

Журнал «Альгологія» – орган Відділення загальної біології Національної академії наук України та Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного – публікує статті за такими рубриками: «Загальні проблеми альгології», «Морфологія, анатомія, цитологія», «Размноження та цикли розвитку водоростей», «Генетика», «Фізіологія, біохімія, біофізика», «Екологія, ценологія, охорона та роль водоростей у природі», «Флора та географія», «Викопні водорості», «Систематика, філогенія, питання еволюції водоростей», «Нові та рідкісні таксони», «Прикладна альгологія», «Дискусії», «Короткі повідомлення», «Методика», «Огляди. Історія альгології», «Персоналії», «Хроніка та інформація», «Рецензії», «Нові книги»

Journal Algologia (Algology) is sponsored by the Department of General Biology of National Academy of Sciences of Ukraine and M.G. Kholodny Institute of Botany. It embraces the following subjects: General Problems of Algology; Morphology, Anatomy, Cytology; Reproduction and Life Cycles of Algae; Genetics; Physiology, Biochemistry. Biophysics; Ecology, Cenology, Conservation of Algae and their Role in Nature; Flora and Geography; Fossil Algae; Systematics, Phylogeny and Problems of Evolution of Algae; New Taxa and Noteworthy Records; Applied Algology; Discussions, Short Communications; Procedure; Surveys. History of Algology; Personalalia; New Items and Information; Review; New Books

**Головний редактор ВАСЦЕР С.П.** (Україна)

**Заст. головного редактора**

Виноградова О.М. (Україна)

**Відповідальний секретар редакції**

Алейнікова М.Д. (Україна)

**Editor-in-Chief WASSER S.P.** (Ukraine)

**Deputy Editor**

Vinogradova O.M. (Ukraine)

**Managing Editor**

Aleinikova M.D. (Ukraine)

### **Редакційна колегія**

Бланко С. (Іспанія)

Божков А.І. (Україна)

Золотарьова О.К. (Україна)

Мінічева Г.Г. (Україна)

Нево Е.Д. (Ізраїль)

Околодков Ю.Б. (Мексика)

Ольштинська О.П. (Україна)

Семенюк Н.Є. (Україна)

Холзингер А. (Австрія)

Царенко П.М. (Україна)

Шалигін С.С. (США)

### **Editorial Advisory Board**

Blanco S. (Spain)

Bozhkov A.I. (Ukraine)

Holzinger A. (Austria)

Minicheva G.G. (Ukraine)

Nevo E.D. (Israel)

Okolodkov Yu.B. (Mexico)

Olshtynska O.P. (Ukraine)

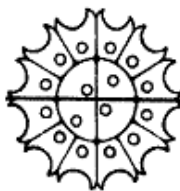
Semenyuk N.Ye. (Ukraine)

Shalygin S.S. (USA)

Tsarenko P.M. (Ukraine)

Zolotareva O.K. (Ukraine)

Том 31



АЛЬГО  
ЛОГІЯ

1·2022

ALGOLOGIA

МІЖНАРОДНИЙ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ  
ЖУРНАЛ

ЗАСНОВАНИЙ У БЕРЕЗНІ 1991 р. • ВИХОДИТЬ 1 РАЗ НА ТРИ МІСЯЦІ • КИЇВ

## ЗМІСТ

### *Фізіологія, біохімія, біофізика*

- 3 Заїменко Н.В., Царенко П.М., Дідик Н.П., Іваницька Б.О., Елланська Н.Е., Павлюченко Н.А., Харитонова І.П. Комбінована дія *Chlorella vulgaris* Beijer. (*Chlorophyta*) та кремнієвмісного органічного добрива на продуктивність болгарського перцю, мікробіоценоз, алелопатичні та агрономічні характеристики ґрунту

### *Флора та географія*

- 20 Герасимюк В.П. Мікроскопічні водорості водойм Кінбурнської піщаної коси (НПП «Білобережжя Святослава», Україна)
- 35 Шелюк Ю.С. Фітопланктон річкових екосистем Українського Полісся
- 53 Брянцева Ю.В. Сучасні відомості щодо різноманіття *Dinoflagellata* України
- 68 Брен О.Г., Солоненко А.М., Подорожний С.М. Видовий склад водоростей солоних приморських водойм Приазовського національного природного парку

### *Прикладна альгологія*

- 88 Царенко П.М., Борисова О.В., Хархота М.А., Зелена Л.Б., Коніщук М.О., Бурова О.В., Блюм Я.Б. *Monoraphidium* sp. IBASU-A 574 (*Selenastraceae*, *Chlorophyta*) – перспективний продуцент біомаси для біоенергетики

Наукові редактори випуску:

ВИНОГРАДОВА О.М., ЗОЛОТАРЬОВА О.К., ЦАРЕНКО П.М.

Редактори

*В.В. Несчетна, О.С. Бондаренко*

Адреса редакції: 01601 Київ, вул. Терещенківська, 2,  
Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ, тел. 235-13-11

Address of the Editorial Office: M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,  
2 Tereschenkivska Str., Kyiv 01601, tel. 235-13-11

e-mail: [algologia@ukr.net](mailto:algologia@ukr.net)

сайт: [www.algologia.co.ua](http://www.algologia.co.ua)

Оригінал-макет виготовлено в редакції журналу «Альгологія»

Номер реєстраційного свідоцтва КВ-№ 21246-11046ПР від 27.02.2015

Затверджено до друку вченою радою Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАНУ  
(протокол № 3 від 22 лютого 2022 р.)

---

Підп. до друку 25.03.2022. Формат 70×108/16. Ум.-друк. арк. 9,8. Обл.-вид. арк. 13,72.  
Тираж 92 прим. Зам. №

---

Віддруковано ВД «Академперіодика» НАН України, вул. Терещенківська, 4, Київ 01024

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 544 від 27.07.2001

**Комбінована дія *Chlorella vulgaris* Beijer. (*Chlorophyta*) та кремнієвмісного органічного добрива на продуктивність болгарського перцю, мікробіоценоз, алелопатичні та агрономічні характеристики ґрунту**

**Заїменко Н.В.<sup>1</sup>, Царенко П.М.<sup>2</sup>, Дідик Н.П.<sup>1</sup>, Іваницька Б.О.<sup>1</sup>, Елланська Н.Е.<sup>1</sup>, Павлюченко Н.А.<sup>1</sup>, Харитоновна І.П.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Національний ботанічний сад імені М.М. Гришка НАН України,  
вул. Тимірязєвська, 1, Київ 01014, Україна  
nataliya\_didyk@ukr.net

<sup>2</sup>Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,  
вул. Терещенківська, 2, Київ 01004, Україна  
ptsar@ukr.net

Надійшла до редакції 29.01.2022. Після доопрацювання 21.02. 2022. Підписана до друку 23.02.2022.  
Опублікована 23.03.2022

**Реферат.** Досліджено комбіновану дію культуральної рідини зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris* та кремнійорганічного добрива (анальцим + низовий торф (рН 5,8) у співвідношенні 1 : 3) на показники росту, розвиток, фотосинтетичну продуктивність, врожайність та якість плодів болгарського перцю (*Capsicum annuum* L., сорт «Білозерка»), а також на мікробіоценоз, алелопатичні та агрономічні характеристики ґрунту у вегетаційних дослідях. Культуральну рідину мікроводоростей вносили в об'ємі 10 мл на вегетаційну посудину (0,7 л) з просіяним і стерильним сірим опідзоленим ґрунтом. Рослини вирощували у фітокамері за контрольованих умов освітлення, температури та вологості ґрунту. Життєвий стан рослин перцю оцінювали за морфометричними показниками росту (висота надземних частин, діаметр стебла, площа поверхні листків, довжина кореневої системи, біомаса сухої речовини надземних частин і коренів, кількість та біомаса плодів), вмістом фотосинтетичних пігментів у листках, захисних антиоксидантів (каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів) у плодах. Після закінчення експерименту визначали вміст фенольних сполук, показники електропровідності, окисновідновного потенціалу (ОВП), рН, вмісту  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  та  $\text{HCO}_3^-$  у ґрунтовому розчині. Встановлено синергічне посилення

позитивного ефекту мікрводоростей та кремнійорганічного добрива на ріст, розвиток, продуктивність та якість врожаю болгарського перцю. Спільне застосування культуральної рідини хлорели та кремнійорганічного добрива покращувало агрономічні та алелопатичні характеристики ґрунту, стимулювало розвиток агрономічно корисних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, інтенсивність процесів мінералізації та трансформації органічної речовини порівняно з контролем та варіантами, за яких мікрводорість або добриво вносили порізно.

**Ключові слова:** *Chlorella vulgaris*, *Capsicum annuum*, мікробіоценоз ґрунту, алелопатичні взаємодії, біогенні елементи

## **Вступ**

Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва призвела до різкого зростання антропогенного впливу на довкілля, особливо на ґрунтові екосистеми, що викликало значне виснаження та деградацію останніх. На сьогодні площа еродованих сільськогосподарських угідь в Україні перевищує 40%, зростаючи щорічно на 80 тис. га (Bagorka, 2017). Втрати гумусу в середньому за рік становлять 0,4–0,8 т/га (Tarariko et al., 2011), а зростання дефіциту калію та фосфору – понад 40–60 кг/га (Grekov et al., 2008). Тому останнім часом увагу агровиробників привертають технології, спрямовані на підвищення родючості ґрунтів і отримання екологічно чистої продукції.

Сьогодні існують технології, які дозволяють певною мірою запобігти дегуміфікації та втратам макроелементів у сільськогосподарських ґрунтах. Це, зокрема, внесення органічних добрив, сидератів, сівозміни з багаторічними травами та бобовими культурами (Datsko, Maistrenko, 2012). Встановлено, що внесення органічних добрив суттєво збільшує запаси органічного вуглецю ґрунту, поліпшує його механічну структуру (здатність утримувати воду та поживні речовини). Окрім цього, регулярне застосування органічних добрив сприяє зростанню загальної чисельності та біорізноманіття мікрофлори і мікрофауни, а також ферментативної активності ґрунту (Diascono, Montemurro, 2010). Інтенсифікація мікробіологічних процесів у ґрунтовій екосистемі може сприяти зростанню емісії парникових газів, таких як CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, що має негативні наслідки, враховуючи сучасні кліматичні процеси (Uysal et al., 2015). Згідно до результатів фахівців, у традиційних системах землеробства за рахунок внесення добрив у середньому компенсується лише біля 40% поживних речовин, винесених з ґрунту з урожаєм (Grekov et al., 2008). Очевидно, що сучасні технології створення добрив потребують подальшого вдосконалення з метою підвищення їхньої ефективності та зниження негативних наслідків для клімату.

Встановлено, що додавання природних сорбентів (перліту, сапоніту, вермикуліту тощо) дозволяє суттєво знизити емісію CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> та NO

органічними добривами (Vorobel et al., 2021). Дослідження показали ефективність альголізації ґрунту (тобто внесення живих культур мікроводоростей) на підвищення його родючості та зниження емісії парникових газів (Uysal et al., 2015). Біомаса водоростей містить високий відсоток макроелементів, значну кількість мікроелементів, амінокислот, а також регулятори росту, поліаміни, ферменти, вуглеводи, білки та вітаміни, що поліпшують ріст і врожайність сільськогосподарських рослин (Uysal et al., 2015).

Протягом останніх десятиліть розробляються та випробовуються різні рецептури біодобрив на основі водоростей для промислового виробництва. Також досліджується ефективність комбінованих добрив, які поєднують мікроводорості та мінеральні або органічні добрива (Uysal et al., 2015; Win et al., 2018). У господарствах різних регіонів світу мікроводорості успішно використовуються для підвищення родючості ґрунтів, поповнення запасів органічної речовини тощо. З цією метою застосовують зелені мікроводорості (*Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus spinosus* (Chodat) E.Hegew. (= *Scenedesmus spinosus* Chodat), *Desmodesmus communis* (E.Hegew.) E.Hegew. (= *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Bréb.), *Tetradesmus obliquus* (Turpin) M.J.Wynne (= *Scenedesmus obliquus* Turpin), *Tetradesmus dimorphus* (Turpin) M.J. Wynne (= *Scenedesmus acutus* Meyen) та ціанопротокариоти (види родини *Nostocaceae*) (Salnikova, 1977).

Основними перепонами широкому впровадженню мікроводоростей в сільськогосподарське виробництво є, насамперед, чутливість останніх до едафо-кліматичних умов (особливо до водного режиму ґрунту), а також недостатнє розуміння функціонування системи «біотичні та абіотичні чинники довкілля – мікроводорості–сільськогосподарські рослини». Окрім цього, велика різноманітність мікроводоростей все ще залишається не вивченою щодо їхнього агрономічного потенціалу (Chiaiese et al., 2018).

Підвищити стабільність біодобрив на основі водоростей можливо, комбінуючи їх з органічними або органо-мінеральними сорбентами, що захищатимуть від пересихання та забезпечать необхідними елементами мінерального живлення як водорості, так і судинні рослини.

Тому метою нашої роботи було вивчення впливу культуральної рідини зеленої кокоїдної водорості *Chlorella vulgaris* та комбінованого кремнійорганічного добрива (як окремо, так і в поєднанні) на розвиток та продуктивність рослин болгарського перцю, мікробіоценоз та агрохімічні характеристики ґрунту.

Вибір *C. vulgaris* зумовлений достатньо високим рівнем його вивчення та практичного застосування. Це перший вид мікроводоростей, який залучено до фізико-технологічних процесів та описано його аллопатичний вплив на інші мікроорганізми й судинні рослини. Зокрема, аллопатично активний екзометаболіт хлорели – хлорелін, характеризується високим

пригнічуючим ефектом щодо інших мікроскопічних водоростей та бактерій (Pratt, Fong 1940; цит. за: Dellagrega et al., 2010). Завдяки цій властивості зазначений вид успішно застосовують як біологічний меліорант, що очищує водойми та покращує якість води. Окрім того, *C. vulgaris*, як і низка інших видів мікроскопічних зелених водоростей та ціанопротокариот, продукує в значній кількості гормони росту рослин – цитокініни та ауксини (Stirk et al., 2011, 2013).

*Chlorella vulgaris* невибаглива до умов існування, є космополітом і завдяки простому життєвому циклу здатна інтенсивно розмножуватися: трапляється в прісних водоймах, морях, ґрунті та аерофітоні. Через високу фотосинтетичну продуктивність та репродуктивний потенціал може ефективно вилучати з атмосфери вуглекислий газ та депонувати його в складі органічного вуглецю ґрунту.

У ролі комбінованого органічного добрива нами використано суміш природного кремнієвмісного мінералу анальциму та низового торфу (рН 5,8) у співвідношенні 1 : 3. Анальцим ( $\text{Na}[\text{A}_{18}\text{Si}_2\text{O}_6]\cdot\text{H}_2\text{O}$ ) – різновид туфів, складна суміш мінералів групи цеолітів з глинистою складовою монтморилоніту. Останній у своєму складі містить понад 30 біогенних макро- та мікроелементів. Попередніми дослідженнями встановлено, що екзогенний анальцим позитивно впливає на функціональний стан рослин і мікроорганізмів. Додаткове введення анальциму в ґрунт сприяє стимуляції розвитку кореневої системи рослин, покращує його агрофізичні показники (Zaimenko et al., 2015, 2017, 2021a), за рахунок збільшення вологості створює хімічне депо макро- і мікроелементів, підвищує стійкість рослин до абіотичних стрес-чинників (Zaimenko et al., 2016, 2021b).

Загалом анальцим і торф (як природні сорбенти) поліпшують здатність ґрунту утримувати воду та мінеральні речовини, запобігаючи пересиханню мікроводоростей, створюють додаткове депо макро- та мікроелементів і запобігають емісії парникових газів.

### Матеріали та методи

Штам зеленої мікроводорості *Chlorella vulgaris* (порядок *Chlorellales*, клас *Trebouxiophyceae*, *Chlorophyta*) отримано з колекції Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України – IBASU-A шт. 190 (Borysova, Tsarenko, 2004). Досліджений штам є відомим продуцентом біомаси та потенційним кандидатом для виробництва біодизеля (Muzafarov, Taubaev, 1984; Tsarenko et al., 2016, 2017). Нарощування біомаси мікроводоростей проведено за єдиною схемою культивування в конічних колбах Ерленмеєра ємністю 250 та 500 мл на мінеральному середовищі Болда (1N BBM), при рН 6,6 (Bischoff, Bold, 1963) за стандартних умов лабораторного мінікультиватора (інтенсивне культивування з постійною барботацією повітряною

сумішшю) протягом 10 діб, з режимом чергування світлового та темного періоду 16 : 8, за температури  $+23 \pm 5$  °C.

Тест-рослиною був болгарський перець (*Capsicum annuum* L., сорт «Білозерка»), що належить до сортів раннього терміну дозрівання. Завдяки високій врожайності, а також стійкості до фітопатогенів він є лідером серед інших сортів солодкого перцю в Україні.

Вегетаційні досліді проводили на базі відділу алелопатії Національного ботанічного саду імені М.М. Гришка НАН України упродовж 36 тижнів. Перед початком дослідів насіння перцю стерилізували 1%-ним розчином гіпохлориду натрію упродовж 5 хв, з наступним промиванням стерилізованою водою. Кремнійорганічне добриво та культуральну рідину *C. vulgaris* вносили одноразово в день посіву насіння в кількості 2 г та 10 мл на посудину (0,7 л) відповідно. Субстратом слугував сірий опідзолений ґрунт, підготовлений відповідним чином (Grodzinsky, Grodzinsky, 1973). У контрольний варіант вносили стерилізовану воду в тій самій кількості, що й культуральну рідину. Тест-рослини вирощували у фітокамері впродовж трьох тижнів за контрольованих умов освітлення 3500 лк, температури 26–28 °C, вологості ґрунту 50–60%. Вологість ґрунту визначали гравіметричним методом та підтримували на зазначеному рівні шляхом поливу стерилізованою водою.

Життєвий стан тест-рослин оцінювали за морфометричними показниками росту (висота надземних частин, діаметр стебла, площа поверхні листків, кількість квіток або плодів, маса плодів, довжина кореневої системи, біомаса сухої речовини надземних частин та коренів), а також фізіолого-біохімічними показниками: вміст фотосинтетичних пігментів у листках, каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів у плодах. Фотосинтетичні пігменти (хлорофіл *a*, *b* та каротиноїди) екстрагували зі свіжозібраних подрібнених листків диметилсульфоксидом (ДМСО). Кількісний вміст визначали спектрофотометрично згідно до A.R. Wellburn (1994) на спектрофотометрі Specord 2000 (Analytic Jena, 2003 р.). Флавоноїди екстрагували 70%-ним етанолом зі свіжозібраних листків упродовж доби в холодильнику. Кількісний вміст визначали спектрофотометрично, застосовуючи якісну реакцію з 10%-ним розчином  $AlCl_3$  у 98%-ному етанолі за М. Комаровою (Komarova et al., 1998). Антоціани екстрагували 96%-ним етиловим спиртом з 1%-ним вмістом хлористоводневої кислоти. Кількісний вміст визначали спектрофотометрично згідно з Pisarev et al. (2010).

Вимірювання рН ґрунтового розчину після досліді проводили на кондуктометрі Cond 315i (WTWGmbH, 2015 р.). Окисновідновний потенціал визначали за допомогою приладу рН/ORP Meter HI 2211 (Hanna Instruments, 2005 р.). Вміст розчинних карбонатів у ґрунтовому розчині встановлювали методом титрування сірчаною кислотою, додаючи

індикатор метил-оранж до зміни забарвлення розчину з жовтого на помаранчевий (Pecheneva, 1998). Вміст нітратів визначали у водній витяжці з ґрунту (1 : 10) за допомогою нітратоміру HORIBA LAQUAtwin NO<sub>3</sub>-11 (Японія).

Алелопатичну активність ґрунту аналізували методами прямого біотестування та біологічних проб (водна витяжка з ґрунту 1,5 : 1,0) як приріст коренів крес-салату (*Lepidium sativum* L.) та огірка (*Cucumis sativus* L.) відповідно до літератури (Pavliuchenko, Jang, 2021). Цитостатичну дію водорозчинних сполук ґрунту досліджували за кількістю бічних коренів проростків *C. sativus* (Ivanov, 2011). Фенольні сполуки виділяли з ґрунту методом іонного обміну (десорбції), використовуючи іонообмінник КУ-2-8 (H<sup>+</sup>) як модель кореневої системи з розчинюючою та поглинальною здатністю стосовно рухливих органічних сполук (Pavliuchenko et al., 2021).

Чисельність основних функціональних груп мікроорганізмів визначали за загальноприйнятими в ґрунтовій мікробіології методиками висіву послідовних розведень ґрунтової суспензії на селективні агаризовані живильні середовища (Ellanska et al., 2021).

Статистичний аналіз результатів досліджень проводили за допомогою програмного забезпечення StatSoft Statistica 10.0 та Microsoft Office Excel 2007, використовуючи дисперсійний аналіз.

### Результати та обговорення

Внесення як культуральної рідини (КР) *C. vulgaris*, так і кремнійорганічного добрива (КОД) у ґрунт перед посівом насіння перцю позитивно впливало на ріст, розвиток та продуктивність останнього (табл. 1). Рослини мали вищі показники біомаси надземних частин і коренів, площі листової поверхні та вмісту фотосинтетичних пігментів у листках, зав'язували більшу кількість плодів. При цьому внесення суміші КР *C. vulgaris* та кремнійорганічного добрива було більш ефективним порівняно із застосуванням зазначених компонентів окремо. Зокрема, у разі внесення суміші КР мікрородості та кремнійорганічного добрива в кінці експерименту (252 доба після посіву), біомаса сухої речовини надземних частин, кореневої системи та плодів зростала на 60, 178 та 170% відповідно. У випадку внесення лише культуральної рідини зазначені показники зростали на 0, 134 та 85% відповідно, а за внесення тільки добрива – на 25, 124 та 106% відповідно.

Рослини болгарського перцю, які вирощували за сумісного внесення комбінованого кремнійорганічного добрива та КР *C. vulgaris*, швидше розвивалися, раніше зацвітали та формували плоди порівняно з рослинами, які обробляли лише одним компонентом суміші та необробленими рослинами в контролі (рис. 1).

Подібну тенденцію спостерігали при аналізі фізіолого-біохімічних показників життєвого стану тест-рослин (див. табл. 1). Оброблені тест-рослини відзначалися більшим вмістом фотосинтетичних пігментів (хлорофілу *a*, *b* та каротиноїдів) у листках, каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів у плодах.

Таблиця 1. Вплив культуральної рідини (КР) *Chlorella vulgaris*, кремнійорганічного добрива (КОД) та їхньої суміші на морфометричні та фізіолого-біохімічні показники життєвого стану тест-рослин болгарського перцю через 60, 180, 252 доби після посіву (середнє ± стандартна похибка)

Показник	Доба	Контроль	КР <i>C. vulgaris</i>	КОД	КР <i>C. vulgaris</i> + КОД
Діаметр стебла, мм	180	3,30±0,21	4,32±0,22	3,93±0,19	5,20±0,23
	252	6,47±0,23	7,72±0,21	7,48±0,21	7,78±0,17
Висота надземних частин, см	60	7,84 ±0,62	9,04±0,41	9,58±0,35	9,51±0,53
	180	29,93±1,24	45,03±1,65	44,23±1,74	52,81±2,16
	252	35,5±2,02	43,25±1,93	46,75±1,62	55,64±2,24
Площа листків, см <sup>2</sup>	60	18,87±1,01	32,42±0,94	34,06±1,04	35,21±1,24
	180	64,37±1,82	81,99±3,04	76,55±2,67	115,04±3,94
	252	350±3,59	552,5±4,19	382,2±4,95	504,92±5,40
Біомаса сухої речовини надземних частин, г	60	0,32±0,02	0,68±0,02	0,66±0,04	0,78±0,02
	252	5,95±0,74	5,96±0,62	7,45±0,57	9,53±0,59
Біомаса сухої речовини коренів, г	60	0,09±0,01	0,16±0,01	0,12±0,01	0,29±0,02
	252	1,52±0,06	3,56±0,08	3,40±0,07	4,22±0,08
Біомаса плодів, г	252	4,89±0,11	9,03±0,15	10,10±0,17	13,19±0,14
Хлорофіл <i>a</i> , мг/г сир. біомаси листків	60	12,3±0,51	12,6±0,55	12,5±0,74	13,8±0,68
	180	11,6±0,54	14±0,58	13,6±0,63	14,4±0,69
	252	10,6±0,75	11,0±0,68	9,2±0,64	10,6±0,53
Хлорофіл <i>b</i> , мг/г сир. біомаси листків	60	5,4±0,41	5,8±0,34	5,7±0,38	6,4±0,36
	180	5,2±0,33	6,6±0,39	6,2±0,37	7,2±0,32
	252	5,80±0,38	5,22±0,34	5,74±0,36	5,51±0,35
Каротиноїди, мг/г сир. біомаси листків	60	1,70±0,11	1,80±0,12	1,80±0,11	2,00±0,12
	180	1,60±0,09	2,20±0,08	2,10±0,08	2,40±0,10
	252	1,81±0,10	2,28±0,09	2,06±0,09	2,44±0,08
Каротиноїди, мг/г сир. біомаси плодів	252	0,14±0,01	0,27±0,02	0,18±0,02	0,21±0,02
Флавоноїди, мг/г сир. біомаси плодів	252	0,25±0,02	0,49±0,03	0,96±0,02	0,47±0,02
Антоціани, мг/г сир. біомаси плодів, г	252	0,29±0,01	1,74±0,04	2,99±0,06	4,01±0,06

Внесення суміші (за виключенням останнього виміру в кінці експерименту) переважно стимулювало синтез фотосинтетичних пігментів

у листках порівняно з варіантами, в яких КР мікрододорості та кремнійорганічне добриво вносили окремо. Дещо нижчі значення вмісту хлорофілів *a* та *b* при внесенні суміші досліджених чинників наприкінці досліду можна пояснити перерозподілом асимілятів у плоди, маса яких була помітно більшою у разі внесення суміші.

