділянки водотоку та погіршення якості води річки. Наявність активного розвитку діатомових водоростей є показником погіршення якості води, яка стає непридатною до споживання.

Постійне антропогенне забруднення, зростання надходження органічних сполук спонукав появу та розвитку *Anabaena flos-aquae*, що є певним попередженням про накопичення токсинів, які є небезпечними для тварин та людини. Також простежується і в ретроспективному аналізі особливо за останні 20 років – при порівнянні співвідношення видів – біоіндикаторів і за нашими результатами, можна постежити розвиток і домінування певних видів водоростей. Якщо ще на початку минулого століття водорості, які відносяться до індикаторів *a* – мезосапробної зони зовсім не зустрічались, то вже в 60-і роки з'являються поодинокі види, а в 90-і роки їхня частка досягала 14% від загальної кількості видів – індикаторів сапробності [11, 12]. Таке збільшення пояснюється впливом стоків, які викликають збільшення концентрації у воді органічної речовини, підвищення температури, особливо в літній період, що і зумовило розвиток сапробіонтів в умовах повільного водотоку.

Таким чином, фітопланктону водотоку притаманна часова мінливість його різноманіття, яка за певних умов середовища зумовлює домінування тих чи інших видів. Зміна кліматичних умов, підвищення температури навколишнього середовища, сприяє розвитку видів водоростей, які є більш токсичними та небезпечними для тварин і людини. Тож кількісна мінливість фітопланктону пов'язана з розвитком в різні сезони року.

Дослідження малих водотоків можуть покращити розуміння щодо розвитку та реакції фітопланктону на зміни навколишнього середовища, а також допоможуть більш ефективно впливати на евтрофікацію та відновлення водних екосистем.

Література

1. Афанасьев С.О. Проблемы и развитие исследований экологического статуса гидросистем Украины в аспекте имплементации директив ЕС в галузі довкілля. *Гідробіологічний журнал*. 2018. 54. № 6. С. 3–17. <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000953097>
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 19 вересня 2018 р. № 758 «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-п> (поточна редакція від 06.09.2024 № 1071).

3. Проект Стратегії сталого розвитку України до 2030 року. Проект Закону України від 07.08.2018 № 9015. URL: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=64515
4. Deng J., Qin B., Sarvala J. et al. Phytoplankton assemblages respond differently to climate warming and eutrophication: a case study from Pyhäjärvi and Taihu. *Journal of Great Lakes Research*. 2016. Vol. 42, № 2. P. 386–396. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2015.12.008>.
5. Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. Phytoplankton Structural and Functional Indices in the Rivers of the Pripjat' and Teterev Basins. *Hydrobiological Journal*. 2018. Vol. 54. № 3. P. 10–23. DOI: 10.1615/HydrobJ.v54.i3.20 <https://www.dl.begellhouse.com/journals/38cb2223012b73f2,21e3612a66713642,4eb9221c45b67bb1.html>
6. Shelyuk Yu.S. Peculiarities of Phytoplankton Formation and Functioning in Small Water Reservoirs. *International Journal on Algae*. 2024. № 26 (3). P. 273–284. DOI: 10.1615/InterJAlgae.v26.i3.50 <https://www.dl.begellhouse.com/ru/references/7dd4467e7de5b7ef,3f0eed2660a27eda,3e8c8771718e829a.html>
7. Shelyuk Y.S., Astahova L.Y. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosystems Diversity*. 2021. № 29 (2). P. 119–128. <https://doi.org/10.15421/012116>.
8. Chang, CW., Miki, T., Ye, H. et al. Causal networks of phytoplankton diversity and biomass are modulated by environmental context. *Nat Commun*. 2022. Vol. 13, 1140. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28761-3>
9. Kaneko, H., Endo, H., Henry, N. et al. Predicting global distributions of eukaryotic plankton communities from satellite data. *ISME Communications*. 2023. Vol. 3, № 1, P. 101. <https://doi.org/10.1038/s43705-023-00308-7>
10. Moutier, W., Duforêt-Gaurier, L., Thyssen, M. et al. Evolution of the scattering properties of phytoplankton cells from flow cytometry measurements. *PloS one*. 2017. Vol. 12, № 7: e0181180. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181180>
11. Chang, CW., Miki, T., Ye, H. et al. Author Correction: Causal networks of phytoplankton diversity and biomass are modulated by environmental context. *Nat Commun*. 2022. Vol. 13, № 5872. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-33702-1>
12. Skouroliaou, D.-I., Breton, E., Christaki, U. Phaeocystis globosa and diatom blooms promote distinct bacterial communities and associations in a coastal ecosystem. *Environmental Microbiology Reports*. 2024. Vol. 16, № 4: e13313. <https://doi.org/10.1111/1758-2229.13313>