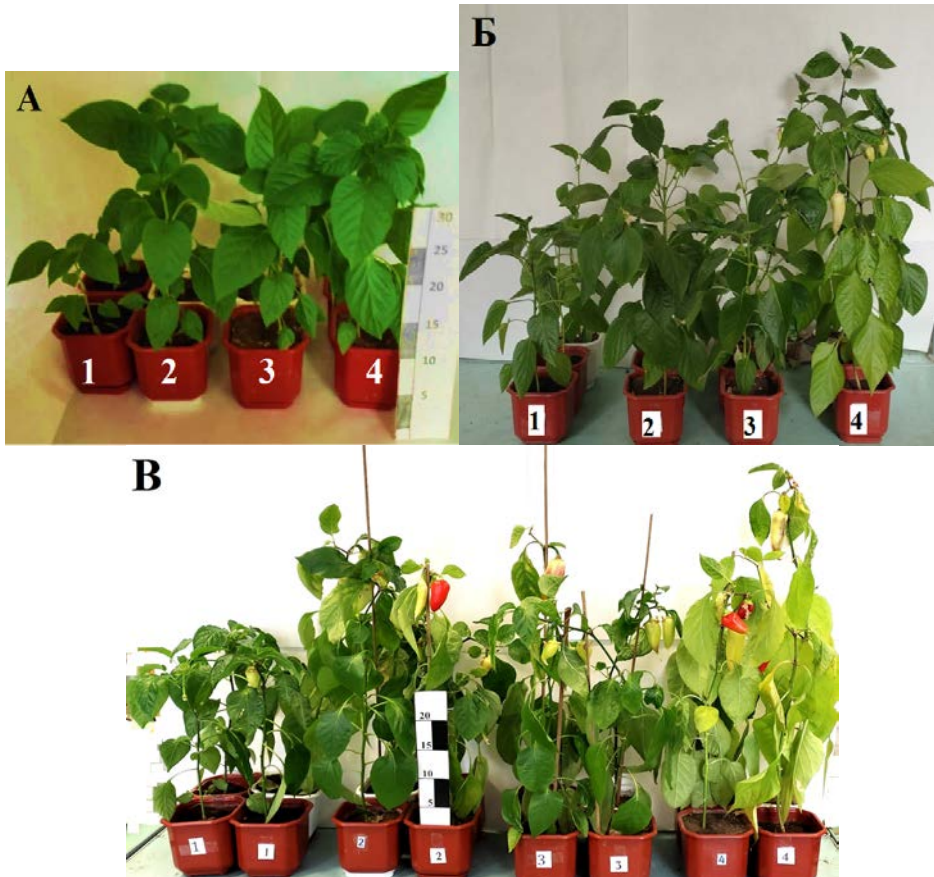


Рис. 1. Вплив культуральної рідини *Chlorella vulgaris*, кремнійорганічного добрива та їхньої суміші на ріст та продуктивність болгарського перцю через 60 (А), 180 (Б) діб та 252 (В) добу після посіву: 1 – контроль, без обробок; 2 – *Chlorella* 10 мл; 3 – анальцим 0,5 г + торф 1,5 г; 4 – анальцим 0,5 г + торф 1,5 г + *Chlorella* 10 мл

Фотосинтетична активність є одним з ключових чинників, що визначають продуктивність рослин (Andrianova, Tarchevskyi, 2000). Експериментальні рослини болгарського перцю мали більш розвинену площу листової поверхні (див. табл. 1) та вищий вміст хлорофілів у листках порівняно з контрольними. Це свідчить про інтенсивнішу енергію росту та вищу конкурентну спроможність рослин щодо бур'янів.

Виявлено позитивний вплив досліджених добрив на вміст антиоксидантів (каротиноїдів, флавоноїдів та антоціанів) у плодах тест-рослин болгарського перцю. Найвищим вмістом каротиноїдів відзначалися плоди перцю у разі внесення КР хлорели. Вміст флавоноїдів був найвищим за внесення КОД, антоціанів – за внесення суміші КР та КОД. Зростання вмісту вторинних метаболітів з антиоксидантною активністю свідчить про більш швидке дозрівання плодів і є показником зростання системної стійкості рослин до стресових факторів навколишнього середовища.

Порівняння отриманих результатів в разі внесення окремо КР *C. vulgaris* і кремнійорганічного добрива та їхньої суміші свідчить про синергічне посилення стимулюючого ефекту на показники росту, розвитку та функціонального стану рослин болгарського перцю (особливо кореневої системи), розвитку та фотосинтетичної продуктивності. Найбільша різниця між варіантами досліду (сумішшю та індивідуальними компонентами) простежується на 60-у та 180-у добу спостережень. На 252-у добу після посіву різниця у досліджених показниках була менш вираженою. Мікробіологічний аналіз зразків ґрунту, відібраних на 60-у добу після посіву насіння перцю, показав, що за внесення лише КР *C. vulgaris* зафіксовано зменшення чисельності мікроміцетів та актиноміцетів, при додаванні кремнійорганічного добрива спостерігається їхнє збільшення, дія суміші цих компонентів негативно впливає на кількісні показники мікроорганізмів (табл. 2).

Таблиця 2. Чисельність основних таксономічних та еколого-трофічних груп мікроорганізмів у зразках сірого опідзоленого ґрунту з додаванням КР мікроводорості *Chlorella vulgaris*, кремнійорганічного добрива та їхньої суміші

Варіант досліду	Мікро-міцети, тис.	Актино-міцети, млн	Амоніфікатори, млн	Мікроорганізми, що споживають мінеральний азот, млн	Коефіцієнт мінералізації-імобілізації	Показник трансформації органічної речовини
Контроль	35,7±5,3	2,2±0,1	6,7±0,2	7,6±0,6	1,1	13
КР <i>C. vulgaris</i>	14,4±0,6	0,8±0,1	10,2±1,0	8,1±0,7	0,9	20,3
Анальцим + торф	45,0±1,7	2,1±0,1	16,4±1,6	8,1±0,3	0,5	50,0
КР <i>C. vulgaris</i> + анальцим+торф	26,9±1,1	1,0±0,1	24,2±0,7	12,7±0,8	0,5	73,8

Для всіх трьох варіантів досліду встановлена стимуляція розвитку та зростання активності мікроорганізмів-імобілізаторів органічного та мінерального азоту. Амоніфікатори розвивалися інтенсивніше як за внесення КР мікрододорості, так і за додавання анальциму з торфом. При сумісному внесенні їхня чисельність збільшувалася в 3,6 раза. Для мікроорганізмів, що споживають мінеральний азот, також відзначено зростання їхньої кількості за сумісної дії КР і кремнійорганічного добрива, але меншою мірою. Процеси мінералізації сприяли накопиченню органічної речовини в ґрунті.

Методом прямого біотестування ґрунту продемонстровано ріст-стимулюючу реакцію рослин-акцепторів (*L. sativum*) під впливом культуральної рідини *C. vulgaris*, особливо її комбінованої дії з кремнійорганічним добривом (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив внесення культуральної рідини (КР) *Chlorella vulgaris* на алелопатичні та цитостатичні властивості ґрунту під болгарським перцем, % контролю (середнє ± стандартна похибка)

Варіант досліду	Цитостатична дія	Алелопатична активність	
		<i>Lepidium sativum</i>	<i>Cucumis sativus</i>
КР <i>C. vulgaris</i>	107 ± 2,1	110 ± 3,3	121 ± 4,0
Анальцим + торф	121 ± 3,6	106 ± 3,1	130 ± 3,9
КР <i>C. vulgaris</i> + анальцим+торф	135 ± 4,0	118 ± 3,5	140 ± 4,2

Алелопатична активність гідрофільних сполук ґрунту під перцем при додаванні окремо КР *C. vulgaris* і кремнійорганічного добрива характеризується найбільшим рістстимулюючим проявом, а саме: 21–40% за відношенням до контролю (див. табл. 3).

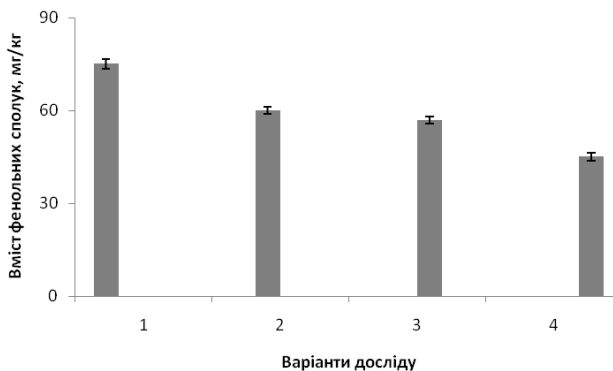


Рис. 2. Вміст фенольних сполук у ґрунті під перцем при внесенні культуральної рідини КР *Chlorella vulgaris* і кремнійорганічного добрива, мг/кг: 1 – контроль; 2 – КР *C. vulgaris*; 3 – анальцим + торф; 4 – КР *C. vulgaris* + анальцим + торф

Спостерігалось посилення проліферації клітин порівняно з контролем за внесення кремнійорганічного добрива як окремо, так і в суміші з КР *C. vulgaris* (див. табл. 3).

Концентрація вільних фенольних сполук, рухливі форми яких за певних умов можуть спричиняти алелопатичні ефекти, знижувалася в 1,2–1,7 раза відповідно до контролю, причому більшою мірою під впливом комбінованої дії КР і кремнійорганічного добрива (рис. 2).

Агрохімічний аналіз зразків ґрунту, відібраних на 60-у та 252-у добу після посіву, показав, що внесення кремнійорганічного добрива в ґрунт сприяє зменшенню показників окисновідновного потенціалу, електропровідності та дихання, особливо при сумісному використанні з культуральною рідиною (див. табл. 3).

Внесення КР *C. vulgaris* на 60-у добу досліджень сприяло незначному зміщенню рН ґрунтового розчину в бік нейтральної реакції, однак на 252-у добу спостерігалось зростання показників у лужний бік у всіх варіантах досліді, окрім варіанта з внесенням суміші кремнійорганічного добрива та КР *C. vulgaris*, при цьому рН зберігався на рівні 6,8–6,9 (табл. 4).

Таблиця 4. Вплив культуральної рідини *Chorella vulgaris* та кремнійорганічного добрива на агрофізичні показники ґрунту за вирощування солодкого перцю

Варіант досліді	Доба	рН	ОВП, мВ	ЕС, мСм	HCO <sub>3</sub> , м·екв/л H <sub>2</sub> O	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/кг	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , ppm
Контроль	60	6,5	122	178	0,3	1,5	54
	252	7,3	181	417	0,4	3,8	68
КР <i>C. vulgaris</i>	60	6,8	108	168	0,4	2,6	47
	252	7,4	171	554	0,5	3,9	69
Анальцим + торф	60	6,5	98	156	0,2	1,2	42
	252	7,7	164	447	0,6	4,9	82
Анальцим + Торф + КР <i>C. vulgaris</i>	60	6,8	87	90	0,2	2,1	24
	252	6,9	168	591	0,3	3,2	93

Показники окисновідновної активності ґрунту (ОВП) упродовж 252 діб експерименту зростали від 43 до 98%. Більш низькі їхні значення на 60-у добу експерименту можна пояснити інтенсивним розростанням кореневої системи рослин перцю та посиленням відновних процесів у ґрунті в результаті розвитку мікроорганізмів. Такі зміни значень ОВП і NO<sub>3</sub> у ґрунті пов'язані з азотфіксуючою спроможністю *C. vulgaris*, яка підвищується за присутності кремнію, та відповідним зростанням чисельності амоніфікаторів. Крім того, у разі сумісного внесення кремнійорганічного добрива і культуральної рідини спостерігається секвестрація CO<sub>2</sub> і збільшення процесів трансформації органічної речовини. Отримані дані щодо більшого вмісту нітратного азоту в

обмеженому об'ємі ґрунту свідчать про інгібування процесів нітрифікації, які сприяють рівномірному надходженню  $\text{NO}_3$  до рослинних організмів упродовж всього вегетаційного періоду (Zaimenko et al., 2020).

Зростання показників електропровідності (ЕС) ґрунтового розчину в досліді та контролі позитивно корелює з показниками розвитку кореневої системи – чим більша маса коренів, тим вищий показник ОВП (див. табл. 1, 4). Отримані дані потребують подальшого дослідження алелопатичних механізмів взаємодії в системі рослини–мікроорганізми–мікроводорості.

Позитивний вплив від внесення культури *Chlorella* sp. на родючість ґрунту показано в літературі (Dineshkumar et al., 2019; Kirsanova, 2020). Встановлено, що інокуляція ґрунту *Chlorella* sp. сприяє зростанню ферментативної активності, накопиченню органічної речовини, підвищенню біодоступності мінеральних елементів (Barone et al., 2019; Tsarenko et al., 2021). Застосування культуральної рідини мікроводоростей передбачає їхнє вирощування *in situ* без окремого процесу культивування зі зменшенням витрат, пов'язаних з екстракцією біостимуляторів або висушуванням біомаси водоростей (Barone et al., 2019).

Синергічне посилення стимулюючого ефекту від сумісного внесення кремнійорганічного добрива та культуральної рідини *C. vulgaris*, виявлене в наших дослідженнях, можна пояснити стимуляцією розвитку та метаболічної активності клітин мікроводорості внаслідок покращення водоутримуючих властивостей ґрунту, балансу процесів мінералізації та трансформації органічної речовини в ґрунті. Аналіз літературних даних підтверджує цей висновок.

Встановлено, що в разі сумісного застосування *C. vulgaris* та вермікомпосту як біодобрива спостерігається помітне зростання стабільності ґрунтових агрегатів і органічного вуглецю в ґрунті порівняно з контролем (без обробок) (Yilmaz, Sönmez, 2017). Сумісне застосування мікроводоростей *Chlorella vulgaris* та *Spirulina platensis* з коров'ячим гноєм стимулює процеси росту та розвитку і покращує якість врожаю кукурудзи (Wuang et al., 2016; Dineshkumar et al., 2019). Встановлено (Wuang et al., 2016), що сумісне застосування *S. platensis* з мінеральними добривами значно підвищує позитивний ефект компонентів суміші на накопичення сухої біомаси та вміст хлорофілу в листках овочевих культур, зокрема руколи (*Eruca sativa* (L.) Mill.), амаранту червоного (*Amaranthus gangeticus* L.), китайської листової капусти (*Brassica rapa* ssp. *chinensis*) та китайської броколі (*Brassica oleracea alboglabra*).

Вважаємо за доцільне вести подальші наукові розробки зі створення комбінованих біодобрив на основі мікроводоростей та кремнійвмісного органомінерального матеріалу.

## Висновки

Отримані нами результати підтверджують перспективність використання *Chlorella vulgaris* як біодобрива в посівах сільськогосподарських культур. Встановлено синергічне посилення стимулюючого ефекту на показники росту, розвитку, продуктивності, якості врожаю, вмісту захисних вторинних метаболітів з антиоксидантними властивостями в експериментальних рослинах болгарського перцю у разі сумісного застосування культуральної рідини *C. vulgaris* з кремнійорганічним добривом (анальцим + торф у співвідношенні 1 : 3). При внесенні суміші спостерігається позитивний ефект на досліджені агрономічні показники ґрунту, а також алелопатичний режим, чисельність різних еколого-трофічних груп мікроорганізмів, інтенсивність процесів мінералізації та трансформації органічної речовини.

*Висловлюємо щиру вдячність канд. біол. наук О.В. Борисовій за формування маточного інокулята штаму *Chlorella vulgaris*.*

## Список літератури

- Andrianova Yu.E., Tarchevskiy I.A. 2000. *Chlorophyll and plants productivity*. Moscow: Nauka. 135 p.  
[Андрианова Ю.Е., Тарчевский И.А. 2000. *Хлорофилл и продуктивность растений*. М.: Наука. 135 с.]
- Bagorka M.O. 2017. Comprehensive environmental and economic assessment of land use in Ukraine. *Sci. Bull. Int. Human. Univ. Ser: Economics and Management*. 27: 56–59. [Багорка М.О. 2017. Комплексна еколого-економічна оцінка землекористування в Україні. *Наук. вісник міжнар. гуманіст. ун-ту*. Сер.: Економіка і менеджмент. 27: 56–59].
- Barone V., Puglisi I., Fragalà F., Stevanato P., Baglieri A. 2019. Effect of living cells of microalgae or their extracts on soil enzyme activities. *Arch. Agron. Soil Sci.* 65(5): 712–726.  
<https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1521513>
- Bischoff H.W., Bold H.C. 1963. Phycological studies. IV. Some soil algae from Enchanted Rock and related algal species. *Univ. Texas Publ.* 6318: 1–95.
- Borisova E.V., Tsarenko P.M. 2004. Microalgae Culture Collection of Ukraine (IBASU-A): traditions and modern directions. *Nova Hedw.* 79(1–2): 127–134.
- Chiaiese P., Corrado G., Colla G., Kyriacou M.C., Rouphael Y. 2018. Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Front. Plant Sci.* 9: 1782. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01782>
- Datsko L.V., Maistrenko M.I. 2012. Ecological and economic aspects of sustainable land use for soil fertility reproduction. *Soil Fertility Protect.* 8: 24–39. [Дацько Л.В., Майстренко М.І. 2012. Екологічні та економічні аспекти сталого землекористування для відтворення родючості ґрунтів. *Охорона родючості ґрунтів*. 8: 24–39.]

- Dellagrecia M., Zarrelli A., Fergola P., Cerasuolo M., Pollio A., Pinto G. 2010. Fatty acids released by *Chlorella vulgaris* and their role in interference with *Pseudokirchneriella subcapitata*: experiments and modeling. *J. Chem. Ecol.* 36: 339–349.
- Diacono M., Montemurro F. 2010. Long-term effects of organic amendments on soil fertility. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 30(2): 401–422.
- Dineshkumar R., Subramanian J., Gopalsamy J., Jayasingam P., Arumugam A., Kannadasan S., Sampathkumar P. 2019. The impact of using microalgae as biofertilizer in maize (*Zea mays* L.). *Waste Biomass Valor.* 10: 1101–1110. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0123-7>
- Elalami D., Oukarroum A., Baraka A. 2021. Anaerobic digestion and agronomic applications of microalgae for its sustainable valorization. *RSC Adv.* 11: 26444–26462. <https://doi.org/10.1039/D1RA04845G>
- Ellanska N.E., Yunosheva O.P., Miao T. 2021. In: *Modern methods in allelopathic research. Methodical manual.* Kyiv: Lira-K. Pp. 107–112. [Елланська Н.Е., Юношева О.П., Мяо Т. 2021. Методи мікробіологічного аналізу ґрунту. В кн.: *Сучасні методи в аделопатичних дослідженнях. Методичний посібник.* Київ: Ліра-К. С. 107–112.]
- Grekov V.O., Datsko L.V., Poshediv N.D., Datsko M.O. 2008. Balance of nutrients in the soils of Ukraine and its dynamics. *Protection of soil fertility.* 4: 46–50. [Греков В.О., Дацько Л.В., Пошедів Н.Д., Дацько М.О. 2008. Баланс поживних речовин у ґрунтах України та його динаміка. *Охорона родючості ґрунтів.* 4: 46–50].
- Grodzinsky A.M., Grodzinsky D.M. 1973. *A brief guide to plant physiology.* Kyiv: Naukova Dumka. 592 p. [Гродзинський А.М., Гродзинський Д.М. 1973. *Краткий справочник по физиологии растений.* Київ: Наук. думка. 592 с.]
- Ivanov V.B. 2011. Using the roots as test objects for the assessment of biological action of chemical substances. *Rus. J. Plant Physiol.* 58(6): 1082–1089. <https://doi.org/10.1134/S1021443711060082>
- Kirsanova V.V. 2020. Expediency of cultivation and use of microalgae (*Chlorella*) as organic fertilizers (Electronic resource). *Environ. Sci.* 1: 311–315. [Кірсанова В.В. 2020. Доцільність обробітку та використання мікроводоростей (*Chlorella*) як органічних добрив (Електронний ресурс). *Екол. науки.* 1: 311–315]. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2020.eco.1-28.52>
- Komarova M.N., Nikolaeva L.A., Regir V.G., Tesov L.S., Kharitonova N.P., Shatokhina R.K. 1998. *Phytochemical analysis of medicinal plant raw materials: Methodical instructions for laboratory classes.* SPb.: SPHFA. 60 p. [Комарова М.Н., Николаева Л.А., Регир В.Г., Тесов Л.С., Харитоновна Н.П., Шатохина Р.К. 1998. *Фитохимический анализ лекарственного растительного сырья: Методические указания к лабораторным занятиям.* СПб.: СПХФА. 60 с.]
- Muzafarov A.M., Taubaev T.T. 1984. *Cultivation and application of microalgae.* Tashkent: FAN. 137 p. [Музафаров А.М., Таубаев Т.Т. Культивирование и применение микроводорослей. Ташкент: ФАН. 137 с.]
- Pavliuchenko N.A., Jang X. 2021. In: *Modern methods in allelopathic research. Methodical manual.* Kyiv: Lira-K. Pp. 74–89. [Павлюченко Н.А., Янг Х. 2021. Методи експрес-оцінювання аделопатичної активності (біотести). В кн.: *Сучасні методи в аделопатичних дослідженнях: Методичний посібник.* Київ: Ліра-К. С. 74–89.]

- Pavliuchenko N.A., Didyk N.P., Li L. 2021. In: *Modern methods in allelopathic research: Methodical manual*. Kyiv: Lira-K. Pp. 117–147. [Павлюченко Н.А., Дідик Н.П., Лі Л. 2021. Колориметричні методи аналізу аделопатично активних речовин у рослинному матеріалі та ґрунті. В кн.: *Сучасні методи в аделопатичних дослідженнях: Методичний посібник*. Київ: Ліра-К. С. 117–147].
- Pecheneva S.Ia. 1998. Agrochemical analysis methods. *Havrysh*. 4: 24–26. [Печенева С.Я. 1998. Методи агрохімічного аналізу. *Гавриш*. 4: 24–26].
- Pisarev D.I., Novikov O.O., Sorokopudov V.N., Khalikova M.A., Zhilyakova E.T., Ogneva O.V. 2010. Chemical study of biologically active polyphenols of some varieties of mountain ash – *Sorbus aucuparia*. *Sci. Bull. Ser. Medicine. Pharmacy*. 93(12/2): 123–128. [[Писарев Д.И., Новиков О.О., Сорокопудов В.Н., Халикова М.А., Жилиякова Е.Т., Огнева О.В. 2010. Химическое изучение биологически активных полифенолов некоторых сортов рябины обыкновенной – *Sorbus aucuparia*. *Научные ведомости*. Сер. Медицина. Фармация. 93(12/2): 123–128].
- Salnikova M.Ya. 1977. *Chlorella is a new type of fodder*. Moscow: Kolos. 96 p. [Сальникова М.Я. 1977. *Хлорелла – новый вид корма*. М.: Колос. 96 с.].
- Stirk W.A., Bálint P., Tarkowská D., Novák O., Strnad M., Ördög V., van Staden J. 2013. Hormone profiles in microalgae: Gibberellins and brassinosteroids. *Plant Physiol. Biochem*. 70: 348–353.
- Stirk W.A., van Staden J., Novák O., Doležal K., Strnad M., Dobrev P.I., Sipos G., Ördög V., Bálint P. 2011. Changes in endogenous cytokinin concentrations in *Chlorella* (*Chlorophyceae*) in relation to light and the cell cycle. *J. Phycol.* 47(2): 291–301. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2010.00952.x>
- Tarariko O.G., Grekov V.O., Datsko L.V. 2011. Mechanisms and technologies of soil fertility control. *Bull. Agrar. Sci.* 11: 16–19. [Тараріко О.Г., Греков В.О., Дацько Л.В. 2011. Механізми і технології контролю родючості ґрунтів. *Вісн. аграр. науки*. 11: 16–19].
- Tsarenko P., Borysova O., Blume Ya. 2016. High biomass producers and promising candidates for biodiesel production from microalgae collection IBASU-A (Ukraine). *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 73(1): 79–85.
- Tsarenko P.M., Konischuk M.A., Korkhovoy V.I., Kostikov I.Yu., Blume Ya.B. 2017. Fatty acid composition of cocoid green algae as a basis of their energy and primary products potential. 1. *Chlorella*- and *Acutodesmus*-like microalgae (*Chlorophyta*). *Int. J. Algae*. 19(4): 365–382. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i4.70>
- Tsarenko P.M., Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ivanytska B.O., Kharitonova I.P., Demchenko E.M. 2021. Allelopathic effect of microalgae on winter wheat plants. *Int. J. Algae*. 23(4): 411–420. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v23.i4.80>
- Uysal Ö., Ozdemir F., Ekinci K. 2015. Evaluation of microalgae as microbial fertilizer. *Eur. J. Sustain. Dev.* 4: 77–82. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2015.v4n2p77>
- Vorobel M.I., Kaplinsky V.V., Klim O.Ya., Dmitrotsa A.I. 2021. Emission of greenhouse gases in chicken manure when using natural sorbents. *Foothill and mountain agriculture and animal husbandry*. 69(1): 169–182. [Воробель М.І., Каплінський В.В., Клим О.Я., Дмитроца А.І. 2021. Емісія парникових газів у курячому посліді при застосуванні природних сорбентів. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*. 69(1): 169–182].

- Wellburn A.R. 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. Plant Physiol.* 144(3): 307–313. [https://doi.org/10.1016/s0176-1617\(11\)81192-2](https://doi.org/10.1016/s0176-1617(11)81192-2)
- Win T.T., Barone G.D., Secundo F., Fu P. 2018. Algal biofertilizers and plant growth stimulants for sustainable agriculture. *Ind. Biotechnol.* 14: 203–211. <https://doi.org/10.1089/ind.2018.0010>
- Wuang S.C., Khin M.C., Chua P.Q.D., Luo Y.D. 2016. Use of *Spirulina* biomass produced from treatment of aquaculture wastewater as agricultural fertilizers. *Algal Res.* 15: 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.02.009>
- Yilmaz E., Sönmez M. 2017. The role of organic/bio-fertilizer amendment on aggregate stability and organic carbon content in different aggregate scales. *Soil Tillage Res.* 168: 118–124. <https://doi.org/10.1016/j.still.2017.01.00>
- Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ivanytska B.O., Pavluchenko N.A., Kharytonova I.P. 2015. The effect of silicon-containing mixtures on the growth of maize seedlings, allelopathic and physico-chemical properties of the substrate at different levels of acidification. *Physiol. Genet. Plants* 47(4): 347–353. [Заїменко Н.В., Дідик Н.П., Іваницька Б.О., Павлюченко Н.А., Харитоновна І.П. 2015. Вплив кремнієвмістних сумішей на ріст проростків кукурудзи, алелопатичні та фізико-хімічні властивості субстрату за різного рівня його закислення. *Фізіол. рослин і генетика.* 47(4): 347–353].
- Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ellanska N.E., Ivanytska B.O., Pavluchenko N.A., Rakhmetov D.B., Kharytonova I.P. 2016. Implementation of new technique for phyto- and chemical melioration of acidic and saline soils. *Sci. Innov.* 12(1): 58–68. <https://doi.org/10.15407/scine12.01.058>
- Zaimenko N.V., Pavluchenko N.A., Ellanska N.E., Yunosheva O.P., Ivanytska B.O., Kharytonova I.P., Didyk N.P., Rositska N.V. 2017. Prospects of application of a siliceous organo-mineral mixture to reduce the soil sickness in orchards. *Rep. Nat. Acad. Sci. Ukraine.* 11: 76–82. [Заїменко Н.В., Павлюченко Н.А., Елланська Н.Е., Юношева О.П., Іваницька Б.О., Харитоновна І.П., Дідик Н.П., Росіцька Н.В. 2017. Перспективи застосування кремнієвмістної органо-мінеральної суміші для зниження ґрунтової в плодових садах. *Доп. НАН України.* 11: 76–82. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2017.11.076>
- Zaimenko N., Ivanytska B.O., Didyk N., Malashchuk O., Rakhmetov D., Gryshko V., Poliakova A., Pyzyk M., Slaski J. 2021a. Effect of analcite on cadmium phytoavailability and phytotoxicity. *Plant Introduct.* (91/92): 64–73. <https://doi.org/10.46341/PI2021014>
- Zaimenko N.V., Didyk N.P., Ellanska N.E., Rositska N., Kharytonova I., Yunosheva O. 2021b. Implementation of modern technologies to alleviate soil sickness in urban green areas. *Sci. Innov.* 17(1): 64–77. <https://doi.org/10.15407/scine17.01.064>
- Zaimenko N.V., Ivanytska B.O., Didyk N.P., Kharytonova I.P. 2020. *Use of Siliceous Minerals as Natural Nitrification*: 1<sup>st</sup> Int. Electron. Conf. Plant Sci. (1–15 Dec. 2020); Available online: <https://iecps2020.sciforum.net>

Підписала до друку О.К. Золотарьова

Zaimenko N.V.<sup>1</sup>, Tsarenko P.M.<sup>2</sup>, Didyk N.P.<sup>1</sup>, Ivanytska B.O.<sup>1</sup>, Ellanska N.E.<sup>1</sup>, Pavliuchenko N.A.<sup>1</sup>, Kharytonova I.P.<sup>1</sup> 2022. **Combined effect of *Chlorella vulgaris* Beijer. (*Chlorophyta*) and silicon-containing organic fertilizer on the productivity of sweet pepper, microbiocenosis, allelopathic and agronomic characteristics of the soil.** *Algologia*. 32(1): 3–19.

<sup>1</sup>M.M. Grishko National Botanical Garden, NAS of Ukraine,

1 Tymiryazivska Str., Kyiv 01014, Ukraine

<sup>2</sup>M.G. Kholodny Institute of Botany, NAS of Ukraine,

2 Tereschenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

The combined effect of green microalgae *Chlorella vulgaris* and siliceous organo-mineral fertilizer (analcite + peat (pH 5.8) in a ratio of 1 : 3) on the characteristics of growth, development, photosynthetic productivity, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annuum* L., variety "Bieloziorka"), as well as microbiocenosis, allelopathic and agronomic characteristics of the soil was studied in pot experiments. The microalgae culture medium was applied in a volume of 10 mL per a pot (0.7 L) with sifted and sterilized gray podzolic soil. Plants were grown in a phytochamber under controlled conditions of light, temperature and soil moisture. The vitality of the pepper plants was assessed by morphometric growth characteristics (shoot height, stem diameter, leaf surface area, length of roots, shoot and root dry weights, quantity and weight of fruits), content of photosynthetic pigments in leaves, protective antioxidants (carotenoids, flavonoids and anthocyanins) in fruits. At the end of the experiment, the content of phenolics, electric conductivity, redox potential, pH, the content of  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  in the soil solution were determined. A synergistic enhancement of the positive effect of microalgae and siliceous organo-mineral fertilizer on the growth, development, productivity and yield quality of sweet peppers has been established. The combined application of chlorella culture medium with siliceous organo-mineral fertilizer more effectively improved agronomic and allelopathic characteristics of the soil, stimulated the development of agronomically useful ecological and trophic groups of microorganisms, the intensity of mineralization and transformation of organic matter compared to control and treatments in which microalgae or fertilizer were applied separately.

**Key words:** *Chlorella vulgaris*, *Capsicum annuum*, soil microbiocenosis, allelopathic interactions, nutrients

## Мікроскопічні водорості водойм Кінбурнської піщаної коси (НПП «Білобережжя Святослава», Україна)

Герасимюк В.П.

Одеський національний ун-т імені І.І. Мечникова, кафедра гідробіології та загальної екології,  
вул. Дворянська, 2, Одеса 65026, Україна  
gerasimyuuk2007@ukr.net

Надійшла до редакції 20.09.2021. Після доопрацювання 01.12. 2021. Підписана до друку 02.12.2021.  
Опублікована 22.03.2022

**Реферат.** Вивчено таксономічний склад мікроскопічних водоростей водойм (Дніпровського лиману, Кефального, Гуряньського і Черепашиного озер, Ягорлицької затоки) Кінбурнської піщаної коси північно-західної частини Чорного моря (Національний природний парк «Білобережжя Святослава»). Матеріалом для досліджень слугували проби, відібрані за період з вересня 2019 р. по жовтень 2021 р. на піщаних і мулистих ґрунтах, а також в обростаннях мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck), мії (*Mya arenaria* L.), серцевидки (*Cerastoderma lamarcki* Reeve), баянусів (*Balanus improvisus* Darwin), макроскопічних водоростей (*Ceramium virgatum* Roth, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek, *C. siwaschensis* С.Мeyer, *Ulva intestinalis* L., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Harv. та ін.). Загалом відібрано й проаналізовано 90 зразків. Виявлено 116 видів мікроскопічних водоростей, що належать до 74 родів, 52 родин, 31 порядку, 9 класів, 6 відділів, 3 царств та 2 імперій. За систематичним складом переважали *Bacillariophyta* – 76 видів, *Cyanophyta* налічували 26 видів, *Chlorophyta* – 7, *Dinophyta* – 3, *Chrysophyta* – 3 і *Haptophyta* – 1. У мікрофітобентосі Ягорлицької затоки зібрано 86 видів водоростей, у Дніпровському лимані – 56, у Черепашиному озері – 33, Гуряньському озері – 21, у Кефальному озері – 17. За результатами досліджень виявлено 2 нових і 4 рідкісних видів мікроскопічних водоростей для акваторії Чорного моря.

**Ключові слова:** мікроскопічні водорості, Кінбурнська піщана коса, НПП «Білобережжя Святослава», Чорне море, Україна

### Вступ

Вузька стрічка піщаних пляжів обмежує більшу частину Чорного моря. З 4000 км його берегової лінії майже половина зайнята піщаними пляжами, пересипами, косами, а в північно-західній частині моря пляжі простягнулися

© Герасимюк В.П., 2022

на 1000 км (Vorobyova et al., 1992). Піски (частки діаметром 0,1–1,0 мм), що утворюють пляжі, формуються із зерен кварцу. Піщані пляжі гасять близько 70% енергії морських хвиль. Крім пляжів, піски утворюють піщані коси (Будакська, Кароліно-Бугазька, Кінбурнська, Тендрівська та ін.).

Кінбурнська коса знаходиться в північно-західній частині Кінбурнського п-ва між Дніпровським лиманом і Чорним морем. Довжина її становить 40 км, ширина в кореневій частині 8–10 км. Головними рисами коси є плоскорівнинність, гіпсометрична низинність та піщано-черепашковий склад літогенної основи. На Кінбурнському п-ві розташований НПП «Білобережжя Святослава». Площа парку становить близько 35 тис. га, з яких 25 тис. га – водні акваторії. На півострові нараховується більше 300 озер з прісною, морською та солоною водою.

Літературних даних, присвячених вивченню альгофлори піщаних кос, небагато (Nikonova, 2010; Snigireva, Kovaleva, 2015). Перша праця присвячена дослідженню цист дінофітових водоростей, у другій наводиться 21 вид діатомових водоростей, знайдених на Кінбурнській косі. Видовий склад осінньої альгофлори Ягорлицької затоки представлений у роботі Ф.П. Ткаченко та В.П. Герасимюка (Tkachenko, Gerasimiuk, 2020).

Мікроскопічні водорості створюють органічну речовину, кисень, утилізують вуглекислий газ і забруднення води (мінеральні добрива, детергенти, нафтопродукти, радіонуклеїди, солі важких металів), беруть участь у кругообігу хімічних елементів, є їжею для багатьох гідробіонтів (інфузорій, ракоподібних, черв'яків, молюсків і риб).

Метою даної роботи є вивчення сучасного стану мікрофітів Кінбурнської піщаної коси Кінбурнського п-ва (північно-західна частина Чорного моря).

## Матеріали та методи

Матеріалом для роботи слугували зразки, зібрані в озерах, розташованих на піщаній Кінбурнській косі, а також у Дніпровському лимані та Ягорлицькій затоці. Проби відбирали в листопаді 2003 р., вересні 2019, липні, вересні та листопаді 2020 р., квітні, липні та жовтні 2021 р. в обростаннях макрофітів, стулок молюсків, на поверхні піщаних та мулистих ґрунтів. Відбір проб здійснювали за загальноприйнятими методиками (Algae..., 1989). Загалом зібрано та проаналізовано 90 проб.

Видовий склад водоростей визначали в альгологічній лабораторії кафедри ботаніки Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова за допомогою світлового мікроскопу XSP-104 (10 × 10; 10 × 40; 10 × 100). Діатомові водорості підлягали спеціальній обробці – спалюванню органічної речовини за допомогою 50% розчину перекису водню. Після цього готували постійні препарати за методикою, приведеною в літературі (The diatoms..., 1974; Algae..., 1989). Вивчення структури панцирів і

стулок діатомей для їх подальшого таксономічного визначення здійснювали за допомогою сканувальних електронних мікроскопів ISM-35 S, IEOL-100 і ISM-6060 LA.

Водорості ідентифікували з використанням вітчизняних (Kondratyeva, 1968; Tsarenko, 1990; Gusliakov et al., 1992; *The key to freshwater algae of Ukraine*, 1938–1993; *Diatom analysis*, 1949–1950), *The diatoms of the USSR. Fossil and recen*, 1974, 1988, 2002) і зарубіжних (Schmidt, 1874–1959, Hustedt, 1927–1966; Hindák et al., 1975; Krammer, Lange-Bertalot, 1986–2001, Witkowski et al., 2000) літературних джерел. Класифікаційна система водоростей представлена згідно *Algaebase*: <http://www.algaebase.org> (Guiry, Guiry, 2021) та *Algae of Ukraine...*, 2006, 2009, 2011, 2014).

### Результати та обговорення

В досліджених водоймах Кінбурнської коси знайдено 116 видів мікроскопічних водоростей, що належать до 74 родів, 52 родин, 31 порядку, 9 класів, 6 відділів, 3 царств і 2 імперій (табл. 1, 2).

Таблиця 1. Видовий склад водоростей Кінбурнської коси

№	Таксон	Водойма				
		Дніпров-ський лиман	Черепашине озеро	Гурянське озеро	Кефальне озеро	Ягорлицька затока
<b>Імперія <i>Prokaryota</i> Chatton</b>						
<b>Царство <i>Eubacteria</i> Woese ex Fox</b>						
<b>Відділ <i>Cyanobacteria</i> Stanier et al.</b>						
<b>Клас <i>Cyanophyceae</i> Schaffner</b>						
<b>Порядок <i>Synechococcales</i> L.Hoffm., Komárek et Kastovsky</b>						
<b>Родина <i>Merismopediaceae</i> Elenkin</b>						
1	<i>Aphanocapsa grevillei</i> (Berk.) Rabenh.*	-	+	-	-	+
2	<i>A. incerta</i> (Lemmerm.) Cronberg et Komárek*	+	+	+	+	+
3	<i>Merismopedia glauca</i> (Ehrenb.) Kütz.	+	+	-	-	+
<b>Родина <i>Coelosphaeriaceae</i> Elenkin</b>						
4	<i>Coelomoron pusillum</i> (Van Goor) Komárek*	-	+	-	-	+
5	<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli	-	-	-	-	+
<b>Родина <i>Pseudanabaceae</i> Komárek et Anagn.</b>						
6	<i>Limnothrix guttulata</i> (Goor) Umezaki et Watanabe*	+	+	-	-	+
<b>Родина <i>Synechococcales familia incertae sedis</i></b>						
7	<i>Jaaginema kisselevii</i> (Anissimova) Anagn. et Komárek*	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Chroococcales</i> Schaffner</b>						
<b>Родина <i>Chroococcaceae</i> Rabenhorst</b>						

8	<i>Chroococcus turgidus</i> (Kütz.) Nägeli	-	-	-	-	+
<b>Родина Gomphosphaeriaceae</b> Elenkin						
9	<i>Gomphosphaeria aponina</i> Kütz.*	-	+	+	-	+
<b>Родина Microcystaceae</b> Elenkin						
10	<i>Gloeocapsa kuetzingiana</i> Nägeli ex Kütz.	-	+	-	-	+
11	<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz.	+	+	-	-	+
<b>Порядок Oscillatoriales</b> Elenkin						
<b>Родина Oscillatoriaceae</b> Engler						
12	<i>Lyngbya confervoides</i> C.Agardh ex Gomont	+	-	-	-	+
13	<i>L. lutea</i> Gomont ex Gomont*	+	-	-	-	-
14	<i>L. majuscula</i> (Dillw.) Harvey ex Gomont	-	-	-	-	+
15	<i>Oscillatoria limosa</i> C.Agardh et Gomont	-	-	-	-	+
16	<i>O. margaritifera</i> Kütz. ex Gomont	+	+	-	-	+
17	<i>O. tenuis</i> C.Agardh ex Gomont	+	-	-	-	-
18	<i>Phormidium breve</i> (Kütz. ex Gomont) Anagn. et Komárek*	+	+	+	+	-
19	<i>P. chalybeum</i> (Mertens ex Gomont) Anagn. et Komárek*	+	-	-	-	-
20	<i>P. nigroviride</i> (Thwaites ex Gomont) Anagn. et Komárek*	+	-	-	-	-
<b>Порядок Spirulinales</b> Komárek et al.						
<b>Родина Spirulinaceae</b> (Gomont) L.Hoffm., Komárek et Kastovsky						
21	<i>Spirulina major</i> Kütz.ex Gomont	-	+	-	-	+
<b>Порядок Nostocales</b> (Borzi) Geitler						
<b>Родина Aphanizomenonaceae</b> Komárek et al.						
22	<i>Dolichospermum flosaquae</i> (Bréb. ex Bornet et Flahault) Wacklin et al.*	+	-	-	-	-
23	<i>Nodularia spumigena</i> Mert. ex Bornet et Flahault*	-	-	-	-	+
<b>Родина Nostocaceae</b> C.Agardh ex Kirchner						
24	<i>Nostoc paludosum</i> Kützing ex Bornet et Flahault	+	-	-	-	-
<b>Родина Rivulariaceae</b> Bornet et Flahault						
25	<i>Calothrix brevissima</i> G.S.West*	-	-	-	-	+
26	<i>C. confervicola</i> C.Agardh ex Bornet et Flahault	-	-	-	-	+
<b>Імперія Eukaryota</b> Chatton						
<b>Царство Chromista</b> Caval.-Sm. emend. Caval.-Sm.						
<b>Відділ Chrysophyta</b> Pascher						
<b>Клас Chrysophyceae</b> Pascher						
<b>Порядок Chromulinales</b> Pascher						
<b>Родина Chrysamoebaceae</b> Bourr.						
27	<i>Chrysamoeba radians</i> G.A.Klebs*	+	-	-	-	-
<b>Клас Dictyochophyceae</b> Silva						

<b>Порядок <i>Dictyochales</i> E.Haeckel</b>						
<b>Родина <i>Dictyochaceae</i> Lemmermann</b>						
28	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenb.	-	-	-	-	+
29	<i>Octactis speculum</i> (Ehrenb.) F.H.Chang	-	-	-	-	+
<b>Відділ <i>Dinophyta</i> Round</b>						
<b>Клас <i>Dinophyceae</i> Pascher</b>						
<b>Порядок <i>Gymnodiniales</i> Apstein</b>						
<b>Родина <i>Gymnodiniaceae</i> (Bergh) Lankester</b>						
30	<i>Akashiwo sanguinea</i> (Hirasaka) G.Hansen et Moestrup*	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Prorocentrales</i> Lemmerm.</b>						
<b>Родина <i>Prorocentraceae</i> F.Stein</b>						
31	<i>Prorocentrum lima</i> (Ehrenb.) F.Stein	-	-	-	+	+
32	<i>P. micans</i> Ehrenb.	+	-	-	-	+
<b>Відділ <i>Haptophyta</i> Caval.-Sm.</b>						
<b>Клас <i>Coccolithophyceae</i> Rothmaler</b>						
<b>Порядок <i>Coccolithales</i> Schwarz emend. Edvardsen et Eikrem</b>						
<b>Родина <i>Calcidiscaceae</i> Young et Bown</b>						
33	<i>Calcidiscus leptoporus</i> (G.Murr. et V.H.Blackman) Loeblich et Tappan*	-	-	-	-	+
<b>Відділ <i>Bacillariophyta</i> Karsten</b>						
<b>Клас <i>Coscinodiscophyceae</i> Round et R.M.Crawford emend. Medlin et Kaczmarska</b>						
<b>Порядок <i>Coscinodiscales</i> Round et R.M. Crawford in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Hemidiscaceae</i> Hendey emend. Simonsen</b>						
34	<i>Actinocyclus octonarius</i> Ehrenb.	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Melosirales</i> Glezer in Glezer, Moiss. et I.V.Makarova</b>						
<b>Родина <i>Melosiraceae</i> Kütz. emend. Round, R.M.Crawford et Mann</b>						
35	<i>Melosira moniliformis</i> (O.Müll.) C.Agardh var. <i>subglobosa</i> Grunow	+	-	-	-	+
<b>Клас <i>Mediophyceae</i> (Joeset et Proschk.-Lavr.) Medlin et Kaczmarska</b>						
<b>Порядок <i>Eupodiscales</i> Nikolaev et Harwood in Witkowski et Sieminska</b>						
<b>Родина <i>Eupodiscaceae</i> Ralfs in Pritchard</b>						
36	<i>Pleurosira laevis</i> (Ehrenb.) Compere	+	-	-	-	-
<b>Порядок <i>Stephanodiscales</i> Nikolaev et Harwood</b>						
<b>Родина <i>Stephanodiscaceae</i> I.V.Makarova in Glezer et I.V.Makarova</b>						
37	<i>Cyclotella meneghiniana</i> Kütz.	+	-	-	-	-
<b>Порядок <i>Toxariales</i> Round in Round R.M., Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Ardissoniaceae</i> Round in Round, Crawford et Mann</b>						
38	<i>Ardissonaea crystallina</i> (C.Agardh) Grunow	-	-	-	-	+
<b>Родина <i>Toxariaceae</i> Round in Round, R.M.Crawford et Mann</b>						
39	<i>Toxarium undulatum</i> Bailey	-	-	-	-	+
<b>Клас <i>Bacillariophyceae</i> Haeckel emend. Medlin et Kaczmarska</b>						
<b>Порядок <i>Licmophorales</i> Round in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Licmophoraceae</i> Kütz.</b>						
40	<i>Licmophora abbreviata</i> C.Agardh*	-	-	-	-	+
41	<i>L. flabellata</i> (Grev.) C.Agardh	-	-	-	-	+

42	<i>Licmophora gracilis</i> (Ehrenb.) Grunow*	+	-	-	-	+
43	<i>L. paradoxa</i> (Lyngb.) C.Agardh	-	-	-	-	+
<b>Родина <i>Ulnariaceae</i> E.J.Cox</b>						
44	<i>Tabularia fasciculata</i> (C.Agardh) D.M.Williams et Round	+	+	+	+	+
45	<i>T. tabulata</i> (C.Agardh.) Snoeijis	+	+	+	+	+
46	<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) P.Compere	+	+	-	-	-
<b>Порядок <i>Tabellariales</i> Round in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Tabellariaceae</i> Kütz.</b>						
47	<i>Diatoma vulgare</i> Bory	+	-	-	-	+
48	<i>D. elongata</i> (Lyngb.) C.Agardh	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Rhabdonematales</i> Round et R.M.Crawford</b>						
<b>Родина <i>Grammatophoraceae</i> Lobban et Ashworth</b>						
49	<i>Grammatophora marina</i> (Lyngb.) Kütz.	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Thalassionematales</i> Round in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Thalassionemataceae</i> Round in Round, Crawford et Mann</b>						
50	<i>Thalassiothrix longissima</i> Cleve et Grunow*	+	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Striatellales</i> Round in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Striatellaceae</i> Kütz.</b>						
51	<i>Striatella unipunctata</i> (Lyngb.) C.Agardh	-	-	-	+	+
<b>Порядок <i>Lyrellales</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Lyrellaceae</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
52	<i>Lyrella lyra</i> (Ehrenb.) Karayeva	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Mastogloiales</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Achnanthaceae</i> Kütz.</b>						
53	<i>Achnanthes adnata</i> Bory	+	-	-	-	+
<b>Родина <i>Mastogloiaceae</i> Mereschk.</b>						
54	<i>Mastogloia angulata</i> F.W.Lewis	-	+	-	-	+
55	<i>M. braunii</i> Grunow	-	-	-	-	+
56	<i>M. smithii</i> Thwaites ex W.Sm.*	+	+	-	-	+
57	<i>Petronis humerosa</i> (Bréb. ex W.Sm.) Stickle et D.G.Mann	+	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Symbellales</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Rhoicospheniaceae</i> Chen et Zhu</b>						
58	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (C.Agardh) Lange-Bert.	+	+	+	+	-
<b>Родина <i>Symbellaceae</i> Grev.</b>						
59	<i>Brébissonia lanceolata</i> (C.Agardh) R.K.Mahoney et Reimer*	+	-	-	-	-
60	<i>Cymbella neocistula</i> Krammer*	+	-	-	-	-
<b>Родина <i>Gomphonemataceae</i> (Kütz.) Grunow</b>						
61	<i>Gomphonema truncatum</i> Ehrenb.*	+	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Cocconeidales</i> E.J.Cox</b>						

<b>Родина <i>Achnanthidiaceae</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
62	<i>Planothidium delicatulum</i> (Kütz.) Round et Bukht.	-	+	+	+	-
<b>Родина <i>Cocconeidaceae</i> Kütz.</b>						
63	<i>Anorthoneis hummii</i> Hust.	-	-	-	-	+
64	<i>Cocconeis molesta</i> Kütz.*	-	-	-	-	+
65	<i>C. placentula</i> var. <i>euglypta</i> (Ehrenb.) Grunow	+	-	+	-	+
66	<i>C. quarnerensis</i> (Grunow) A.W.F.Schmidt*	-	-	-	-	+
67	<i>C. scutellum</i> Ehrenb.	+	+	-	+	+
<b>Порядок <i>Naviculales</i> Bessey</b>						
<b>Родина <i>Amphileuraceae</i> Grunow</b>						
68	<i>Halamphora coffeaeformis</i> (C.Agardh) Levkov	+	+	+	+	+
69	<i>H. cymbifera</i> (W.Greg.) Levkov	+	-	-	-	+
70	<i>H. hyalina</i> (Kützing) Rimet et R.Jahn	-	-	-	-	+
<b>Родина <i>Pinnulariaceae</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
71	<i>Pinnularia quadratarea</i> (A.W.F.Schmidt) Cleve*	-	-	-	-	+
<b>Родина <i>Naviculaceae</i> Kütz.</b>						
72	<i>Caloneis liber</i> (W.Sm.) Cleve*	-	-	-	-	+
73	<i>Navicula cryptocephala</i> Kütz.	+	+	+	+	+
74	<i>N. pontica</i> A.Witkowski et al.	-	-	-	-	+
75	<i>N. radiosa</i> Kütz.	+	-	-	-	-
76	<i>N. ramosissima</i> (C.Agardh) Cleve	+	-	-	-	+
77	<i>N. salinarum</i> Grunow	-	-	-	-	+
78	<i>Trachyneis aspera</i> (Ehrenb.) Cleve*	-	-	-	-	+
<b>Родина <i>Pleurosigmataceae</i> Mereschk.</b>						
79	<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh.	-	-	-	-	+
80	<i>G. balticum</i> (Ehrenb.) Rabenh.	-	+	-	-	+
81	<i>Pleurosigma angulatum</i> (J.T. Quekett) W.Sm.	+	+	-	+	+
82	<i>P. elongatum</i> W.Sm.	+	+	+	-	+
<b>Родина <i>Plagiotropidaceae</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
83	<i>Plagiotropis elegans</i> (W.Sm.) Grunow	-	-	-	-	+
84	<i>P. lepidoptera</i> (W.Greg.) Kuntze	+	+	+	-	+
<b>Родина <i>Stauroneidaceae</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
85	<i>Craticula halophila</i> (Grunow) D.G.Mann*	-	-	-	-	+
<b>Порядок <i>Thalassiophysales</i> D.G.Mann in Round, Crawford et Mann</b>						
<b>Родина <i>Catenulaceae</i> Mereschk.</b>						
86	<i>Amphora angusta</i> W.Greg.	+	+	-	-	+
87	<i>A. arcus</i> W.Greg.	-	-	-	-	+
88	<i>Amphora commutata</i> Grunow*	+	-	-	-	-
89	<i>A. graeffeana</i> Hendey	-	-	-	-	+

90	<i>Amphora kujalitzkensis</i> (Gusl. et Gerasimiuk) Gerasimiuk***	-	-	+	-	+
91	<i>A. obtusa</i> W.Greg.	-	-	-	-	+
92	<i>A. ovalis</i> (Kütz.) Kütz.	+	+	+	+	+
93	<i>A. proteus</i> W.Greg.*	+	-	-	-	+
<b>Порядок Bacillariales</b> Hendey						
<b>Родина Bacillariaceae</b> Ehrenb.						
94	<i>Bacillaria paxillifera</i> (O.F.Müll.) T.Marsson*	-	-	-	-	+
95	<i>Cylindrotheca closterium</i> (Ehrenb.) Reimer et Lewis	+	+	+	-	+
96	<i>Nitzschia frustulum</i> (Kütz.) Grunow*	+	-	-	-	-
97	<i>Nitzschia pseudohybrida</i> Hust.***	-	-	-	-	+
98	<i>Nitzschia sigma</i> (Kütz.) W.Sm.	+	-	-	-	-
99	<i>Tryblionella coarctata</i> (Grunow) D.G.Mann*	-	+	-	-	-
<b>Порядок Rhopalodiales</b> D.G.Mann						
<b>Родина Rhopalodiaceae</b> (Karsten) Topach. et Oksiyuk						
100	<i>Epithemia gibba</i> (Ehrenb.) Kütz.	+	-	-	-	-
101	<i>E. sorex</i> Kütz.	-	-	-	-	+
102	<i>Rhopalodia gibberula</i> (Ehrenb.) O.Müll.*	-	-	+	-	-
103	<i>R. musculus</i> (Kütz.) O.Müll.	-	-	-	-	+
<b>Порядок Surirellales</b> D.G.Mann						
<b>Родина Entomoneidaceae</b> Reimer						
104	<i>Entomoneis alata</i> (Ehrenb.) Ehrenb.	+	-	-	-	+
105	<i>E. paludosa</i> (W.Sm.) Reimer	-	-	+	-	+
<b>Родина Surirellaceae</b> Kütz.						
106	<i>Campylodiscus clypeus</i> Ehrenb.*	-	+	+	+	-
107	<i>C. neofastuosus</i> Ruck et Nakov	-	-	-	-	+
108	<i>C. noricus</i> Ehrenb.*	+	-	-	-	+
109	<i>Surirella striatula</i> Turpin*	-	-	-	-	+
<b>Царство Plantae</b> Haeckel						
<b>Відділ Chlorophyta</b> Reichenbach						
<b>Клас Chlorophyceae</b> T.A.Chr.						
<b>Порядок Chlorococcales</b> Marchand						
<b>Родина Chlorococcaceae</b> Blackman et Tansley						
110	<i>Chlorococcum infusionum</i> (Schrank) Meneghini	+	-	+	+	-
<b>Порядок Sphaeropleales</b> Kütz. emend. M.A.Buchheim et al.						
<b>Родина Hydrodictyaceae</b> (S.F.Gray) Dumortier						
111	<i>Monaetinus simplex</i> (Meyen) Corda	+	+	+	+	-
112	<i>Pseudopediastrum boryanum</i> (Turpin) E.Hegew	+	-	-	-	-

113	<i>Tetraëdron minimum</i> (A.Br.) Hansg.	+	-	-	-	-
<b>Родина <i>Selenastraceae</i> (F.F.Blackman et Tansley) F.E.Fritsch in West et Fritsch</b>						
114	<i>Selenastrum gracile</i> Reinsch	-	+	+	+	-
<b>Родина <i>Scenedesmaceae</i> Oltmamms</b>						
115	<i>Desmodesmus opoliensis</i> (P.G.Richter) E.Hegew.	+	-	-	-	-
116	<i>Scenedesmus ellipticus</i> Corda	-	+	+	+	-

Умовні позначення: \* – нові види водоростей для Кінбурнської коси, \*\* – для Ягорлицької затоки, \*\*\* – для акваторії Чорного моря.

До імперії *Prokaryota* належали 26 видів, до *Eukaryota* – 90. Царство *Eubacteria* було представлено 26 видами, *Chromista* – 83 і *Plantae* – 7. З них діатомові (76 видів) і синьозелені (26) переважали над зеленими (7), дінофітовими (3), золотистими (3) і гаптофітовими (1) водоростями (табл. 2).

Таблиця 2. Загальний таксономічний спектр водоем Кінбурнської коси

Відділ	Кількість				
	класів	порядків	родин	родів	видів
<i>Bacillariophyta</i>	3	19	31	43	76
<i>Cyanoprokaryota</i>	1	5	12	18	26
<i>Chlorophyta</i>	1	2	4	7	7
<i>Dinophyta</i>	1	2	2	2	3
<i>Chrysophyta</i>	1	1	2	3	3
<i>Haptophyta</i>	1	1	1	1	1
Разом	9	31	52	74	116

У мікрофітобентосі домінували представники класів *Bacillariophyceae* (70 видів), *Cyanophyceae* (26), *Mediophyceae* (4) і *Coscinodiscophyceae* (2). Головну роль у цьому екологічному угрупованні водоростей відігравали види порядків *Naviculales* (18 видів), *Oscillatoriales* (9), *Thalassiophysales* (8), *Licmophorales* (7), *Synechococcales* (7), *Bacillariales* (6), *Cocconeidales* (6), *Sphaeropleales* (6), *Surirellales* (6) і *Mastogloiales* (5). Пануюче положення в мікрофітобентосі займали родини: *Catenulaceae* (8 видів), *Naviculaceae* (7), *Bacillariaceae* (6), *Oscillatoriaceae* (6), *Cocconeidaceae* (5), *Pleurosigmataceae* (4), *Licmophoraceae* (4), *Surirellaceae* (4) і *Rhopalodiaceae* (4). Значне місце в таксономічному різноманітті альгофлори належало родам: *Amphora* Ehrenb. (8 видів), *Navicula* Bory (5), *Cocconeis* Ehrenb. (4), *Licmophora* C.Agardh (4), *Halamphora* (Cleve) Levkov (3), *Nitzschia* Hassall (3), *Mastogloia* Thwaites ex W.Smith (3).

Найбільшу кількість видів водоростей зареєстровано в Ягорлицькій затоці (86), у Дніпровському лимані виявлено 56 видів мікроскопічних

водоростей, у Черепашиному озері – 33, у Гурянському і Кефальному озерах 22 і 17 видів відповідно (табл. 3).

Для озер Кінбурнської коси наведено 40 видів водоростей.

Серед нових видів для акваторії Чорного моря зустрічалися *Amphora kujalnitzkensis* і *Nitzschia pseudohybrida*, серед рідкісних – *Anorthoneis hummii*, *Brébissonia lanceolata*, *Chrysamoeba radians* та *Thalassiothrix longissima* (Табл. I, II).

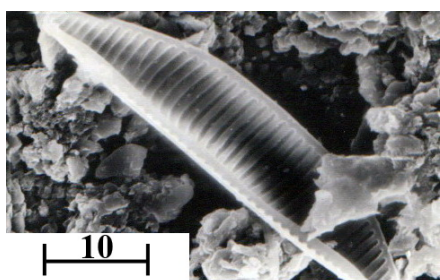
За рівнем організації одноклітинних мікрофітів відмічено 65 видів, колоніальних – 34 і багатоклітинних – 17 видів, серед них 41 рухливих і 75 нерухливих клітин. Кокоїдні форми (95) переважали над нитчастими (17), монадними (3) та амебоїдними (1).

Таблиця 3. Таксономічний склад водоростей у різних водоймах Кінбурнської коси

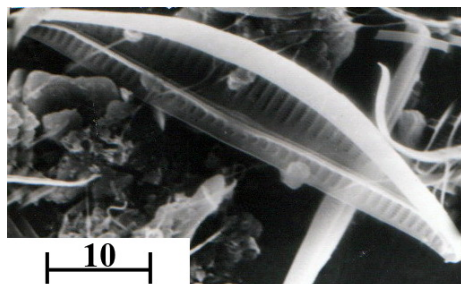
Водойма	Кількість					
	відділів	класів	порядків	родин	родів	видів
Дніпровський лиман	5	7	20	34	42	56
Гурянське озеро	3	3	12	20	20	22
Кефальне озеро	4	4	12	17	17	18
Черепашине озеро	3	3	13	23	28	33
Ягорлицька затока	5	7	26	39	55	86

Водорості різних водойм Кінбурнської коси представлені наступними екологічними угрупованнями: фітопланктоном (32 види), перифітоном (37) і мікрофітобентосом (47). У фітопланктоні зустрічалися *Aphanocapsa grevillei*, *Microcystis aeruginosa*, *Dolichospermum flosaquae*, *Prorocentrum lima*, *Calcidiscus leptoporus*, *Actinocyclus octonarius*, *Monactinus simplex*, *Desmodesmus opoliensis* і *Scenedesmus ellipticus*, в обростаннях різних субстратів – *Lyngbya confervoides*, *Phormidium breve*, *Calothrix confervicola*, *Licthophora abbreviata*, *Tabularia tabulata*, *Ulnaria ulna* і *Rhoicosphenia abbreviata*. У мікрофітобентосі виявлені *Chrysamoeba radians*, *Lyrella lyra*, *Navicula pontica*, *Trachyneis aspera*, *Gyrosigma balticum*, *Plagiotropis elegans*, *Campylodiscus neofastuosus* і *Surirella striatula*.

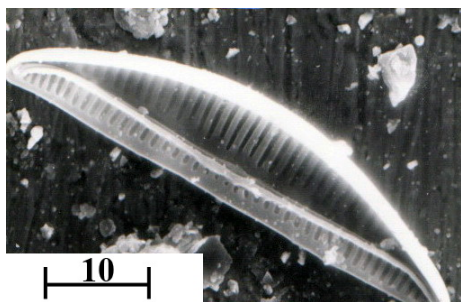
Мікроскопічні водорості на різних субстратах розподілилися наступним чином. В обростаннях макроскопічних водоростей і вищих водних рослин виявлено 70 видів, в обростаннях мідій – 35, мії – 9, балянусів – 8, каміння – 11, на поверхні піщаних і мулистих ґрунтів – 43 і 33 видів відповідно.



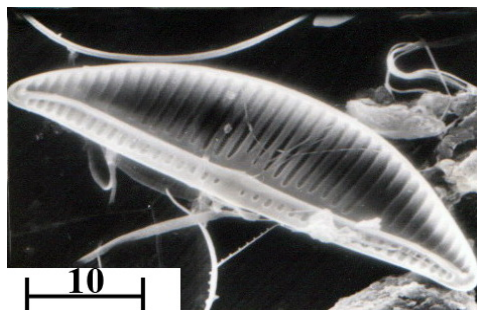
1



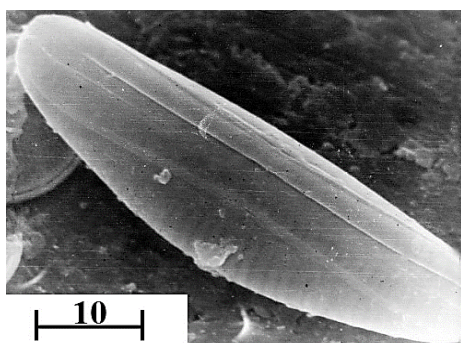
2



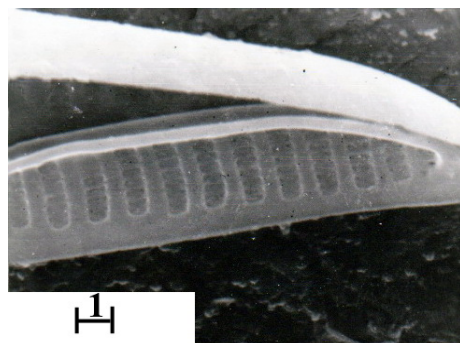
3



4



5



6

Табл. I. *Amphora kujalnitzkensis* – новий вид для акваторії Чорного моря (SEM): 1–4 – внутрішня поверхня стулки; 5 – зовнішня; 6 – структура кінця стулки. Шкала – мкм

В обростаннях макрофітів знайдені *Ceramium virgatum* Roth, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek, *C. siwaschensis* C.Meyer, *Ulva intestinalis* L., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Harv., *Diatoma vulgaris*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Pleurosira laevis*, *Brébissonia lanceolata* та *Bacillaria paxillifera*. На стулках мідій (*Mytilus galloprovincialis* Lamarck) мешкали *Oscillatoria limosa*, *Melosira moniliformis* var. *subglobosa*, *Tabularia tabulata* та *Achnanthes adnata*. В обростаннях стулок мідії ідентифіковані *Calothrix*

*brevissima*, *Oscillatoria margaritifera*, *Cocconeis molesta* та *Mastogloia angulata*. У поверхневій частині стулок серцевидки відмічені *Tabularia tabulata*, *Melosira subglobosa*, *Cocconeis scutellum*, *Achnanthes adnata*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Brébissonia lanceolata* та *Rhopalodia gibba*.

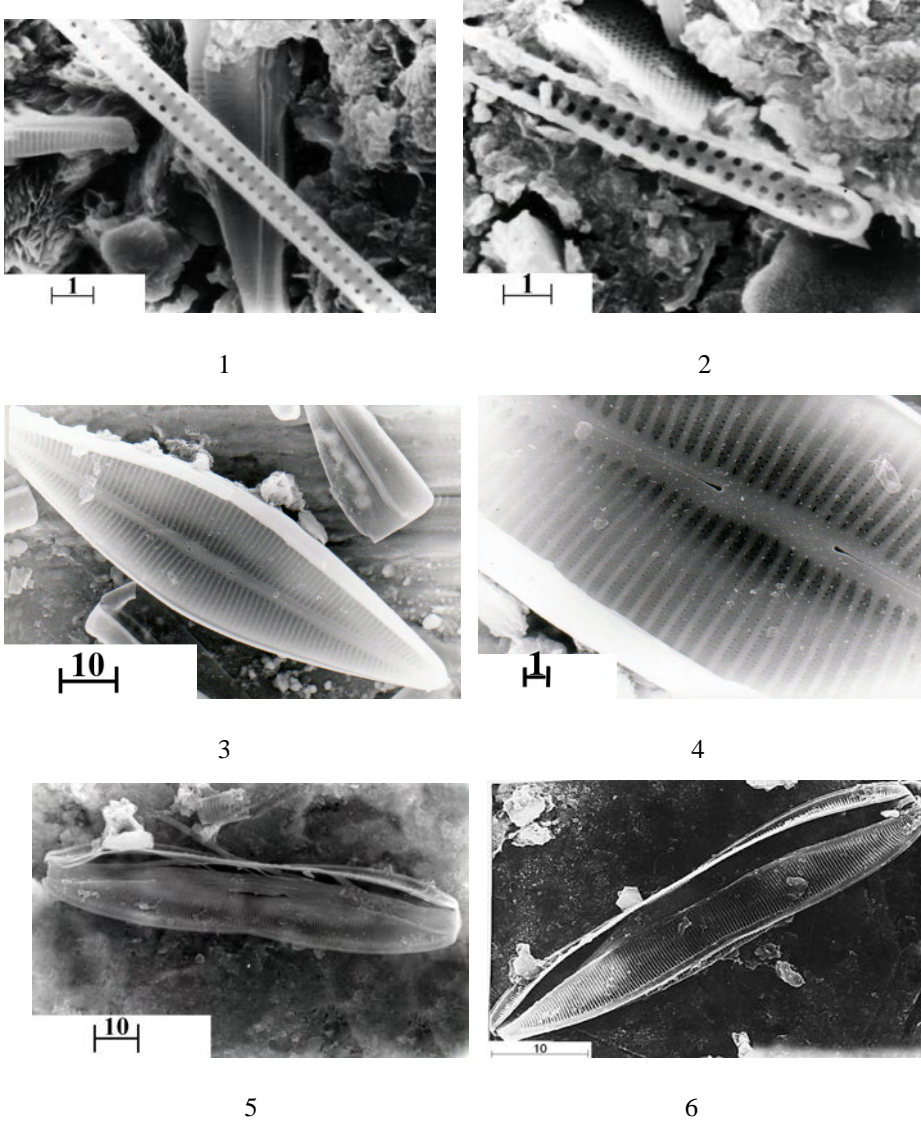


Табл. II. Рідкісні і нові види для акваторії Чорного моря (СЕМ): 1, 2 – середина і кінець стулки *Thalassiothrix longissima*; 3, 4 – стулка і центральна частина *Brébissonia lanceolata*; 5, 6 – стулки і панцир *Nitzschia pseudohybrida*. Шкала – мкм

До поверхні вусоногих рачків (*Balanus improvisus* Darwin) прикріплювалися макро- (*Ulva intestinalis* L., *Rhizoclonium* sp.) і

мікроскопічні водорості (*Amphora proteus*, *Cocconeis scutellum*, *Diatoma elongata*, *Rhoicosphenia abbreviata*, *Rhopalodia musculus* і *Tabularia tabulata*). На поверхні каміння зростали *Lyngbya confervoides*, *Grammatophora marina*, *Achnanthes adnata*, *Ardissonea crystallina* та *Toxarium undulatum*. У псамоні до піщинок були прикріплені *Anorthoneis hummii*, *Cocconeis scutellum* і *Planothidium delicatulum*.

Діатомові водорості є ефективними стабілізаторами піщаних ґрунтів завдяки виділенню слизу. На поверхні мулистих ґрунтів розповсюджені *Limnithrix guttulata*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia sigma* та *Campylodiscus noricus*. За відношенням до солоності води переважали морські види (полігалоби), які налічували 51 вид або 44,0% загальної кількості виявлених таксонів. Група солонуватоводних (мезогалобів) нараховувала 28 видів (24,1%). До групи прісноводних (олігогалобів) належали 37 видів. Ця група в свою чергу розподілилася на 3 підгрупи: галофіли, індіференти і галофоби. Так, індіференти налічували 15 видів, галофіли – 19, галофоби – 3.

За відношенням до рН води переважали алкаліфіли (106 видів або 91,4%). Індіференти налічували 9 видів, ацидофіли – 1.

Серед виявлених водоростей 53 види були індикаторами сапробності.  $\beta$ -мезосапроби налічували 35 видів (30,2%),  $\alpha$ -мезосапроби – 8 (6,9%),  $\beta$ - $\alpha$ -мезосапроби – 2 (1,7%), оліго- $\beta$ -мезосапроби – 2 (1,7%) та оігосапроби 6 видів (5,2%). У фітогеографічному аспекті альгофлора водойм НПП «Білобережжя Святослава» представлена космополітною (87 видів або 75,0%) і бореальною (21 вид або 18,1%) групами з бореально-тропічними (6 видів або 5,2%) і аркто-бореальними (2 види або 1,7%) елементами.

## Висновки

Серед 90 зразків обростань різноманітних субстратів і мікрофітобентосу, відібраних у різних водоймах Кінбурнської коси, виявлено 116 таксонів мікроскопічних водоростей видового та внутрішньовидового рангу, що належать до 74 родів, 52 родин, 31 порядку, 9 класів, 6 відділів, 3 царин та 2 імперій. З них 2 види водоростей відмічені як нові для акваторії Чорного моря, а 4 – як рідкісні таксони для району досліджень.

За систематичним складом діатомові водорості (76 видів) домінували над синьозеленими (26), зеленими (7), дінофітовими (3), золотистими (3) і гаптофітовими (1).

## Список літератури

- Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography*. Eds P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag. 2006. Vol. 1. 713 p.; 2009. Vol. 2. 413 p.; 2011. Vol. 3. 511 p.; 2014. Vol. 4. 703 p.
- Algae: Reference Book*. 1989. Ed. S.P. Wasser. Kyiv: Naukova Dumka. 608 p.

- [Водоросли: Справочник. 1989. Под ред. С.П. Вассера. Киев: Наук. думка. 608 с.]
- Diatom analysis*. Moscow, Leningrad: Gosgeolizdat. 1949. Vol. 2. 238 p.; 1950. Vol. 3. 398 p.  
[Диатомовый анализ. М., Л.: Госгеолитиздат. 1949. Т. 2. 283 с.; 1950. Т. 3. 398 с.]
- Guiry G.M., Guiry M.D. 2021. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Natl. Univ. Ireland, Galway.
- Gusliakov N.Ye., Zakoronets O.A., Gerasimiuk V.P. 1992. *Atlas of benthic diatoms of the north-western parts of the Black Sea and adjoining reservoirs*. Kyiv: Naukova Dumka. 252 p.  
[Гусяков Н.Е., Закоронец О.А., Герасимюк В.П. 1992. *Атлас диатомовых водорослей бентоса северо-западной части Черного моря и прилегающих водоемов*. Киев: Наук. думка. 252 с.]
- Hindák F., Komárek J., Marvan P., Ruzicka J. 1975. *Klíč na určování výtusných rastlín*. Bratislava: Sloven. Ped. Naklad. 396 p.
- Hustedt F. In: *Rabenhorsts Kryptogamen-Flora von Deutschland*. Österreich und der Leipzig. 1927–1930. Teil. 1. 925 p.; 1931–1959. Teil. 2. 845 p.; 1961–1966. Teil. 3. 816 p.
- Kondratyeva N.V. 1968. In: *Identification manual of freshwater algae of Ukrainian SSR*. Vol. 1, pt 2. Kyiv: Naukova Dumka. 524 p. [Кондратьева Н.В. 1968. Клас гормогонієві – *Hormogoniophyceae*. В кн.: *Визначник прісноводних водоростей Української РСР*. Вип. 1, ч. 2. Київ: Наук. думка. 524 с.]
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986–2001. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd. 2/1–4. Stuttgart, New York: G. Fischer Verlag.
- Nikonova S.E. 2010. Cysts of dinophyte algae in the Odessa and Tendra regions of the northwestern part of the Black Sea. *Nauk. zap. Ternopil. Nat. ped. univ. Ser. Biology*. 44(3): 190–192. [Никонова С.Е. 2010. Цисты динофитовых водорослей Одесского и Тендровского регионов северо-западной части Черного моря. *Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту*. Сер. Біологія. 44(3): 190–192].
- Schmidt A.W.F. 1874–1959. *Atlas der Diatomaceenkunde*. Leipzig. 316 p.
- Snigireva A.A., Kovaleva G.V. 2015. Diatoms algae of sandy splits of the north-western part of the Black Sea (Ukraine). *Algologia*. 25(2): 148–174. [Снигирева А.А., Ковалева Г.В. 2015. Диатомовые водоросли песчаных кос северо-западной части Черного моря. *Альгология*. 25(2): 148–174.]. <https://doi.org/10.15407/alg25.02.148>
- The diatoms of the USSR. Fossil and recent*. 1974. Leningrad: Nauka. Vol. 1. 403 p.; 1988. Vol. 2(1) 115 p.; 2002. Vol. 2(3). 111 p. [Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. 1974. Л.: Наука. Т. 1. 403 с.; 1988. Т. 2(1). 115 с.; 2002. Т. 2(3). 111 с.]
- The key to freshwater algae of Ukraine*. 1938–1993. Vol. 1–12. Kyiv: Publ. Acad. Sci. Ukraine. [Визначник прісноводних водоростей України. 1938–1993. Т. 1–12. Київ: Вид-во АН України].
- Tkachenko F.P., Gerasimiuk V.P. 2020. In: *Biodiversity in Ukraine: Plant world ta mushrooms*. Kyiv, Chernivtsi: Druk Art. 282 p. [Ткаченко Ф.П., Герасимюк В.П. 2020. Осіння альгофлора Ягорлицької затоки Чорного моря. В кн.: *Біорізноманіття в Україні: Рослинний світ та гриби*. Київ, Чернівці: Друк Арт. 282 с.]
- 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.]
- Vorobyova L.V., Zaitsev Yu.P., Kulakova I.I. 1992. *Interstitial meiofauna of sandy beaches of the Black Sea*. Kyiv: Naukova Dumka. 144 p. [Воробьева Л.В., Зайцев Ю.П., Кулакова И.И.]

1992. *Интерстициальная мейофауна песчаных пляжей Черного моря*. Київ: Наук. думка. 144 с.].

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

Підписав до друку П.М. Царенко

Gerasimiuk V.P. 2022. **Microphytobenthos of various reservoirs of Kinburnska sandy braid (NPP "Biloberezhzha of Svyatoslav", Ukraine)**. *Algologia*. 32(1): 20–34.

Odesa I.I. Mechnykov National University, Department of Hydrobiology and General Ecology,  
2 Dvoryanska Str., Odesa 65082, Ukraine

Taxonomical composition of microscopic algae of different reservoirs (Dnieper estuary, Kefalny, Guryansky and Cherepashy lakes, Yagorlytsky Bay) of the Kinburn sand spit of north-western part of the Black Sea (National Nature Park “Biloberezhzha of Svyatoslav”) is studied. Material tests that is collected on sandy and silty soils served as for researches, and also in becoming overgrown with of mussels *Mytilus galloprovincialis* Lamarck, *Mya arenaria* L., *Cerastoderma lamarcki* Reeve and *Balanus improvisus* Darwin, macroscopic algae (*Ceramium virgatum* Roth, *Cladophora vagabunda* (L.) Hoek, *C. siwaschensis* C.Meyer, *Ulva intestinalis* L., *Polysiphonia elongata* (Huds.) Harv.) of Kinburnska braid from September in 2019 for October in 2021. On the whole it was collected and analysed 90 standards. 116 species of microscopic algae are educed, that to 74 genera, 52 families, 31 orders, 9 classes, 6 divisions, belong, 3 kingdoms and 2 empires. After systematic composition *Bacillariophyta* (76 species) prevailed above *Cyanophyta* (26), *Chlorophyta* (7), *Dinophyta* (3), *Chrysophyta* (3) and by *Haptophyta* (1). 86 species of algae were found in the microphytobenthos of Yagorlyk Bay, 56 in Dnieper estuary, 33 in Cherepashy, 22 in Guryansky and 17 in Kefalny lakes. As a result of researches it was educed 2 new and 4 rare species of microscopic algae for the aquatorium of the Black Sea.

**Key words:** microphytobenthos, Kinburnska sandy braid, NNP “Biloberezhzha of Svyatoslav”, Black Sea, Ukraine

## Фітопланктон річкових екосистем Українського Полісся

Шелюк Ю.С.

*Житомирський державний університет імені Івана Франка, кафедра ботаніки, біоресурсів та збереження біорізноманіття,*

*вул. В. Бердичівська, 40, Житомир 10002, Україна*

Shelyuk\_Yulya@ukr.net

Надійшла до редакції 02.09.2021. Після доопрацювання 02.10.2021. Підписана до друку 08.11.2021. Опублікована 23.03.2022

**Реферат.** Встановлено особливості структури фітопланктону річкових екосистем басейнів головних річок Полісся – Прип'яті й Тетерева. Виявлено основні тенденції трансформації автотрофної ланки поліських річок. Загалом упродовж 2003–2020 рр. ідентифіковано 621 вид водоростей, представлених 660 внутрішньовидовими таксонами, що належать до 217 родів, 81 родини, 35 порядків, 14 класів, 8 відділів. Виявлено 51 видовий і внутрішньовидовий таксон, новий для Українського Полісся. Поява нових для регіону видів значною мірою обумовлена змінами гідрологічного і гідрохімічного режимів водотоків, пов'язаними із зарегулюванням, меліорацією, антропогенним забрудненням, змінами клімату та великою широтою охоплення альгологічними дослідженнями територій та водотоків різних фізико-географічних областей Українського Полісся, ретельністю та цілеспрямованістю вивчення окремих із них. Визначено основні абіотичні параметри, які зумовлюють зміни структурних показників фітопланктону досліджуваних водотоків. Встановлено, що зв'язок альгофлористичних показників із факторами середовища значною мірою визначається вмістом біогенів. Виявлено сильний зворотній зв'язок між числом видів водоростей і кольоровістю води, слабкий – із температурою. Проведено біоіндикаційний аналіз видового складу фітопланктону річкових екосистем та здійснено оцінку якості їхніх вод. У водотоках регіону відмічено переважаання індикаторів сапробності, які відповідають III класу якості вод.

**Ключові слова:** фітопланктон, видовий склад, чисельність, біомаса, річки Українського Полісся, біоіндикаційний аналіз

### Вступ

Українське Полісся – один із найпотужніших в Україні природних накопичувачів прісної води. Антропогенне забруднення, масштабна меліорація регіону, аварія на Чорнобильській АЕС та гідротехнічне будівництво

на поліських річках викликали глибокі екологічні зміни їхніх екосистем (Ecological..., 2002). В останні роки саме територія Полісся зазнає помітного, у порівнянні з південними регіонами, зростання температури (Vabichenko et al., 2007; Tuz, 2012).

Історично склалося так, що найбільшу увагу українські дослідники приділяли автотрофній ланці великих водосховищ і річок та водойм мегаполісів. Накопичено численні відомості про таксономічний склад, кількісні показники, просторово-часовий розподіл і функціонування фітопланктону екосистем головних водних артерій України – Дніпра, Дністра, Південного Бугу, розроблена й апробована система оцінки їхнього екологічного стану (Afanasyev et al., 2001, 2012; Shcherbak et al., 2011). Проте аналогічні питання, що стосуються приток Прип'яті й Тетерева – головних водотоків Українського Полісся, значною мірою залишаються не розв'язаними.

Одними з перших фітопланктон р. Прип'ять описали Д.О. Радзимовський та В.В. Поліщук (Radzimovsky, Polishchuk, 1970). Вони охарактеризували річку як водотік із добре вираженим і сформованим потамопланктоном, рівень розвитку якого подібний до Дніпра та інших рівнинних річок Європи. Комплексне вивчення фітопланктону Прип'яті та її приток у 80-х роках минулого століття після проведення меліорації поліського регіону було здійснено О.Ф. Крахмальним (Krakhmalnyi, 1990). Він виявив зворотну залежність між показниками видового складу фітопланктону та інтенсивністю меліоративної діяльності в басейні річки. Також наявні відомості щодо фітопланктону окремих приток Прип'яті (Frolova, 1956; Litvinova, 1974; Polishchuk et al., 1978; Klestov et al., 2001) й Тетерева (Carpezo, 1974; Litvinova, 1974; Klochenko, 1996; Shelyuk, Korneichuk, 2012). Низка публікацій присвячена дослідженню окремих таксономічних груп водоростей поліського регіону без конкретизації певних водойм та водотоків (Asaul, 1962; Tsarenko, 1984; Junger, 1985).

Попри наявні в літературі відомості щодо структури фітопланктону окремих річкових екосистем Українського Полісся, закономірності формування та функціонування водоростевих угруповань із застосуванням басейного принципу, їхні зміни внаслідок дії природних і антропогенних чинників практично не аналізувалися. Розуміння цих закономірностей є вкрай важливим для розробки методів моніторингу та менеджменту річкових екосистем із різним рівнем антропогенної трансформації, необхідних для забезпечення належного рівня їхніх функцій та екологічних сервісів.

Мета роботи – встановити основні закономірності формування структурно-функціональних характеристик фітопланктону річкових екосистем Полісся.

## Матеріали та методи

Матеріалом для роботи були альгологічні проби, відібрані впродовж 2003–2020 рр. у водотоках басейнів головних річок Українського Полісся – Прип'яті й Тетерева. Дослідженнями були охоплені річки Горинь (50°36'17.4"N 26°39'31.9"E; 50°35'26.6"N 26°38'28.3"E; 50°07'19.1"N 26°48'55.2"E; 50°08'14.9"N 26°49'07.4"E; 50°05'59.8"N 26°47'26.1"E), Случ (50°01'41.9"N 27°41'26.5"E; 50°36'04.3"N 27°37'16.5"E; 50°34'02.3"N 27°40'04.9"E; 50°06'48.6"N 27°41'17.7"E; 50°06'11.2"N 27°41'21.7"E; 50°05'27.9"N 27°40'58.9"E), Уж (50°57'01.1"N 28°39'27.2"E; 50°59'22.2"N 28°41'43.1"E; 50°54'02.4"N 28°32'40.5"E), Уборть (51°26'14.2"N 27°53'51.3"E), Корчик (50°37'18.8"N 27°09'41.4"E), Вілія (50°07'37.0"N 26°06'56.8"E; 50°10'03.6"N 26°13'26.4"E), Ікопоть (49°45'36.5"N 27°12'29.9"E), Полква (49°58'58.6"N 26°24'34.5"E; 49°59'32.1"N 26°24'05.0"E), Синявка (50°58'08.6"N 28°43'23.3"E), Бересток (50°50'11.2"N 27°46'12.7"E; 50°52'23.1"N 27°47'46.8"E), Кремно (50°58'28.7"N 28°33'25.8"E; 50°59'31.5"N 28°34'24.4"E; 51°03'29.3"N 28°13'30.2"E), Деревичка (49°55'12.1"N 27°24'59.8"E; 49°53'47.2"N 27°23'01.9"E), Гнилоп'ять (49°53'14.4"N 28°34'48.1"E; 49°56'20.7"N 28°33'00.7"E; 50°06'37.7"N 28°31'08.5"E), Кам'янка Лісова (50°18'03.1"N 28°36'49.9"E), Пуятинка (50°15'00.0"N 28°41'53.2"E), Лісна (50°09'24.1"N 27°56'30.5"E; 50°08'16.2"N 27°56'43.8"E; 50°07'53.8"N 27°57'05.4"E), Крошенка (50°17'48.9"N 28°37'38.8"E), Коднянка (50°06'57.5"N 28°41'35.0"E), Бобрівка (50°13'50.4"N 28°23'27.6"E), Зелена (49°59'41.8"N 27°57'31.4"E; 49°59'35.4"N 28°01'19.9"E), Гуйва (50°13'21.3"N 28°36'33.0"E; 50°10'46.8"N 28°48'55.9"E; 50°11'23.1"N 28°41'35.2"E). Карта-схема річок району дослідження наведена нижче (рис. 1).

Проби відбирали щомісяця впродовж трьох вегетаційних сезонів (березень–листопад), рідше – подекадно, за загальноприйнятими методами (Методи..., 2006). Таксономічний склад фітопланктону водотоків вивчали із застосуванням комплексного підходу на основі аналізу отриманих даних із різних пунктів спостережень. Станції відбору проб були розміщені переважно в середній та нижній течіях річок. Загалом відібрано та оброблено 840 альгологічних проб.

Таксономічна номенклатура водоростей наведена відповідно AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2017). З метою виявлення основних тенденцій у зміні таксономічного складу водоростей поліських річок їхній видовий склад порівнювали зі зведенням «Algae of Ukraine» (Tsarenko et al., 2006, 2009, 2011, 2014). Сапробіологічна оцінка якості води наведена за методом Пантле-Букка (Pantle, Buck, 1955) у модифікації Сладечека (Sladeček, 1986). Біорізноманіття фітопланктону оцінювали за індексом Шеннона (Odum, 1986). Біоіндикаційний аналіз проведено з урахуванням індикаторних характеристик водоростей, наведених у літературі (Sladeček, 1973;

Watanabe et al., 1986; Van Dam et al., 1994; Varinova et al., 2006). Отримані дані сапробіологічного аналізу за індикаторними видами водоростей були співставлені з класами якості вод відповідно до літератури (Methods..., 2006).



Рис. 1. Карта-схема розміщення станцій відбору проб у водотоках басейнів головних річок Українського Полісся

Паралельно з відбором альгологічних проб вимірювали температуру води, прозорість, кольоровість, рН, вміст розчиненого у воді кисню (за методом Вінклера), фосфору фосфатів – спектрометричним методом, нітрогену нітратного – колориметричним методом, а також амонійного й нітритного нітрогену відповідно (Лурье, 1977). Гідрохімічні та гідрофізичні аналізи проводили посезонно. Результати гідрохімічного аналізу вод річок Полісся наведено в попередніх публікаціях (Shelyuk, Scherbak, 2018; Shelyuk, Astahova, 2021).

### Результати та обговорення

У результаті досліджень (2003–2020 рр.) у річкових екосистемах басейнів Прип'яті й Тетерева ідентифіковано 621 вид водоростей, представлених 660 внутрішньовидовими таксонами (ввт) з номенклатурним типом виду включно, що належать до 217 родів, 81 родини, 35 порядків, 14 класів, за якими ідентифіковані видові та внутрішньовидові таксони розподілилися наступним чином: *Cyanobacteria* – 56 видів (56 ввт), *Euglenozoa* – 111 (136), *Ochrophyta* – 42 (43), *Bacillariophyta* – 174 (183), *Miozoa* – 27 (27), *Cryptophyta* – 4 (4), *Chlorophyta* – 193 (197) і *Charophyta* 14 (14). У видовому складі водоростей планктону водотоків басейнів Прип'яті й Тетерева нараховується від 58 до 189 видів, різновидів та форм.

Найбільшим числом видів були представлені *Chlorophyta* (31,1% загальної кількості) і *Bacillariophyta* (28,0%), на третьому місці за видовим багатством – *Euglenozoa* (17,9%). У річках Ікопоть, Деревичка та Кам'янка Лісова їхня флористична частка була дещо помітнішою, вони займали друге місце. Висока видова представленість евгленід, ймовірно, пов'язана із заболоченням та залісненням водозборів річок, а також впливом антропогенного чинника. У річках Гуйва, Путятинка, Бобрівка та Синявка третє місце за видовим багатством належало синьозеленим водоростям (9,8–17,6%). Порівняння оригінальних даних із літературними (Klochenko, 1993, 1996) показало зменшення частки *Charophyta*, що, ймовірно, є наслідком підвищення мінералізації вод.

У притоках Прип'яті знайдено 492 види, представлені 517 ввт із номенклатурним типом виду включно, які належать до 158 родів, 74 родин, 34 порядків, 14 класів і 8 відділів (табл. 1).

У флористичному відношенні найбагатшими виявилися *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* та *Euglenozoa* – 164 види (168 ввт); 134 (142) і 86 (96). Менш насиченими видами, різновидами та формами водоростей були *Cyanobacteria* – 37 (37), *Ochrophyta* – 35 (36), *Miozoa* – 25 (26). Роль інших відділів незначна, їхня частка в загальному складі водоростей водотоків басейну Прип'яті не перевищувала 2% загальної кількості (відділ *Charophyta* представлений 9 видами (9 ввт), *Cryptophyta* – 2 (2)). У 60-х роках минулого століття до початку меліорації поліського регіону в притоках Прип'яті домінували діатомові, зелені та синьозелені, після завершення меліорації у 80-х роках – зелені, діатомові та синьозелені, за останні два десятиріччя зросла роль *Euglenozoa*, які зайняли третю позицію за видовим багатством.

У річках басейну Тетерева ідентифіковано 424 види планктонних водоростей, представлених 446 ввт з номенклатурним типом виду включно, які належать до 158 родів, 59 родин, 33 порядків, 14 класів, 8 відділів (табл. 2). Найбільш насиченими видовими й внутрішньо-видовими таксонами виявилися відділи *Bacillariophyta* – 128 видів (132 ввт), *Chlorophyta* – 129 (131) та *Euglenozoa* – 77 (93) (див. табл. 2).

Дослідження впливу основних абіотичних параметрів на структурні показники фітопланктону засвідчили зменшення числа видів зі збільшенням кольоровості води у річках ( $r = -0,79$ ,  $p = 0,000127$ ,  $n = 76$ ). Незначний зв'язок відмічено між кількістю видів і температурою води ( $r = 0,22$ ,  $p = 0,00036$ ,  $n = 86$ ). При цьому достовірної кореляції між площею басейну річок та видовим багатством не виявлено ( $p = 0,06$ ).

Таблиця 1. Таксономічний склад фітопланктону річок басейну Прип'яті

Річка	<i>Cyanobacteria</i>	<i>Bacillariophyta</i>	<i>Cryptophyta</i>	<i>Mitozoa</i>	<i>Ochromyxa</i>	<i>Charophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	<i>Euglenozoa</i>	Загальна кількість
Горинь	<u>13(13)</u> 9,4	<u>37(37)</u> 26,6	<u>1(1)</u> 0,7	<u>2(2)</u> 1,4	<u>16(16)</u> 11,5	<u>0(0)</u> 0,0	<u>51(51)</u> 36,7	<u>15(19)</u> 13,7	135(139)
Случ	<u>12(12)</u> 6,4	<u>54(56)</u> 29,6	<u>0(0)</u> 0,0	<u>11(11)</u> 5,8	<u>11(11)</u> 5,8	<u>5(5)</u> 2,6	<u>51(52)</u> 27,5	<u>40(42)</u> 22,3	184(189)
Уж	<u>6(6)</u> 9,8	<u>24(24)</u> 39,4	<u>0(0)</u> 0,0	<u>1(1)</u> 1,6	<u>2(2)</u> 3,3	<u>3(3)</u> 4,9	<u>18(18)</u> 29,5	<u>7(7)</u> 11,5	61(61)
Уборть	<u>5(5)</u> 8,6	<u>23(23)</u> 39,7	<u>0(0)</u> 0,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>7(7)</u> 12,1	<u>0(0)</u> 0,0	<u>16(16)</u> 27,5	<u>6(7)</u> 12,1	57(58)
Корчик	<u>8(8)</u> 8,0	<u>31(32)</u> 32,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>2(2)</u> 2,0	<u>3(3)</u> 3,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>31(32)</u> 32,0	<u>22(23)</u> 23,0	97(100)
Вілія	<u>18(18)</u> 12,6	<u>49(49)</u> 35,4	<u>2(2)</u> 1,4	<u>4(4)</u> 2,9	<u>11(11)</u> 7,9	<u>1(1)</u> 0,7	<u>37(37)</u> 26,5	<u>14(18)</u> 12,6	136(140)
Ікопоть	<u>3(3)</u> 3,0	<u>23(24)</u> 24,2	<u>0(0)</u> 0,0	<u>6(6)</u> 6,1	<u>2(2)</u> 2,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>38(38)</u> 38,4	<u>25(26)</u> 26,3	97(99)
Деревичка	<u>13(13)</u> 9,0	<u>23(23)</u> 15,9	<u>0(0)</u> 0,0	<u>15(15)</u> 10,3	<u>8(9)</u> 6,2	<u>0(0)</u> 0,0	<u>46(46)</u> 31,7	<u>37(39)</u> 26,9	142(145)
Полква	<u>4(4)</u> 6,4	<u>37(38)</u> 60,3	<u>0(0)</u> 0,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>7(7)</u> 11,1	<u>0(0)</u> 0,0	<u>9(9)</u> 14,3	<u>5(5)</u> 7,9	62(63)
Синявка	<u>12(12)</u> 9,6	<u>33(33)</u> 26,4	<u>1(1)</u> 0,8	<u>4(4)</u> 3,2	<u>10(10)</u> 8,0	<u>3(3)</u> 2,4	<u>50(50)</u> 40,0	<u>9(12)</u> 9,6	122(125)
Бересток	<u>7(7)</u> 11,1	<u>13(13)</u> 20,6	<u>0(0)</u> 0,0	<u>2(3)</u> 4,8	<u>2(2)</u> 3,2	<u>0(0)</u> 0,0	<u>24(24)</u> 38,1	<u>11(14)</u> 22,2	59(63)
Кремно	<u>7(7)</u> 6,4	<u>59(62)</u> 56,9	<u>2(2)</u> 1,8	<u>3(3)</u> 2,8	<u>2(2)</u> 1,8	<u>2(2)</u> 1,8	<u>8(8)</u> 7,3	<u>22(24)</u> 22,0	104(109)

Примітка. Тут і в табл. 2: над рисою – кількість видів, у дужках – кількість внутрішньовидових таксонів із номенклатурним типом виду включно; під рисою – частка даного відділу від загальної кількості таксонів рангом нижче роду.

Зворотній зв'язок прозорості з кольоровістю води ( $r = -0,51$ ,  $p = 0,004$ ,  $n = 86$ ) вказує на значний вплив гумусових речовин на формування світлового режиму водотоків. Загалом досить високе видове різноманіття більшості досліджуваних водотоків, як і інших евтрофованих річок зони помірного клімату, ймовірно, обумовлене оптимальним співвідношенням зовнішніх порушень структури угруповань та ресурсного забезпечення продукційного процесу за відсутності факторів, які обумовлюють «суворість середовища» (низькі рН, екстремальні температури, недостатній вміст біогенів, висока мутність) (Okhapkin, 1997).

Таблиця 2. Таксономічний склад фітопланктону річок басейну Тетерева

Річка	<i>Cyanobacteria</i>	<i>Bacillariophyta</i>	<i>Striarophyta</i>	<i>Мізозоа</i>	<i>Ochrophyta</i>	<i>Charophyta</i>	<i>Chlorophyta</i>	<i>Euglenozoa</i>	Загальна кількість
Гуйва		<u>21(21)</u> 25,9	<u>2(2)</u> 2,5	<u>2(2)</u> 2,5	<u>9(9)</u> 11,1	<u>0(0)</u> 0,0	<u>31(31)</u> 38,3	<u>7(7)</u> 8,6	81(81)
Гнилоп'ять	<u>18(18)</u> 11,5	<u>32(32)</u> 20,4	<u>2(2)</u> 1,3	<u>4(4)</u> 2,5	<u>11(11)</u> 7,0	<u>1(1)</u> 0,6	<u>62(65)</u> 41,4	<u>19(24)</u> 15,3	149(157)
Кам'янка Лісова	<u>9(9)</u> 11,1	<u>36(38)</u> 46,9	<u>0(0)</u> 0,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>5(5)</u> 6,2	<u>2(2)</u> 2,5	<u>10(10)</u> 12,3	<u>15(17)</u> 21,0	77(81)
Лісна	<u>8(8)</u> 5,2	<u>45(46)</u> 29,9	<u>2(2)</u> 1,3	<u>4(4)</u> 2,6	<u>11(11)</u> 7,1	<u>2(2)</u> 1,3	<u>37(37)</u> 24,0	<u>41(44)</u> 28,6	150(154)
Коднянка	<u>3(3)</u> 2,6	<u>45(45)</u> 38,5	<u>0(0)</u> 0,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>2(2)</u> 1,7	<u>6(6)</u> 5,1	<u>43(44)</u> 37,6	<u>15(17)</u> 14,5	114(117)
Путятинка	<u>14(14)</u> 14,0	<u>40(41)</u> 40,0	<u>0(0)</u> 0,0	<u>1(1)</u> 1,0	<u>2(2)</u> 2,0	<u>3(3)</u> 3,0	<u>23(23)</u> 23,0	<u>12(16)</u> 16,0	95(100)
Зелена	<u>12(12)</u> 11,3	<u>24(25)</u> 23,6	<u>0(0)</u> 0,0	<u>5(5)</u> 4,7	<u>4(4)</u> 3,8	<u>0(0)</u> 0,0	<u>37(37)</u> 34,9	<u>22(23)</u> 21,7	104(106)
Крошенка	<u>12(12)</u> 8,0	<u>37(37)</u> 24,5	<u>1(1)</u> 0,6	<u>4(4)</u> 2,7	<u>6(6)</u> 4,0	<u>1(1)</u> 0,6	<u>56(56)</u> 37,1	<u>32(34)</u> 22,5	149 151
Бобрівка	<u>12(12)</u> 17,5	<u>16(16)</u> 23,5	<u>1(1)</u> 1,5	<u>6(6)</u> 8,8	<u>2(2)</u> 3,0	<u>1(1)</u> 1,5	<u>22(22)</u> 32,4	<u>8(8)</u> 11,8	68(68)

Оцінка багаторічної динаміки таксономічного складу фітопланктону водотоків на рівні класів засвідчила переважання *Chlorophyceae*, *Bacillariophyceae* та *Euglenophyceae* в усіх досліджуваних річках. У більшості з них, за винятком Уборті, Кремно та Кам'янки Лісової, до рангу провідних належав клас *Trebouxiophyceae*. У притоках Тетерева порівняно з водотоками, які впадають у Прип'ять, помітнішою була роль *Cyanophyceae*.

Провідними порядками були *Euglenida* та *Sphaeropleales* (крім річок Кремно та Кам'янка Лісова), *Chlorellales* (за винятком Уборть, Кремно та Кам'янка Лісова), *Chlamydomonadales* (крім річок Уж, Ікопоть і Полква). У водотоках басейну Тетерева помітніша видова наповненість порядку *Bacillariales*, а в притоках Прип'яті – *Fragilariales*. На рівні родин вирізняються *Euglenidae*, *Scenedesmaceae* (за винятком річок Кремно, Бобрівка та Кам'янка Лісова), *Fragilariaceae* (крім річок Горинь, Бересток, Гуйва та Кам'янка Лісова). У річках басейну Тетерева помітнішим у формуванні видового багатства фітопланктону був внесок *Bacillariaceae* та

*Chlamydomonadaceae*. При оцінці родового складу фітопланктону водотоків встановлено, що положення провідних родів за насиченістю видами досить мінливе. Лише у притоках Тетерева виявлено один спільний рід, який був пріоритетним у видовому багатстві – *Trachelomonas* Ehrenberg. У більшості досліджуваних водотоків провідними родами були *Trachelomonas*, *Nitzschia* Hassall, *Chlamydomonas* Ehrenberg, а в притоках Прип'яті – ще й *Euglena* Ehrenberg.

Переважання в структурі альгофлори вказаних родів властиве річкам помірних широт (Okhapkin, 1997), Зокрема, вони наводяться для приток Дніпра (Щербак, 1996) та Південного Бугу (Bilous et al., 2012). У річках Уж, Уборть, Кам'янка Лісова кількість провідних родів була найменшою – по 2, а в річках Горинь, Коднянка, Бобрівка, Полква та Бересток – по 3. Ймовірно, невелика кількість провідних родів у водотоках пов'язана зі значним антропогенним навантаженням на їхні екосистеми (Startseva et al., 2012). В інших річках нараховано по 4–9 провідних родів.

Родові коефіцієнти знаходилися в межах 1,48–2,67. Зниження цього показника у притоках Тетерева й Прип'яті спостерігалось зі зростанням вмісту загального азоту ( $r = -0,42$ ,  $p = 0,000001$ ,  $n = 63$ ). При цьому родовий коефіцієнт позитивно корелював із загальною кількістю видів у водотоках, встановлена пряма залежність між цими показниками ( $r = 0,72$ ,  $p = 0,00006$ ,  $n = 112$ ). Спрощення таксономічної структури фітопланктону (зниження родового коефіцієнта) корелює зі зниженням інформаційного різноманіття ( $r = 0,52$ ,  $p = 0,00009$ ,  $n = 63$ ). При цьому зростання вмісту загального азоту обумовлює також зниження індексу Шеннона ( $H$ ) ( $r = -0,67$ ,  $p = 0,000002$ ,  $n = 63$ ). Середнє його значення у поліських водотоках становило  $1,89 \pm 0,02$  біт/мг.

До видів з високою (більше 50%) частотою трапляння в досліджуваних водотоках увійшли *Gomphosphaeria aponina* Kützing, *Microcystis aeruginosa* (Kützing) Kützing, *M. pulverea* (H.C.Wood) Forti, *Oscillatoria amphibia* C.Agardh ex Gomont, *Aphanizomenon flos-aquae* Ralfs ex Bornet & Flahault, *Trachelomonas planctonica* Svirenko, *T. volvocina* (Ehrenberg) Ehrenberg, *Chrysococcus rufescens* G.A.Klebs, *Cyclotella meneghiniana* Kützing, *C. bodanica* Eulenstein ex Grunow, *C. stelligera* (Cleve & Grunow) Van Heurck, *Stephanodiscus hantzschii* Grunow, *Chlamydomonas globosa* J.W.Snow, *C. monadina* (Ehrenberg) F.Stein, *Phacotus coccifer* Korshikov, *Carteria radiosa* Korshikov, *Desmodesmus communis* (E.Hegew) E.Hegew, *Dictyosphaerium pulchellum* H.C.Wood, *Oocystis parva* West & G.S.West, *Pseudodidymocystis planctonica* (Korshikov). Лише вид *Chlamydomonas globosa* мав високу частоту трапляння в більшості річок. У притоках Прип'яті за частотою трапляння видів в якості провідних відмічено *Trachelomonas volvocina*, а в притоках Тетерева – *Cyclotella meneghiniana*. У річках Уборть та Бересток не ідентифіковані види з частотою трапляння понад 50%. Більшість

досліджуваних водотоків мали по 1–3 види з високою частотою трапляння. У річках Горинь, Случ, Ікопоть, Деревичка, Гнилоп'ять, Зелена та Коднянка їхня кількість становила 4–7 видів.

Співставлення списку видів водоростей, ідентифікованих за 18-річний період досліджень (Tsarenko et al., 2006, 2009, 2011, 2014), дозволило виявити 51 видовий і внутрішньовидовий таксон, які є новими для Українського Полісся (табл. 3).

Таблиця 3. Нові види водоростей планктону в річках Українського Полісся

Таксон	Річка
<i>Cyanobacteria</i>	
<i>Aphanothece salina</i> Elenkin & A.N.Danilov	Случ
<i>Gloeothece linearis</i> Nägeli	Синявка, Бобрівка
<i>Aphanocapsa parietina</i> (Nägeli ex Kützing) Nägeli	Путятинка
<i>Pseudocapsa sphaerica</i> (Proskina-Lavrenko) Kováčik	Деревичка
<i>Euglenozoa</i>	
<i>Astasia torta</i> Pringsheim	Случ
<i>Euglena convoluta</i> Korshikov	Случ
<i>Euglena gaumei</i> Allorge & Lefèvre	Ікопоть
<i>Euglena minima</i> Francé	Лісна
<i>Euglena splendens</i> P.A.Dangeard	Лісна
<i>Lepocinclis globosa</i> Francé	Лісна
<i>Phacus angustus</i> Drezepolski	Деревичка, Крошенка, Зелена
<i>Phacus pleuronectes</i> var. <i>hyalinus</i> Klebs	Случ, Деревичка
<i>Phacus striatus</i> Francé	Деревичка, Ікопоть, Синявка, Крошенка
<i>Phacus znievici</i> Dedusenko-Stregoleva	Лісна
<i>Trachelomonas abrupta</i> var. <i>minor</i> Deflandre	Деревичка, Гуйва, Кам'янка Лісова
<i>Trachelomonas curta</i> f. <i>punctata</i> (Skvortzov) T.G.Popova	Корчик
<i>Trachelomonas volvocinopsis</i> var. <i>punctata</i> (Skvortzov) Bourrelly	Кам'янка Лісова
<i>Ochrophyta</i>	
<i>Chromulina commutata</i> Pascher	Случ, Зелена
<i>Chromulina freiburgensis</i> Doflein	Зелена
<i>Chromulina nitens</i> Skuja	Зелена
<i>Chromulina ovalis</i> Klebs	Корчик, Кам'янка Лісова, Путятинка
<i>Chromulina pascheri</i> Hofeneder	Корчик, Кам'янка Лісова
<i>Chromulina rosanoffii</i> (Woronin) Blochmann	Уборть, Ікопоть, Деревичка, Синявка, Кам'янка Лісова, Лісна, Бобрівка
<i>Kephyrion boreale</i> Skuja	Синявка, Лісна, Путятинка

<i>Kephyrion schmidii</i> Bourrelly	Уборть, Уж
<i>Epiyxis cylindrica</i> (L.Reverdin) D.K.Hilliard & B.C.Asmund	Деревичка
<i>Pseudokephyrion conicum</i> Schiller	Случ
<i>Pseudokephyrion cylindricum</i> (Lackey) Bourrelly	Деревичка
<i>Pseudokephyrion entzii</i> W.Conrad	Кремно
<i>Pseudokephyrion latum</i> (Schiller) Gerlinde Schmid	Гуйва
<i>Pseudokephyrion rutneri</i> (Schiller) Gerlinde Schmidt	Гуйва
<i>Uroglena glabra</i> O.M.Matvienko	Уборть, Крошенка
<i>Tetraplektron torsum</i> (W.B.Turner) Dedusenko-Shchegoleva	Горинь
<i>Bacillariophyta</i>	
<i>Fragilaria nanana</i> Lange-Bertalot	Бобрівка
<i>Fragilariforma virescens</i> var. <i>elliptica</i> Hustedt	Случ
<i>Fragilariforma virescens</i> var. <i>oblongella</i> (Grunow) E.Y.Haworth & M.G.Kelly	Корчик
<i>Catacombas gaillonii</i> (Bory) D.M.Williams & Round	Лісна
<i>Diatoma vulgare</i> var. <i>ovalis</i> (Fricke) Hustedt	Случ, Зелена
<i>Mastogloia smithii</i> Thwaites ex W.Smith	Коднянка
<i>Achnanthes brevipes</i> C.Agardh.	Бересток
<i>Achnanthes coarctata</i> (Brébisson ex W.Smith) Grunow	Случ
<i>Cocconeis scutellum</i> Ehrenberg	Горинь, Зелена
<i>Parlibellus delognei</i> (Van Heurck) E.J.Cox	Коднянка
<i>Diademsis gallica</i> W.Smith	Лісна
<i>Pinnularia oriunda</i> Krammer	Лісна
<i>Navicula angusta</i> Grunow	Случ
<i>Gyrosigma distortum</i> (W.Smith) Griffith & Henfrey	Случ
<i>Amphora obtusa</i> W.Gregory	Случ, Уж
<i>Chlorophyta</i>	
<i>Gongrosira schmidlei</i> P.G.Richter	Случ
<i>Hormotilopsis gelatinosa</i> Trainor & Bold	Деревичка
<i>Hariotina polychordum</i> (Korshikov) E.Hegew	Ікопоть

Найвірогідніше, що поява у річкових екосистемах нових для регіону видів обумовлена змінами гідрологічного й гідрохімічного режимів річок, а також значною широтою охоплення альгологічними дослідженнями територій та водотоків різних фізико-географічних областей Українського Полісся, ретельністю вивчення окремих із них.

Біоіндикаційний аналіз, проведений з урахуванням індикаторних характеристик водоростей за відношенням до місцеперебування, показав, що загалом у поліських річках переважають планктонно-бентосні (36,0% числа індикаторних видів) і планктонні (35,6%) форми, однак до статистично значимих належать також бентосні водорості (27,0%), на що

вказує лінія стандартного відхилення (рис. 2, а). Значна частка бентосних форм водоростей зумовлена порівняно незначною глибиною цих водотоків і високою реофільністю як фактором, що обумовлює відрив бентосних форм і їхнє потрапляння в товщу води. Частка видів, приурочених до наземних субстратів, та епібіонтів, незначна (відповідно 1,2 і 0,2%). Загалом 430 таксонів рангом нижче роду виступали в якості індикаторів місцеперебування водоростей у водотоках.

За температурною приуроченістю в поліських річках виявлено 78 індикаторних форм, серед яких переважали евритермні водорості (на них указувала вершина лінії тренду), проте лінія стандартного відхилення відсікала й форми, приурочені до помірного температурного режиму, а також теплолюбні види водоростей (відповідно 46,2, 28,2 і 17,9%). Поява у складі статистично значимих теплолюбних форм, вірогідно, є результатом змін клімату. Так, за останні роки саме територія Полісся зазнала найпомітнішого, навіть у порівнянні з південними регіонами, підвищення температури (Бабіченко та ін., 2007). Частка холодолілюбних форм становить 7,7% (рис. 2, б).

Індикація умов реофільності та насичення вод киснем показала переважання індіферентів. Саме цю групу й відсікала лінія стандартного відхилення (68,3%). Помітною була частка водоростей, приурочених до стоячих вод з незначним вмістом кисню (28,5%), низка видів, властивих текучим водам із високим вмістом кисню (2,0%), а також аерофілів (1,5%). Усього ідентифіковано 246 видових і внутрішньовидових таксонів водоростей, які належать до індикаторів умов реофільності (рис. 2, в).

Серед індикаторів солоності (247 таксонів рангом нижче роду) значно переважали олігогалофи-індіференти – 70,0%. Вони відсікалися лінією стандартного відхилення, на них указувала й вершина лінії тренду. Помітною була частка галофілів (12,1%) та мезогалобів (8,5%).

У поліських річках ідентифіковані представники чотирьох груп індикаторів ацидифікації: ацидофіли (12,1%), індіференти (45,8%), алкаліфіли (38,9%) й алкалібіонти (3,2%). Статистично значимими були індіференти та алкаліфіли (рис. 2, г). Загалом визначено 190 таксонів рангом нижче роду, які належать до індикаторів ацидифікації вод.

Аналіз рівня органічного забруднення за системою Ватанабе (Watanabe, 1986) показав, що зі 101 виду індикаторних водоростей лінією стандартного відхилення відсікалися еврисапроби (62,4%), на яких указувала вершина лінії тренду, а також сапроксени (26,7%) (рис. 2, д).

При визначенні рівня органічного забруднення водотоків за Пантле-Букк (у модифікації Сладечека) виявлено 329 індикаторних видів водоростей.

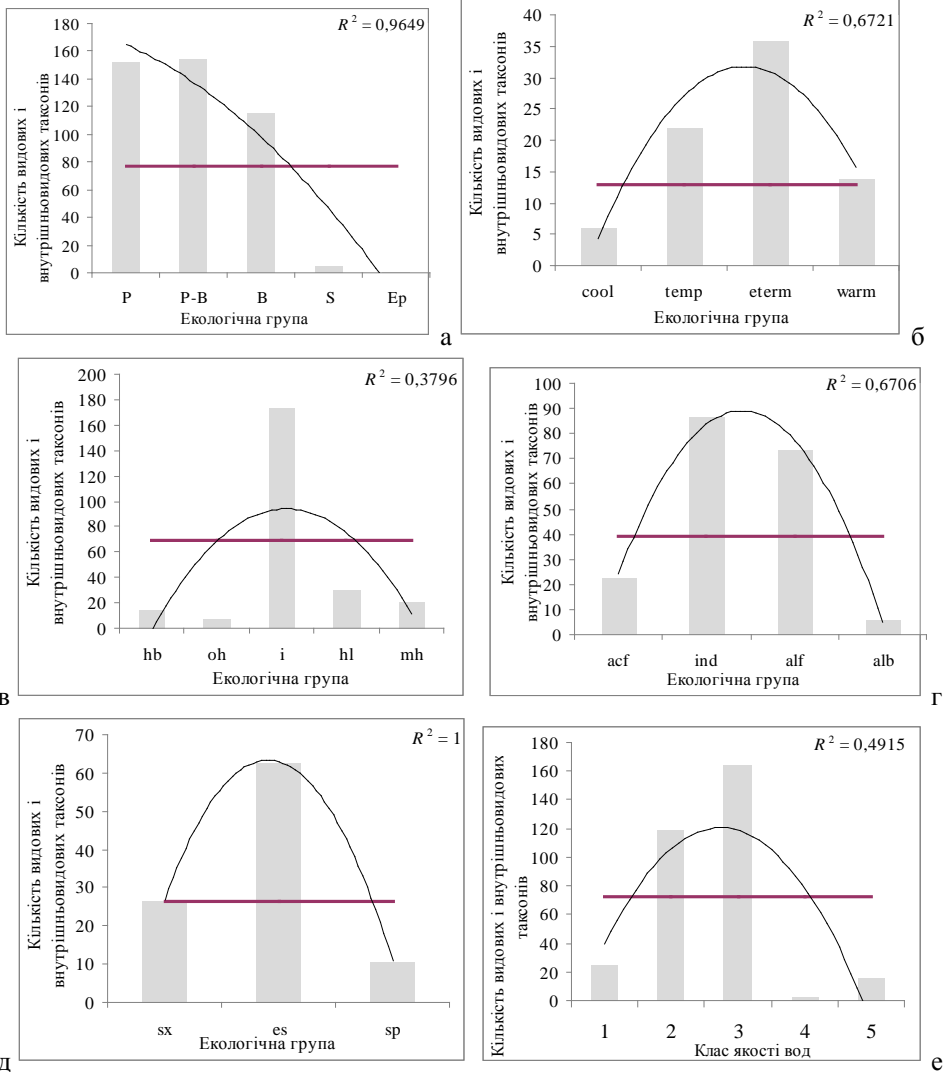


Рис. 2. Співвідношення водоростей-індикаторів екологічних умов у водотоках Українського Полісся. *а* – розподіл водоростей за місцем зростання, *б* – за відношенням до температури, *в* – за галобністю, *г* – за відношенням до рН, *д* – за типом органічного забруднення (за Ватанабе), *е* – за сапробністю

Отримані дані співставлені з I, II, III, IV і V класами якості вод. Відмічено переважання індикаторів III класу (50,2%), проте статистично значимими є також індикатори II класу (36,5%). Це підтверджується лінією стандартного відхилення. Частка індикаторів I класу якості вод сягала 6,7%, IV – 0,9%, V – 5,7%. Відомо, що в 60-х роках минулого століття у водотоках Українського Полісся здебільшого домінували олігосапроби, а річки регіону вважалися найчистішими в Україні. Після проведення меліорації у 80-х роках XX ст., а також посилення рівня антропогенного

забруднення річок у них переважали  $\beta$ -мезосапроби. Однією з найзабрудненіших дослідники називали р. Горинь, в якій домінантами були  $\beta$ - $\alpha$ - і  $\alpha$ -мезосапроби (Крахмальний, 1990). На сучасному етапі функціонування її екосистеми рівень органічного забруднення відповідає III класу якості вод, при цьому статистично значимими є також індикатори II класу.

Граничні середні значення чисельності клітин водоростей у річках поліського регіону склали  $0,058 \pm 0,01$ – $28,617 \pm 1,12$  млн кл/дм<sup>3</sup>, біомаси –  $0,298 \pm 0,02$ – $5,005 \pm 0,71$  мг/дм<sup>3</sup>. Встановлено пряму кореляцію між біомасою річкового фітопланктону та значеннями рН ( $r = 0,41$ ,  $p = 0,0005$ ,  $n = 63$ ). Знайдено обернену кореляцію між біомасою та концентрацією загального азоту ( $r = -0,52$ ,  $p = 0,000001$ ,  $n = 63$ ). Зниження загального вмісту азоту у воді обумовлене зростанням біомаси фітопланктону внаслідок його активного поглинання клітинами водоростей.

Проведене порівняння оригінальних даних щодо кількісних показників розвитку фітопланктону поліських річок з літературними, отриманими до початку масштабної меліорації регіону та після її завершення, дозволило встановити, що середні значення чисельності ( $5,581 \pm 0,98$  млн кл/дм<sup>3</sup>) і біомаси ( $2,304 \pm 0,29$  мг/дм<sup>3</sup>) фітопланктону цих водотоків на сучасному етапі є вищими від рівня, відміченого Д.О. Радзимовським і В.В. Поліщуком у 60-х роках минулого століття (відповідно 3 млн кл/дм<sup>3</sup> і 1 мг/дм<sup>3</sup>), але нижчими, ніж у 80-х роках після припинення меліораційних робіт (7 млн кл/дм<sup>3</sup> і 14 мг/дм<sup>3</sup>) (рис. 3). Зниження кількісних показників розвитку фітопланктону в останні десятиріччя, найвірогідніше, обумовлено зменшенням співвідношення в річковій воді  $N_{\text{неорг}}/P_{\text{неорг}}$ . Чинниками, які зумовлюють певне зниження концентрації неорганічних форм нітрогену, можуть бути інтенсивна вегетація вищої водної рослинності, яка значно збільшила площі заростань мілководь, а також спад виробництва. Однією з причин збільшення концентрації неорганічного фосфору є надходження фосфоровмісних поверхневоактивних речовин у річкові екосистеми.

### Заключення

Визначено високе флористичне багатство фітопланктону поліських річок. Загалом ідентифіковано 621 вид водоростей, представлених 660 ввт з номенклатурним типом виду включно, які належать до 217 родів, 81 родини, 35 порядків, 14 класів, 8 відділів. У системі водотоків у флористичному відношенні найбільш різноманітно представлені відділи *Chlorophyta* (31,1% загальної кількості видів), *Bacillariophyta* (28,0%) та *Euglenozoa* (17,9%). Зв'язок альгофлористичних показників із факторами середовища значною мірою визначається вмістом біогенів. Так, зі збільшенням вмісту загального азоту таксономічна структура фітопланктону спрощується, на що вказує зниження родового коефіцієнта ( $r = -0,42$ ,  $p = 0,000001$ ), а також індексу Шеннона ( $r = -0,67$ ,  $p = 0,000002$ ).

Збільшення кольоровості річкових вод зумовлює зменшення числа видів ( $r = -0,79$ ,  $p = 0,000127$ ). Слабкий прямий зв'язок відмічали між кількістю видів і температурою води ( $r = 0,22$ ,  $p = 0,00036$ ).

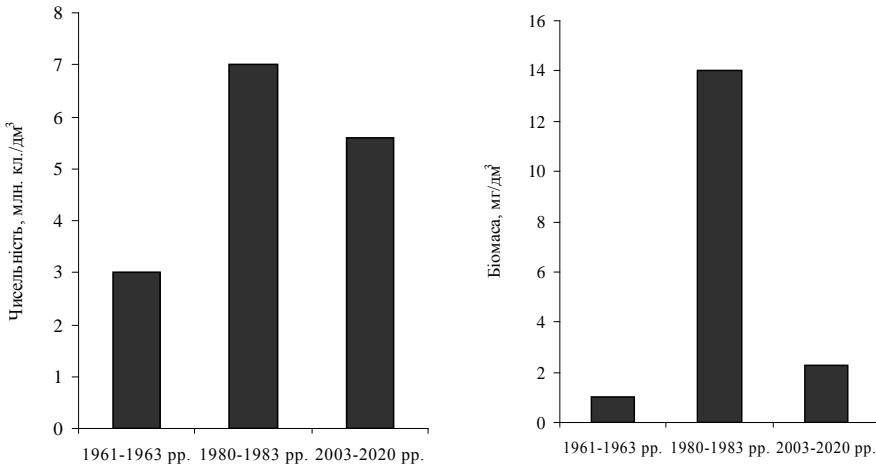


Рис. 3. Часова динаміка фітопланктону Поліських річок

У фітопланктоні поліських річок домінують планктонні та планктонно-бентосні види водоростей, однак до статистично значимих також належать бентосні форми. Індикація температурного режиму виявила переважання евритермів, також до статистично значимих належать форми, приурочені до помірному температурному режиму, і теплолюбні види водоростей. Збільшення частки теплолюбних форм у складі планктону річок Полісся за останні два десятиріччя обумовлено насамперед змінами клімату. Результати біоіндикаційного аналізу також вказують на середній рівень текучості вод і насичення киснем, переважання індіферентів за відношенням до солоності та рН. У водотоках регіону відмічено домінування індикаторів сапробності, які відповідають III класу якості вод, проте статистично значимими є й індикатори II класу. На помірний рівень органічного забруднення вод вказує переважання в поліських річках еврисапробів.

Співставлення списку ідентифікованих упродовж 2003–2020 pp. видів водоростей зі зведеннями «Algae of Ukraine» дозволило виявити 51 видовий і внутрішньовидовий таксон, які є новими для Українського Полісся. Їхня поява обумовлена змінами гідрологічного та гідрохімічного режимів річок, а також широким охопленням альгологічними дослідженнями територій та водотоків різних фізико-географічних областей Українського Полісся, ретельністю та цілеспрямованістю вивчення окремих із них.

## Список літератури

- Afanasyev S.A. 2001. Development of European approaches to biological assessment of hydroecosystems in the monitoring of rivers of Ukraine. *Hydrobiol. J.* 37(5): 3–18. [Афанасьєв С.А. 2001. Развитие Европейских подходов к биологической оценке состояния гидроэкосистем в мониторинге рек Украины. *Гидробиол. журн.* 37(5): 3–18].
- Afanasyev S.O., Vasilchuk T.O., Letytska O.M. 2012. In: *Assessment of the ecological status of the Southern Bug River in accordance with the requirements of the EU Water Framework Directive*. Kyiv: Interservice. Pp. 28–29. [Афанасьєв С.О., Васильчук Т.О., Летицька О.М. 2012. В кн.: *Оцінка екологічного стану річки Південний Буг у відповідності до вимог Водної рамкової директиви ЄС*. Київ: Інтерсервіс. С. 28–29].
- Asaul Z.I. 1962. Flora euglenide of rivers of western Ukrainian Polissya. *Ukr. Bot. J.* 19(3): 11–17. [Асаул З.І. 1962. Флора евгленід річок західноукраїнського Полісся. *Укр. бот. журн.* 19(3): 11–17].
- Babichenko V.M., Nikolaeva V.M., Gushchina L.M. 2007. Changes in air temperature in Ukraine in the late twentieth and early twenty-first century. *Ukr. Geogr. J.* 4: 3–12. [Бабіченко В.М., Ніколаєва В.М., Гущина Л.М. 2007. Зміни температури повітря на території України наприкінці ХХ та на початку ХХІ століття. *Укр. геогр. журн.* 4: 3–12].
- Barinova S.S., Medvedeva L.A., Anisimova O.V. 2006. *Biodiversity of algae-indicators of the environment*. Tel Aviv: Piles Stud. 498 p. [Барінова С.С., Медведєва Л.А., Анисимова О.В. 2006. *Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды*. Тель-Авив: Piles Stud. 498 с.].
- Bilous O., Barinova S., Klochenko P. 2012. Phytoplankton communities in ecological assessment of the Southern Bug River upper reaches (Ukraine). *Ecohydrol. & Hydrobiol.* 12(3): 211–230. <https://doi.org/10.2478/v10104-012-0021-3>
- Carpezo Yu.G. 1974. In: *Problems of small rivers of Ukraine*. Kyiv: Nauk. Dumka. Pp. 72–74. [Карпезо Ю.Г. 1974. Альгофлора річки Здвиг. В кн.: *Проблеми малих річок України*. Київ: Наук. думка. С. 72–74].
- Ecological state of transboundary sections of the rivers of the Dnieper basin on the territory of Ukraine*. 2002. Eds A.G. Vasenko, S.A. Afanasyev. Kyiv: Academperiodika. 355 p. [Экологическое состояние трансграничных участков рек бассейна Днепра на территории Украины. 2002. Под ред. А.Г. Васенко, С.А. Афанасьєва. Київ: Академперіодика. 355 с.].
- Frolova I.O. 1956. Algotflora of small rivers of Polissya. *Sci. Not. Kyiv Univ.* 15(4): 91–96. [Фролова І.О. 1956. Альгофлора малих річок Полісся. *Наук. зап. Київ. ун-ту.* 15(4): 91–96].
- Junger V.P. 1985. Species composition and distribution of edogonium algae in Ukrainian Polissya. *Ukr. Bot. J.* 42(6): 39–43. [Юнгер В.П. 1985. Видовий склад і поширення едогонієвих водоростей на Українському Поліссі. *Укр. бот. журн.* 42(6): 39–43].
- Klestov M.L., Shcherbak V.I., Kovalchuk I.P. 2001. *The current state of wetlands of the regional landscape park "Pripyat-Stokhid" and their biodiversity*. Kyiv: Fitosotsiotsentr. 108 p. [Клестов М.Л., Щербак В.І., Ковальчук І.П. 2001. *Сучасний стан водно-болотних угідь*

- регіонального ландшафтного парку «Прип'ять-Стохід» та їх біорізноманіття. Київ: Фітосоціоцентр. 108 с.].
- Klochenko P.D. 1996. Comparative characteristics of phytoplankton of the tributaries of the Dnieper (Ukraine). *Algologia*. 6(3): 272–284. [Клоченко П.Д. 1996. Сравнительная характеристика фитопланктона притоков Днепра (Украина). *Альгология*. 6(3): 272–284].
- Krakhmalnyi A.F. 1990. *Phytoplankton of Prypiat and its tributaries under conditions of large-scale reclamation of the region*: PhD (Biol.) Abstract. Kiev. 24 p. [Крахмальний А.Ф. 1990. *Фитопланктон Припяти и ее притоков в условиях крупномасштабной мелиорации региона*: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киев. 24 с.].
- Litvinova M.O. 1974. In: *Problems of small rivers of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka. Pp. 134–139. [Литвинова М.О. 1974. Фітопланктон малих річок Полісся. В кн.: *Проблеми малих річок України*. Київ: Наук. думка. С. 134–139].
- Lurie Yu.Yu. 1977. *Unified methods of water quality research*. Pt 3. Moscow: SEV. 91 p. [Лурье Ю.Ю. 1977. *Унифицированные методы исследования качества вод*. Ч. 3. М.: Изд-во СЭВ. 91 с.].
- Methods of hydroecological research of surface waters*. 2006. Ed. V.D. Romanenko. Kyiv: Logos. 408 p. [Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод. 2006. За ред. В.Д. Романенка. Київ: Логос. 408 с.].
- Odum Yu. 1986. *Ecology*. Moscow: Mir. 740 p. [Одум Ю. 1986. *Экология*. М.: Мир. 740 с.].
- Okhapkin A.G. 1997. *Structure and succession of phytoplankton during regulation of river flow (on the example of the Volga river and its tributaries)*: Dr. Sci. (Biol.) Abstract. St. Petersburg. 48 p. [Охапкин А.Г. 1997. *Структура и сукцессия фитопланктона при зарегулировании речного стока (на примере р. Волги и ее притоков)*: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. СПб. 48 с.].
- Pantle R., Buck H. 1955. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasser*. 96(18): 604 p.
- Polishchuk V.V., Travyanko V.S., Konenko G.D., Garasevich I.G. 1978. *Hydrobiology and hydrochemistry of the rivers of the Right Bank of the Dnieper*. Kyiv: Naukova Dumka. 270 p. [Поліщук В.В., Трав'янка В.С., Коненко Г.Д., Гарасевич І.Г. 1978. *Гідробіологія і гідрохімія річок Правобережного Придніпров'я*. Київ: Наук. думка. 270 с.].
- Radzimovsky D.O., Polishchuk V.V. 1970. *Plankton River Pripjat*. Kyiv: Naukova Dumka. 270 p. [Радзимовський Д.О., Поліщук В.В. 1970. *Планктон р. Прип'ять*. Київ: Наук. думка. 211 с.].
- Shcherbak V.I. 1996. Primary production of algae in the Dnieper and its reservoirs. *Hydrobiol. J.* 32(3): 3–15. [Щербак В.И. 1996. Первичная продукция водорослей Днепра и его водохранилищ. *Гидробиол. журн.* 32(3): 3–15].
- Shcherbak V.I., Maistrova N.V., Morozova A.O., Semenyuk N.Ye. 2011. *Pripyat-Stokhid National Nature Park. Diversity of algae flora and hydrochemical characteristics of aqualandscapes*. Kyiv: Fitosotsiocenter. 164 p. [Щербак В.И., Майстрова Н.В., Морозова А.О., Семенюк Н.Є. 2011. *Національний природний парк «Прип'ять-Стохід». Різноманіття альгофлори і гідрохімічна характеристика акваландшафтів*. Київ : Фітосоціоцентр. 164 с.].

- Shelyuk Yu.S., Astahova L.Y. 2021. Phytoplankton succession in the anthropogenic and climate ecological transformation of freshwater ecosystems. *Biosyst. Divers.* 29(2): 119–128. <https://doi.org/10.15421/012116>
- Shelyuk Yu.S., Korneichuk N.N. 2012. In: *Materials of the IV International conference "Actual problems of modern algology"*. Kyiv. Pp. 334–335. [Шелюк Ю.С., Корнейчук Н.Н. 2012. Стратегія сохранения биоразнообразия автотрофной компоненты речных экосистем Украинского Полесья. В кн.: *Материалы IV Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии»*. Киев. С. 334–335].
- Shelyuk Yu.S., Shcherbak V.I. 2018. Phytoplankton structural and functional indices in the rivers of the Pripyat' and Teterev basins. *Hydrobiol. J.* 54(3): 10–23. <https://doi.org/10.1615/HydrobJ.v54.i3.20>
- Sládeček V. 1973. System of water quality from the biological point of view. *Ergeb. Limnol.* 7: 1–128.
- Tsarenko P.M. 1984. Chlorococcal algae of rivers of the right-bank part of Ukrainian Polissya. *Ukr. Bot. J.* 41(1): 33–43. [Царенко П.М. 1984. Хлорококові водорості річок правобережної частини Українського Полісся. *Укр. бот. журн.* 41(1): 33–43].
- Startseva N.A., Okhapkin A.G., Vodeneeva E.L., Ryabova A.A. 2012. Taxonomic and ecological-geographical structure of phytoplankton of some right-bank rivers in Nizhny Novgorod. *Bull. Nizhny Novgorod Univ.* 3(2): 177–182. [Старцева Н.А., Охалкин А.Г., Воденеева Е.Л., Рябова А.А. 2012. Таксономическая и эколого-географическая структура фитопланктона некоторых правобережных рек г. Нижнего Новгорода. *Вестн. Нижегород. ун-та.* 3(2): 177–182].
- Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. 2006. *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Cyanoprocaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Gaucocystophyta, and Rhodophyta.* Vol. 1. Ruggell: Ganter Verlag. 713 p.
- Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. 2009. *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Bacillariophyta.* Vol. 2. Ruggell: Ganter Verlag. 413 p.
- Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. 2011. *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Chlorophyta* Vol. 3. Ruggell: Ganter Verlag. 511 p.
- Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. 2014. *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Charophyta.* Vol. 4. Ruggell: Ganter Verlag. 703 p.
- Tuz Yu.V. 2012. Perennial seasonal change of air temperature on the territory of Ukraine. *Geography and Tourism.* 2: 269–275. [Туз Ю.В. 2012. Багаторічна сезонна зміна температури повітря на території України. *Географія та туризм.* 2: 269–275].
- Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. 1994. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Neth. J. Aquat. Ecol.* 28: 117–133.
- Watanabe T. 1986. Biological indicator for the assessment of organic water pollution. *Jap. J. Water Pollut. Res.* 19: 7–11.

Підписав до друку П.М. Царенко

Shelyuk Yu.S. 2022. **Phytoplankton structure of river ecosystems of Ukrainian Polissya.** *Algologia*. 32(1): 35–52.

Ivan Franko Zhytomyr State University, Department of Botany,  
Bioresources and Biodiversity Conservation,  
40 V. Berdychivska Str., Zhytomyr 10002, Ukraine

Peculiarities of phytoplankton structure of river ecosystems of the Prypiat River and the Teteriv River, the main rivers of Polissya, are discussed. The main tendencies of the autotrophic part of Polissya rivers are revealed. In total 621 algal species (660 infraspecific taxa) from 14 classes, 35 orders, 81 families and 217 genera were identified in the rivers during 2003–2020. Among them 51 taxa with a rank below the genus are new to Ukrainian Polissya. The main abiotic parameters that cause in the structural characteristics of phytoplankton of the studied watercourses are determined. The bioindication analysis of phytoplankton species composition of river ecosystems and the assessment of their water quality is carried out.

**Key words:** phytoplankton, species composition, number, biomass, rivers of Ukrainian Polissya, bioindication analysis

## Сучасні відомості щодо різноманіття *Dinoflagellata* України

Брянцева Ю.В.

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,

вул. Терещенківська, 2, Київ 01601, Україна

brekall5@gmail.com

Надійшла до редакції 17.02.2022. Після доопрацювання 21.02.2022. Підписана до друку 23.02.2022.  
Опублікована 23.03.2022.

**Реферат.** Представлено сучасні відомості про різноманіття *Dinoflagellata* України. Вивчення видового складу мікроводоростей в умовах сучасних кліматичних змін залишається актуальним. Динофлагеляти, особливо види, що світяться, є чутливими до аномалій в умовах теплого Чорного моря і можуть слугувати зручним індикатором стану аквальных екосистем завдяки швидкій реакції на зовнішні впливи. Використання електронної мікроскопії, а також молекулярно-генетичних методів дослідження за останні 10 років дали змогу спостерігати суттєві зміни в таксономічній системі відділу *Miozoa* суперкласу *Dinoflagellata*. На основі аналізу 204 літературних джерел та ревізії таксономічного складу динофлагелят України, відповідно до міжнародної бази даних *AlgaeBase*, встановлено, що сучасний список *Dinoflagellata* України включає 370 видів (397 ввт), які відносяться до 3 класів, 14 порядків, 45 родин та 98 родів. Кількість видів, знайдених в Україні, на порядок нижча відомих на сьогодні для типу *Miozoa* у світі (3636), а їхній розподіл за порядками практично співпадає і є дуже нерівномірним: 3 порядки включають 63% видів, відомих на даний час у цілому та 71% знайдених в Україні. Найбільш різноманітно в Україні представлені порядки *Peridinales* (121 видів, 32,4%), *Gymnodinales* (82, 22%) і *Gonyaulacales* (61, 16,4%). Аналіз розподілу динофлагелят у територіальних водах України за основними альгофлористичними районами підтвердив, що більшість з них мешкають у морських акваторіях (273, 55%), що вдвічі переважає суходільні (128, 26%) і значна частка трапляється в лиманах – 92, 19%). Серед видів, що трапляються на суходолі, найбільша кількість віднесена до Дніпровсько-Причорноморської (108 таксонів) та Карпатсько-Дунайської альгофлористичних підпровінцій (71) завдяки тому, що до них належать зони контакту основних річок України та чорноморсько-азовських вод. За останнє десятиріччя у видовому складі динофлагелят України та їхній систематичній структурі відбулися суттєві зміни. Збільшилася загальна кількість видів, порядків та родів; в результаті того, що частина видів була перейменована, реальна кількість нових видів і ввт збільшилася на 85 одиниць, один вид описаний як новий для

© Брянцева Ю.В., 2022

науки. Проте видове різноманіття динофлагелят деяких районів України залишається недостатньо вивченим, а частина їх потребує додаткових досліджень.

Ключові слова: динофлагеляти, видова структура, екотопи України, різноманіття

## Вступ

В умовах кліматичних змін, ознаки яких простежуються також у Чорному морі (Bryantsev, Bryantseva, 2010), моніторинг видового різноманіття біоти залишається актуальним. Мікрододорості як перша ланка трофічного ланцюга є найбільш зручним індикатором стану аквальних екосистем завдяки високій швидкості реакції на різні впливи. В останні десятиліття особлива увага приділяється дослідженням зв'язку між видовою структурою фітопланктону та особливостями кліматичних умов у різні роки (Serikova et al., 2016, 2017, 2021; Kubryakova et al., 2018; Mikaelyan et al., 2018). На прикладі прибережних районів Криму було показано, що теплі та холодні роки відрізняються рівнем розвитку діатомових та динофлагелят (Bryantseva, 2021; Serikova et al., 2021), що сприяє збільшенню різноманіття фітопланктону Чорного моря. Крім того, видове багатство динофлагелят, особливо видів, що світяться, виявилось чутливим індикатором аномалій в умовах теплого моря (Serikova et al., 2021).

Історія досліджень цієї групи водоростей в Україні налічує понад 130 років, вони докладно описані в багатьох роботах (Krakhmalnyi, 1995a, b; Krakhmalnyi et al., 2006, 2012, 2018; Krakhmalnyi, Panina, 2010; Bryantseva et al., 2016; Bryantseva, 2020). Найбільш повний огляд динофлагелят Чорного моря, а також територіальних вод України представлено в роботах О.Ф. Крахмального (Krakhmalnyi, 2011; Krakhmalnyi et al., 2018). У монографії (Krakhmalnyi, 2011) наведено 272 види водоростей (293 ввт).

Завдяки ширшому використанню електронної мікроскопії, а також молекулярних та генетичних методів дослідження в останні роки відбулися суттєві зміни в таксономічній системі суперкласу *Dinoflagellata*. Багато видів переведені в нові роди, багато синонімічних назв повернули в статус валідних. Були ідентифіковані нові для України види, у т.ч. числі нові для науки. В зв'язку із цим необхідно провести сучасну ревізію таксономічного складу суперкласу *Dinoflagellata*.

Мета роботи – встановити сучасну видову структуру динофлагелят аквальних екосистем України та виявити зміни в їхній різноманітності за останнє десятиліття.

Назви таксонів усіх рангів приведені у відповідність до сучасних даних, прийнятих у міжнародній базі AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2022). Для класів суперкласу *Dinoflagellata* за основу взято наступні роботи (AlgaeBase: Guiry, Guiry, 2021, <https://www.algaebase.org/>):

Клас *Dinophyceae* (West, Fritsch, 1927); клас *Noctilucopephyceae* (Fensome et al., 1993); клас *Oxyrrhidophyceae* (*Oxyrrhida*) Cavalier-Smith (Kawai, Nakayama, 2015).

### Результати та обговорення

У результаті ревізії 204 літературних джерел та приведення всіх назв у відповідність до електронного ресурсу AlgaeBase встановлено, що сучасний склад *Dinoflagellata* України включає 370 видів (397 ввт), що належать до 3 класів, 14 порядків (табл. 1), 45 родин та 98 родів.

Таблиця 1. Сучасна таксономічна структура типу *Miozoa*

Таксон		У світі		В Україні	
		Кількість			
Клас	Порядок	видів, од.	%	видів, од.	%
<i>Dinophyceae</i>	<i>Amphidinales</i>	94	2,59	21	5,64
	<i>Blastodinales</i>	6	0,17	0	0,00
	<i>Desmocapsales</i>	3	0,08	0	0,00
	<i>Desmomastigales</i>	1	0,03	0	0,00
	<i>Dinamoebidiales</i>	2	0,06	0	0,00
	<i>Dinophyceae ordo incertae sedis</i>	288	7,92	1	0,27
	<i>Dinophysales</i>	362	9,96	29	7,80
	<i>Gloeodinales</i>	6	0,17	1	0,27
	<i>Gonyaulacales</i>	705	19,39	61	16,40
	<i>Gymnodinales</i>	641	17,63	82	22,00
	<i>Haplozoonales</i>	18	0,50	0	0,00
	<i>Peridinales</i>	939	25,83	121	32,5
	<i>Phytodinales</i>	74	2,04	12	3,20
	<i>Prorocentrales</i>	95	2,61	17	4,70
	<i>Suessiales</i>	90	2,48	10	2,70
	<i>Thoracosphaerales</i>	212	5,83	9	2,40
<i>Torodinales</i>	3	0,08	2	0,54	
<i>Noctilucopephyceae</i>	<i>Noctilucalces</i>	19	0,52	5	1,34
<i>Oxyrrhidophyceae</i>	<i>Oxyrrhinales</i>	2	0,06	1	0,27
<i>Ellobiopsea</i>	<i>Ellobiopsida</i>	21	0,58	0	0,00
<i>Syndiniophyceae</i>	<i>Coccidinales</i>	13	0,36	0	0,00
	<i>Syndiniales</i>	42	1,16	0	0,00
Загалом	22	3636	100,00	370	100,00

Кількість видів, знайдених в Україні, на порядок нижча від відомих на сьогодні для типу *Miozoa*, а їхній розподіл за порядками практично співпадає і є дуже нерівномірним. Три провідні порядки охоплюють 71% видів, знайдених в Україні та 63% усіх видів світової флори. Найбільшим різноманіттям представлений порядок *Peridiniales* – 121 видів (32,5%) та 939 (25,8%) відповідно. На другому місці в світі порядки *Gonyaulacales* – 705 видів (19%) та *Gymnodiniales*, 641 (17,6%), тоді як в Україні на другому місці порядок *Gymnodiniales* – 82 (22,2%) та *Gonyaulacales* – 61 (16,4%). Видове багатство решти порядків становить менше 10%. Представники класів *Ellobiopsea* і *Syndiniophyceae*, та 8 порядків суперкласу *Dinoflagellata* в Україні не знайдені.

Нижче наведені сучасні відомості щодо таксономічного розподілу видового різноманіття відділу *Miozoa* суперкласу *Dinoflagellata* України (синопис) порівняно з попередніми даними, наведеними в огляді О.Ф. Крахмального (Krakhmalnyi, 2011).

**MIOZOA** Cavalier-Smith  
**DINOFLAGELLATA** Bütschli

**DINOPHYCEAE** F.E.Fritsch

**AMPHIDINIALES** Moestrup & Calado.

**Amphidiniaceae** Moestrup & Calado: *Amphidinium* Clap. et J.Lachm. – 21/24 [17/18]\*.

**DINOPHYCEAE ORDO INCERTAE SEDIS** Chatton ex Loeblich III:

**Ptychodiscaceae** (F.Schütt) Lemmerm.: *Ptychodiscus* (F.Schütt) Lemmerm. – 1 [0].

**DINOPHYSALES** Kof.

**Dinophysaceae** Bütschli: *Dinophysis* Ehrenb. – 25/26 [24].

**Oxyphysaceae** Sournia: *Phalacroma* F.Stein – 4 [0].

**GLOEODINIALES** Fott.

**Gloeodiniaceae** Pascher ex J.Schiller: *Gloeodinium* G.A.Klebs – 1 [0].

**GONYAULACALES** F.J.R.Taylor.

**Ceratiaceae** Kof.: *Ceratium* Schrank – 5/10 [3/12]. *Tripes* Bory – 15/18 [16/19]\*\*.

**Cladopyxidaceae** Kof.: *Cladopyxis* F.Stein – 1 [1]. *Micracanthodinium* Deflandre – 2 [0].

**Gonyaulacaceae** Er.Lindem.: *Gonyaulax* Diesing – 11 [13].

**Lingulodiniaceae** W.A.Sarjeant & C.Downie: *Amylax* Meunier – 1 [0].  
*Lingulodinium* D.Wall – 1 [1]. *Sourniaea* H.Gu, K.N.Mertens, Zhun Li & H.H.Shin – 1 [0].

**Protoceratiaceae** Er.Lindem.: *Protoceratium* Bergh – 3 [2].

**Pyrocystaceae** (F.Schütt) Lemmerm.: *Alexandrium* Halim – 3 [1].

*Pyrocystis* Wyville-Thompson – 3 [1]. *Triadinium* J.D.Dodge – 1 [0].

*Pyrophacus* F.Stein – 2 [1/2].

**Tovelliaceae** Moestrup, Lindberg & Daugbjerg: *Bernardinium* Chodat – 2 [1]. *Jadwigia* Moestrup, K.Lindberg & Daugbjerg – 3 [0]. *Katodinium* Fott – 1 [6]. *Opisthoaulax* Calado – 2 [0]. *Tovellia* Moestrup, K.Lindberg & Daugberg – 2 [1]. *Woloszynskia* R.H.Thomps. – 2 [5].

**GYMNODINIALES** Apstein.

**Amphitholaceae** Poche ex Fensome & al.: *Monaster* F.Schütt – 1 [0].

**Ceratoperidiniaceae** Loeblich III: *Pseliodinium* Sournia – 2 [0].  
*Torquentidium* H.H.Shin, Z.Li, K.W.Lee & K.Matsuoka – 2 [0].

**Gymnodiniaceae** Lank. – *Akashiwo* G.I.Hansen & Moestrup – 1 [1].  
*Cochlodinium* F.Schütt – 6 [9]. *Gymnodinium* F.Stein – 43/44 [28].  
*Margalefidinium* F.Gómez, Richlen & D.M.Anderson – 2 [0]. *Nusuttodinium* Y.Takano & T.Horiguchi – 2 [0].

**Gymnodiniales incerta sedis**: *Lebouridium* F.Gómez, H.Takayama, D.Moreira & P.López – 1 [0]. *Levanderina* Moestrup, P.Hakanen, G.I.Hansen, Daugbjerg & M.Ellegaard – 1 [0]. **Gyrodiniaceae** Moestrup & Calado:  
*Gyrodinium* Kof. & Swezy – 16 [13].

**Polykricaceae** Kof. & Swezy: *Polykrikos* Bütschli – 4 [2].

**Warnowiaceae** Er.Lindem.: *Warnowia* Er.Lindem. – 2 [0].

**PERIDINIALES** Haeckel.

**Dinosphaeraceae** Er.Lindem.: *Dinosphaera* Kof. & J.R.Michener – 1 [1].

**Glenodiniopsidaceae** J.Schiller: *Glenodiniopsis* Wolosz. – 2 [1].

**Ensiculiferaceae** Zhun Li, Gottschling, K.N.Mertens, H.Gu & H.H.Shin:  
*Ensiculifera* – 1 [0].

**Heterocapsaceae** Fensome, F.J.R.Taylor, G.Norris, W.A.S.Sarjeant, D.I.Wharton & G.L.Williams: *Heterocapsa* F.Stein – 2 [1].

**Kryptoperidiniaceae** Er.Lindem.: *Durinskia* Carty & Elenor R.Cox – 3 [2].  
*Kryptoperidinium* Er.Lindem. – 2/3 [1]. *Unruhodium* Gottschling – 2 [0].

**Lessardiaceae** Carbonell-Moore: *Lessardia* J.F.Saldarriaga & F.J.R.Taylor – 1 [0].

**Oxytoxaceae** Er.Lindem.: *Oxytoxum* F.Stein – 8 [3].

**Peridiniaceae** Ehrenb.: *Glochidium* Boltovskoy – 1 [1]. *Peridinium* Ehrenb. – 9/12 [14/19]. *Staszicella* Wolosz. – 1 [1]. *Thompsodinium* Bourrelly – 1 [2].

**Peridiniales incertae sedis**:

*Bysmatrum* M.A.Faust & K.A.Steindinger – 1 [0]. *Glenodinium* Ehrenberg – 10 [7]. *Parvodinium* Carty – 7/8 [0]. *Peridiniella* Kof. & J.R.Michener – 2 [2].

**Peridiniopsidaceae** Gottschling, Kretschmann & Zerdoner Casalan:

*Palatinus* Craveiro, Calado, Daugbjerg & Moestrup – 2/3 [1]. *Peridiniopsis* Lemmerm. – 11 [10].

**Podolampadaceae** Lindemann: *Podolampas* F.Stein – 1 [1].

**Protopteridiniaceae** Balech: *Archaepteridium* Jørgensen – 1 [0].

*Diplopsalis* Bergh – 3 [5]. *Diplopsalopsis* Meunier – 1 [1]. *Herdmania* J.D.Dodge – 1 [0]. *Huia* H.F.Gu, K.N.Mertens, T.T.Liu – 1 [0]. *Kolkwitzziella* Lindemann – 1 [0]. *Matvienkodium* Krakhm. – 1 [0]. *Oblea* Balech ex Loeblich & A.R.Loeblich – 1 [1]. *Prepteridium* Mangin – 1 [0]. *Protopteridium* Bergh – 42/45 [36/37].

**PHYTODINIALES** A.R.Loeblich III.

**Phytodiniaceae** G.A.Klebs: *Cystodinedria* Pascher – 1 [1]. *Cystodinium* G.A.Klebs – 4 [2]. *Dinococcus* Fott – 1 [0]. *Hypnodinium* G.A.Klebs – 1 [1]. *Phytodinedria* Pascher – 1 [0]. *Phytodinium* G.A.Klebs – 1 [1]. *Stylodinium* G.A.Klebs – 2 [1]. *Tetradinium* G.A.Klebs – 1 [1].

**PROROCENTRALES** Lemmerm.

**Prorocentraceae** F.Stein: *Mesoporos* Lillick – 1 [1]. *Prorocentrum* Ehrenb. – 16/19 [14/15].

**SUESSIALES** Fensome et al.

**Borghiellaceae** Moestrup, K.Lindberg & Daugbjerg: *Borghiella* Moestrup, Gert Hansen & Daugberg – 3 [1].

**Hemidiniaceae** Bourrelly ex P.C.Silva: *Hemidinium* F.Stein – 1 [2].

**Sphaerodiniaceae** Moestrup & Calado: *Sphaerodinium* Wolosz. – 2 [1].

**Suessiaceae** Fensome et al.: *Biecheleria* Moestrup, K.Lindberg & Daugbjerg – 2 [0]. *Prosoaulax* Calado & Moestrup – 1 [0]. *Protodinium* Lohmann – 1 [0].

**THORACOSPHAERALES** Tangen.

**Pfiesteriaceae** Steidinger & J.M.Burkholder: *Speroidium* Moestrup & Calado – 1 [0]. *Tyrannodinium* Calado, Craveiro, Daugbjerg & Moestrup – 1 [0].

**Thoracosphaeraceae** J.Schiller: *Apocalathium* Craveiro, Daugbjerg, Moestrup & Calado – 1 [0]. *Chimonodinium* Craveiro, Calado, Daugbjerg, Gert Hansen & Moestrup – 2/4 [0]. *Goniodoma* F.Stein – 1 [1]. *Naiadinium* Carty – 1 [0]. *Paulsenella* (Paulsen) Chatton – 1 [1]. *Scripsiella* Balech – 1 [1].

**TORODINIALES** Boutrup, Moestrup & Daugbjerg

**Kapelodiniaceae** Boutrup, Moestrup & Daugbjerg: *Kapelodinium* Boutrup, Moestrup & Daugbjerg – 1 [0].

**Torodiniaceae** Boutrup, Moestrup & Daugbjerg: *Torodinium* Boutrup, Moestrup & Daugbjerg – 1 [1].

**NOCTILUCOPHYCAE** Fensome, F.J.R.Taylor, G.Norris, W.A.S.Sarjeant, D.I.Wharton & G.L.Williams

**NOCTILUCALES** Haeckel.

**Leptodiscaceae** Kof.: *Scaphodinium* Margalef – 1 [0].

**Noctilucaeae** Kent: *Noctiluca* Suriray – 1 [1]. *Spatulodinium* Cachon & Cachon-Enj. – 1 [1]. **Protodiniferaceae** Kof. & Swezy: *Pronoctiluca* Fabre-Domergue – 2 [0].

**OXYRRHIDOPHYCEAE** Cavalier-Smith

**OXYRRHINALES** Sournia.

**Oxyrrhinaceae** Sournia: *Oxyrrhis* Dujard. – 1 [0].

2/1 – перша цифра означає кількість видів, після косої риски – кількість видових та внутрішньовидових таксонів (ввт); \* – у квадратних дужках наведено зведення О.Ф. Крахмального (Krakhmalnyi, 2011); \*\* – рід *Tripes* у роботі О.Ф. Крахмального (Krakhmalnyi, 2011) дається під назвою *Neoceratium*.

Найбільшою кількістю таксонів серед динофлагелят України вирізняються роди *Protoperidinium* (42/45) та *Gymnodinium* (43/44). За останнє десятиліття значно збільшилася кількість видів другого роду (раніше їх було 28). Видове багатство деяких родів майже не змінилося: *Dinophysis* (з 24 до 25), *Amphidinium* (з 17 до 21), *Prorocentrum* (з 14 до 16), *Gyrodinium* (з 13 до 16) та *Peridiniopsis* (з 10 до 11) і трохи зменшилася кількість видів у родів *Gonyaulax* (з 13 до 11) та *Peridinium* (з 14 до 9) через те, що деякі види останнього були перенесені в інші роди. В роді *Tripes* кількість видів була незмінною – 16. Переважна більшість родів (52) – моновидові, а в решті – видове багатство не досягало 10.

У порівнянні з визначником 2011 р. (Krakhmalnyi, 2011) у видовому багатстві динофлагелят України та їхній систематичній структурі відбулися суттєві зміни. Кількість порядків та родів збільшилася вдвічі, а кількість видів – на 100 одиниць, внутрішньовидових таксонів – на 106. Оскільки частина видів була перейменована, реальна кількість нових видів та ввт збільшилася тільки на 85 одиниць. Серед 314 видів та ввт, що співпадали з даними О.Ф. Крахмального (Krakhmalnyi, 2011), для 119 були запропоновані нові номенклатурні комбінації через появу 54 нових назв родів. Деякі джерела, що стосувалися північно-західної частини Чорного моря, не увійшли до монографії. Частина видів була переведена в інші таксономічні ранги: рід *Oxyrrhis*, не включений раніше до суперкласу *Dinoflagellata*, увійшов до окремої родини, порядку та класу. В окремий клас виділено порядок *Noctiluciales* Haesckel, в який на сьогодні входять 3 види двох родів (*Scaphodinium* Margalef та *Pronoctiluca* Fabre-Domergue), які належать 3 родинам: *Leptodiscaceae* Kofoid, *Noctilucaeae* Kent та *Protodiniferaceae* Kof. & Swezy. Один вид роду *Zygabikodinium* Loeblich & A.R.Loeblich переведений до роду *Preperidinium* Mangin. Під *Ceratium* F.Schrank поділений на два: *Ceratium* (прісноводні) та *Tripes* Bory (морські). Замість назви роду *Neoceratium* F.Gomez, D.Moreira & Lopez-Garcia, запропонованої раніше (Gomez et al., 2010) і яку використовував

О.Ф. Крахмальний, прийнято назву *Triplos*. Двадцять один рід (в основному з тих, що представлені одним видом) не зазнав змін у кількості видів та ввт, решта родів змінилися як за складом, так і за кількістю таксонів у їхньому складі.

Невелика кількість видів та ввт не увійшла до чек-листка, який готується до друку в повному обсязі, тому що згадування частини їх є помилковими чи стосується районів, які не входять до складу територіальних вод України (акваторій Чорного та Азовського морів). Так, наприклад, *Ceratiium teres* (Georgieva, 1969) був визначений у районі Босфорської протоки. *Protoperidinium sinaicum* (Bityukov, 1993) вказано як біоломінесцент для Чорного моря, і більш ніхто його не згадував, тому належність даного виду до акваторій України залишається під питанням. Дані стосовно трапляння 23 видів у територіальних водах України, або їхній таксономічний статус потребують додаткових досліджень.

Особливо цікавою є поява нових для території України видів, у тому числі одного нового для науки. Найбільше таких видів представлено в роботах Л.М. Теренко, О.Ф. Крахмального та Г.В. Теренко. Нижче наведено список нових видів, наведених вказаними авторами за останні 10 років.

1. *Gymnodinium feofanium* Krakhm. sp. nov. (*Gymnodiniales*, *Gymnodiniaceae*) – новий для науки вид, що описав О.Ф. Крахмальний. Вперше знайдений наприкінці квітня 2014 р. у ставку парку Феофанія поблизу м. Києва (Krakhmalnyi, 2015).

2. *Scaphodinium mirabile* Margalef (*Noctilucopephyceae*, *Noctiluciales*, *Leptodiscaceae*). Вперше виявлений у 2005 р. у північно-західній частині Чорного моря. Влітку 2010–2011 рр. траплявся в прибережній зоні Криму, а також у гирлі Дніпра та Каркінитській затоці, з 2009 р. – у Севастопольській затоці (Gavrilova, 2012).

3. *Jadwigia limnetica* (Bursa) Moestrup (*Gonyaulacales*, *Tovelliaceae*). Наводився під назвою *Woloszynskia limnetica* Bursa як новий для прісних водойм СНГ (Krakhmalnyi, 2013).

4. *Ceratiium rhomvoides* Hickel (*Gonyaulacales*, *Ceratiaceae*) – вказаний як новий для України вид, знайдений у ставку парку Феофанія в Голосіївському районі м. Києва в 2014 р. (Krakhmalnyi, 2015; Radchenko et al., 2019).

5. *Peridiniopsis cunningtonii* Lemmerm (*Peridinales*, *Peridiniopsidaceae*). Вперше виявлений влітку 2008 р. в Одеській затоці (Krakhmalnyi, 2014).

6. *Peridinium quadridentatum* (F.Stein) Hansen (*Peridinales*, *Peridiniaceae*) – уперше знайдений в липні 2018 р. в Одеській затоці (Чорне море, Україна) (Terenko, 2019; Terenko, Krakhmalnyi, 2019).

7. *Chimonodinium lomnickii* (Wołosz.) Craveiro et al. (*Toracosphaerales*, *Toracosphaeraceae*). Вказаний як новий для Чорного моря (українська частина). Вперше знайдений у січні 2011 р. в Одеській затоці (Теренко, 2019; Krakhmalnyi, Terenko, 2019).

Три види роду *Dinophysis* Ehrenb. (*Dinophysales*, *Dinophysaceae*), знайдені вперше в Одеській затоці, вказані як нові для українських вод Чорного моря, а також 11 видів, зазначені як нові для літоральної зони Чорного моря (Теренко, 2005, 2011), не увійшли до монографії О.Ф. Крахмального (2011). Тому ми наводимо їх нижче.

*Dinophysis islandica* Pauls. – грудень 2001; *D. nasuta* (as *Nasutum*) (Stein) Parke et Dixon – листопад 2008; *D. recurva* Kof. et Skigsb. – листопад 2001; *Alexandrium pseudogonyaulax* – серпень 2002; *Amphidinium conradii* – березень 2001; *A. inflatum* – травень 2001; *Goniodoma striatum* – серпень 2001; *Gymnodinium aureolum* – серпень 2002; *G. heterostriatum* – березень 2001; *G. stellatum* – січень 2001; *Gyrodinium ovum* – березень 2001; *Triplos fusus* var. *schuettii* (as *Ceratium fusus* var. *schuettii*) – лютий 2001; *Warnowia maculata* – січень 2002; *W. schuettii* – грудень 2001.

Аналіз відомостей щодо екологічних характеристик *Dinoflagellata* України підтвердив, що динофлагеляти є типово планктонними чи планктонно-бентосними формами. Дев'ять видів траплялися в обростаннях макрофітів: *Cystodinedria inermis*, *Cystodinium cornifax*, *Glenodinium berghii*, *Gloeodinium montanum*, *Parvodinium umbonatum*, *Peridinium willei*, *Phytodinedria hemisphaera*, *Staszicella dinobryonis*, *Stylodinium globosum*.

Як відомо, переважна більшість динофлагелят – морські види. За нашими даними, в Україні їх виявлено 226 (60%); 19,5% (78 видів та ввт) виявилися типово прісноводними. Значно менший відсоток складають солонуватоводні види – 20,5%, але це змішана група видів, які трапляються в усіх типах вод.

Незмінним залишився склад видів, що світяться – 35, але вид *Protoperidinium oblongum* ми віднесли до біолюмінісцентів гіпотетично, тому що раніше його могли приймати за інший вид – *Protoperidinium oceanicum*, здатність якого до біолюмінесценції доведена (Bityukov, 1993). До токсичних належать 22 види з родів *Dinnophysis*, *Phalacroma* та види *Gymnodinium aureolum*, *Lingulodinium polyedra*, *Margalefidinium polykrikoides*, *Prorocentrum lima*, *Protoceratium reticulatum*, *Protoperidinium bipes*, *Akashiwo sanguinea* та *Alexandrium tamarense*.

Аналіз розподілу всіх видів *Dinoflagellata* територіальних вод України за основними альгофлористичними районами (див. табл. 2) підтвердив, що переважна більшість з них мешкають у морських акваторіях, тоді як на суходолі їх було на 123 одиниці менше. Типово морських видів було вдвічі більше, ніж суходільних, і майже чверть видів траплялася в усіх типах вод. Серед останніх найбільш різноманітними були роди *Gymnodinium* (11

видів), *Prorocentrum* (10), *Protoberidinium* (6), *Dinophysis* (5), *Amphydinium*, *Glenodinium*, *Gyrodinium* (по 4 види кожний), в решті родів було від 1 до 3 видів. Це були переважно солонуватоводні чи евригалінні види, розповсюджені у лиманах Азово-Чорноморського прибережжя, які виносяться річковим стоком до моря. Так, наприклад, в Азовському морі таких переважна більшість (25 з 36).

Таблиця 2. Розподіл таксонів динофлагелат України в основних альгофлористичних підпровінціях та морях

Район	Роди		Видів/таксонів	
	одиниці	%	одиниці	%
Чорне море	79	80,6	294/308	78,8/77,2
Азовське море	20	20,4	34/36	9,1/9
<b>Всього в морях</b>	<b>79</b>	<b>80,6</b>	<b>295/309</b>	<b>79/77</b>
ПпДсАП	24	24,5	43/47	11,5/11,8
СДпАП	39	39,8	86/92	23/21,5
ДпПчАП	25	25,5	40/41	11/10,5
ГКрАП	2	2	2/2	0,5/0,5
КпДнАП	37	37,8	61/62	16,3/15,5
<b>Всього на суші</b>	<b>64</b>	<b>65,3</b>	<b>172/183</b>	<b>46/45,9</b>

Умовни позначення: ПпДсАП – Прип'ятсько-Деснянська альгофлористична підпровінція; СДпАП – Середньодніпровська альгофлористична підпровінція; ДпПчАП – Дніпровсько-Причорноморська альгофлористична підпровінція; ГКрАП – Гірськокримська альгофлористична підпровінція; КпДнАП – Карпатсько-Дунайська альгофлористична підпровінція. % – відсоток загальної кількості таксонів, видів, чи родів.

Усі види, розповсюджені в Азовському морі (35 видів, 37 ввт), зустрічаються також у Чорному і тільки один вид – *Protoberidinium cerasus* не зафіксований у Чорному морі. Серед них найбільшим різноманіттям відзначалися роди *Protoberidinium* – 7 видів і *Prorocentrum* – 5 видів (6 ввт). Меншою кількістю видів представлені роди *Dinophysis*, *Glenodinium*, *Gonyaulax* та *Tripos*, решта були моновидові.

Серед 33 родів, до яких належать 82 (90 ввт) типово суходільних вида, найбільшим різноманіттям представлені роди: *Gymnodinium* – 14, *Ceratium* – 5(10 ввт), *Peridiniopsis* – 8, *Peridinium* – 6(7 ввт), решта родів налічували від 1 до 4 таксонів.

Серед видів, які траплялися на суходолі (128), найбільша кількість віднесена до Дніпровсько-Причорноморської (108 таксонів) та Карпатсько-Дунайської альгофлористичних підпровінцій (71). тому що до них належать зони контакту основних річок України та її Чорноморсько-

Азовського прибережжя. Саме до цих підпровінцій входять Причорноморсько-Приазовський (18) та Придунайський (17) альгофлористичні округи. Загальна кількість таксонів в них – 111. На другому місці Лівобережно-Дніпровський округ – 69 таксонів (33 знайдено тільки на суші). Наведені цифри скоріше відображають міру вивченості районів, ніж їхній географічний розподіл.

Цікавим є розподіл родів та видів за основними екотопами України (див. рисунок).

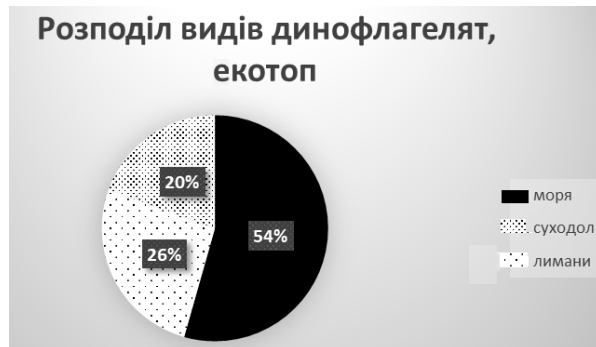
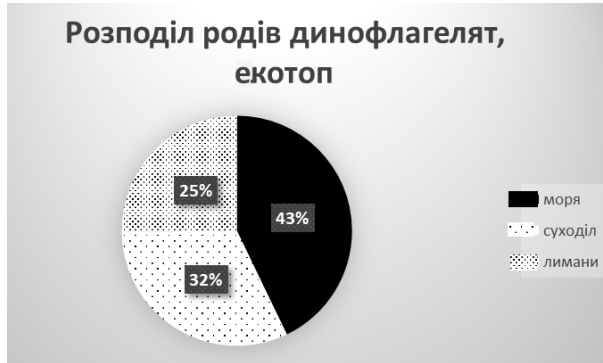


Рисунок. Розподіл видів та родів динифлагелат за основними екотопами України

Морські форми переважали за кількістю видів і родів, що типово для динифлагелат України. Друге місце посіли типово суходільні види, решта родів та видів мали змішане походження, тобто траплялися як у морських, так і суходільних акваторіях. Серед типово суходільних, тобто таких, що не траплялися в морських акваторіях, були прісноводні роди: *Bernardinium*, *Gloeodinium*, *Ceratium*, *Jadwigia*, *Katodinium*, *Tovellia*, *Dinosphaera*, *Staszicella*, *Thompsodinium*, *Kolkwitzziella*, *Cystodinedria*, *Dinococcus*, *Phytodinedria*, *Phytodinium*, *Stylodinium*, *Tetradinium*, *Borghielliella*, *Hemidinium*, *Tyrannodinium*, *Torodinium*, *Opisthoaulax*, *Woloszinskia*.

Серед типово морських: *Ptychodiscus*, *Triplos*, *Cladopyxis*, *Micracanthodinium*, *Amylax*, *Ensiculifera*, *Sourniaea*, *Protoceratium*, *Alexandrium*, *Pyrocystis*, *Triadinium*, *Pyrophacus*, *Monaster*, *Pseliodinium*, *Torquentidium*, *Dinophysis*, *Phalacroma*, *Margalefidinium*, *Lebourodinium*, *Warnowia*, *Heterocapsa*, *Lessardia*, *Oxytoxum*, *Podolampas*, *Archaeoperidinium*, *Herdmania*, *Hypnodinium*, *Mesoporos*, *Goniodoma*, *Kapelodinium*, *Scaphodinium*, *Noctiluca*, *Spatulodinium*, *Pronoctiluca*. Решта родів мали змішаний генезис, в основному це роди, види яких широко розповсюджені на території України і трапляються в усіх типах вод, особливо лиманів, через які потрапляють до морів. Це роди: *Amphidinium*, *Gonyaulax*, *Lingulodinium*, *Woloszynskia*, *Gymnodinium*, *Gyrodinium*, *Glenodiniopsis*, *Durinskia*, *Peridinium*, *Bysmatrum*, *Glenodinium*, *Peridiniella*, *Oblea*, *Cystodinium*, *Shpaerodinium*, *Biecheleria*, *Apocalathium*, *Naiadinium*, *Oxyrrhis*. Частина видів цих родів прісноводні, але вказані для північно-західної частини Чорного моря, куди вони можуть потрапляти зі стоком річок. Відкритим залишається питання, наскільки вони адаптувалися на сьогодні до чорноморських умов і чи мешкають у північно-західній частині моря. Тому необхідно продовжувати дослідження видового різноманіття динофлагелат у зонах контакту річки–море.

### Список літератури

- Bitjukov S.I. 1993. In: *Tutorial for universities*. Eds E.G. Atamalyan, E.R. Astvatsaturian, O.N. Bodryashova. Moscow: Vysshaya shkola. 176 p. [Битюков С.И. 1993. В кн.: *Учебное пособие для вузов*. Под ред. Э.Г. Атамалян, Е.Р. Аствацатурьян, О.Н. Бодряшова. М.: Высш. шк. 176 с.].
- Bryantseva Yu.V. 2020. Dinoflagellates of the Crimean Peninsula (Ukraine) and its Coastal Waters. *Int. J. Algae*. 22(4): 301–316. <https://10.1615/InterJAlgae.v22.i4.10>
- Bryantseva Yu.V. 2021. Peculiarities of seasonal succession of phytoplankton in the coastal zone of Crimea (Black Sea) in different climatic conditions (2009–2014). *Algologia*. 31(4): 365–380. [Брянцева Ю.В. 2021. Особливості сезонної сукцесії фітопланктону в прибережній зоні Криму (Чорне море) у різні за кліматичними умовами роки (2009–2014). *Альгологія*. 31(4): 365–380]. <https://doi.org/10.15407/alg31.04.365>
- Bryantsev V.A., Bryantseva Yu.V. 2010. Signs of the impact of global warming on the Black Sea ecosystem. *Ecol. bezopasnost' pribrezhnoy i shel'phovoy zov i kompleksnoe ispolzovaniye resursov shel'pha*. 22: 191–197. [Брянцев В.А., Брянцева Ю.В. 2010. Признаки влияния глобального потепления на экосистему Черного моря. *Экол. безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. 22: 191–197].
- Bryantseva Yu.V., Krakhmalnyi A.F., Velikova V.N., Sergeeva A.V. 2016. Checklist of Dinoflagellates in the Sevastopol coastal zone, Black Sea. *Int. J. Algae*. 18(1): 21–32. <https://10.1615/InterJAlgae.v18.i1.20>
- Gavrilova N.A. 2012. On findings of noctiluroid dinoflagellate *Scaphodinium mirabile* Margalef, 1963 in the northwestern Black Sea and the coastal waters of Crimea. *Mar. Ecol. J.* 21(2):

- 64–73. [Гаврилова Н.А. 2012. Об обнаружении ноктилюкоидной динофлагеллаты *Scaphodinium mirabile* Margalef, 1963 в северо-западной части Черного моря в прибрежных водах Крыма. *Мор. экол. журн.* 21(2): 64–73].
- Guiry M.D., Guiry G.M. 2022. *AlgaeBase*. World-wide electron. publ. Nat. Univ. Ireland, Galway.
- Kawai H., Nakayama T. 2015. In: *Syllabus of plant families. Adolf Engler's Syllabus der Pflanzenfamilien*. Ed. 13. Stuttgart: Borntraeger Sci. Publ. Pp. 11–64; 103–139.
- Krakhmalnyi A.F. 1995a. *Dinophyta* of continental water bodies of Ukraine. *Algologia*. 5(3): 263–269. [Крахмальний А.Ф. 1995а. *Dinophyta* континентальних водоемов України. *Альгологія*. 5(3): 263–269].
- Krakhmalnyi A.F. 1995b. Dinophyte algae – indicators of the ecological state of the reservoirs of the Shatsk National Park. In: *Problems of the formation and functioning of newly created reserves: Abstracts*. Grimailiv, 12–15 June 1995. Pp. 192–193. [Крахмальний А.Ф. 1995b. Динофитовые водоросли–индикаторы экологического состояния водоемов Шацкого национального парка. В кн.: *Проблеми становлення і функціонування новостворених заповідників: Тез. докл. Гримайлів (12–15 червня 1995 р.)*. С. 192–193].
- Krakhmalnyi A.F. 2013. In: *Materiales X All-Russian scientific and practical conferences* (Tobolsk, 25–26 Oct., 2013). Tobolsk. Pp. 135–137. [Крахмальний А.Ф. 2013. Новый для пресных водоемов СНГ вид динофлагеллят – *Woloszynskia limnetica* Bursa (*Dinoflagellata*). В кн.: *Материалы X Всероссийской научно-практической конференции* (Тобольск, 25–26 окт. 2013 г.). Тобольск. С. 136–137].
- Krakhmalnyi A.F. 2014. *Peridinopsis cunningtoni* Lemmerm. – the new species of dinoflagellates (*Dinoflagellata*) for the Black Sea. *Mor. Ecol. J.* 13(3): 43–46. [Крахмальний А.Ф. 2014. *Peridinopsis cunningtoni* Lemmerm. – новый вид динофлагеллят (*Dinoflagellata*) для Черного моря. *Мор. экол. журн.* 13(3): 43–46].
- Krakhmalnyi A.F. 2015. *Ceratium rhomboides* B.Hieckel – new species of dinoflagellates for the fresh bodes Ukraine (*Dinoflagellata*, *Dinophyta*): In: *Materials of XII All-Russian scientific and practical conferences*. Tobolsk. Pp. 41–43.
- Krakhmalnyi A.F. 2015. *Gymnodinium feofanium* Krakhm. sp. nov. (*Dinophyta*, *Dinoflagellata*). *Int. J. Algae*. 17(2): 143–148. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v17.i2.30>
- Krakhmalnyi O.F., Terenko G.V. 2019. *Chimonodinium lomnickii* (Wolosz.) Craveiro et all. (*Dinoflagellata*) – Agent of winter water "bloom" in the Odessa Bay (the Black Sea). *Hydrobiol. J.* 55(4): 55–62.
- Krakhmalnyi A., Bryantseva Yu., Velikova V. 2012. Black Sea *Dinoflagellata* (History of the research and current biodiversity). *Turkish J. Fisher. Aquat. Sci.* 12: 539–546.
- Krakhmalnyi A.F., Okolodkov Y.B., Bryantseva Yu.V., Sergeeva A.V., Velikova V.N., Derezyuk N.V., Terenko G.V., Kostenko A.G., Krakhmalnyi M.A. 2018. Revision of the dinoflagellate species composition of the Black. *Альгологія*. 28(4): 428–448. <https://doi.org/10.15407/alg28.04.428>
- Kubryakova E.A., Kubryakov A.A., Stanichny S.V. 2018. Impact of winter cooling on water vertical entrainment and intensity of phytoplankton bloom in the Black Sea. *Physical Oceanography*. 34(3): 206–222.
- Mikaelyan A.S., Kubryakov A.A., Silkin V.A., Pautova L.A., Chasovnikov V.K., 2018. Regional

- climate and patterns of phytoplankton annual succession in the open waters of the Black Sea. Deep Sea Research Part I. *Oceanographic Research Papers*. 142: 44–57.
- Moestrup Ø., Calado A.J. 2018. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Vol. 6. Berlin: Springer Spektrum.
- Radchenko V.G., Burda P.I., Pashkevich N.A., Konyakin S.M., Krakhmalnyi O.F., Gaponova L.P., Matyashuk R.K., Shupova T.V., Dubrovsky Yu.V. 2019. Theophany Garden Art Park is a center of biodiversity of the urban ecosystem Kyiv. *Ekol. Nauky*. 2(25): 138–146. [Радченко В.Г., Бурда Р.І., Пашкевич Н.А., Конякін С.М., Крахмальний О.Ф., Гапонова Л.П., Матяшук Р.К., Шупова Т.В., Дубровський Ю.В. 2019. Парк-пам'ятка садово-паркового мистецтва Феофанія – осередок біотичного різноманіття урбаноекосистеми Києва. *Екол. науки*. 2(25): 138–146].
- Serikova I., Tokarev Yu., Evstigneev V., Bryantseva Yu. 2017. *Sensitivity of the Black sea bioluminescence field structure to sea surface temperature anomalies*: Abstr. 7<sup>th</sup> Int. Symp. ecologists Montenegro (Sutomore, Montenegro, 4–7 Oct., 2017). Sutomore, Montenegro. P. 151.
- Serikova I.M., Bryantseva Yu.V., Tokarev Yu.N., Stanichniy S.V., Vasilenko V.I. 2016. Response of Phytoplankton of the Sevastopol Coastal zone to Climate Peculiarities of the years 2009–2012. *Hydrobiol. J.* 52(1): 39–48.
- Serikova I.M., Bryantseva Yu.V., Evstigneev, Piontkovsky S.A., Zhuk V.F., Georgieva E.Yu., Minsky I.A. 2021. In: *International scientific conference dedicated to the 150th anniversary of the Sevastopol Biological Station*: Abstracts. Sevastopol. Pp. 319–320. [Серикова И.М., Брянцева Ю.В., Евстигнеев В.П., Пионтковский С.А., Жук В.Ф., Георгиева Е.Ю., Минский И.А. 2021. Влияние холодных зим на сезонную сукцессию фитопланктона и структуру поля биолуминесценции в шельфовой зоне в районе Севастополя. В кн.: *Международная научная конференция, посвящённая 150-летию Севастопольской биологической станции: Тез. докл.* Севастополь. С. 319–320].
- Terenko L.M. 2005. *The dinoflagellates of the north-western part of the Black Sea: diversity and ecology*. Appendix A of the Diss. Cand. Biol. Sci. Sevastopol. Pp. 191–197. Теренко Л.М. 2005. *Динофлагелляты прибрежья северо-западной части Черного моря: разнообразие и экология*. Приложение А дис. канд. биол. наук. Севастополь. С. 191–197].
- Terenko L.M. 2011. Genus *Dinophysis* Ehrenb. (*Dinophyta*) in the Ukrainian coastal waters of the Black Sea: species composition, distribution, dynamics. *Algologia*. 21(3): 346–357. [Теренко Л.М. 2011. Род *Dinophysis* Ehrenb. (*Dinophyta*) в украинских прибрежных водах Черного моря: видовой состав, распределение, динамика. *Альгология*. 21(3): 346–357].
- Terenko G.V. 2019. In: *Advances in Modern Phycology*: Abstr. IV Int. Conf. Pp. 110–111.
- Terenko G.V., Krakhmalnyi A.F. 2019. In: *Achievements in studies of marginal effect in water ecosystems and their practical significance*: Abstr. Int. sci. conf. (Odesa, June 13–14, 2019). Odesa. P. 57.
- West G.S., Fritsch F.E. 1927. *A treatise on the British freshwater algae*. New and revised ed. 23. Cambridge: Univ. Press. Pp. 1–534.

Підписав до друку П.М. Царенко

Bryantseva Yu.V. 2022. **Current information on the diversity of dinoflagellates of Ukraine.** *Algologia*. 32(1): 53–67.

M.G. Kholodny Institute of Botany NAS of Ukraine,  
2 Tereschenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

Present current information on the diversity of *Dinoflagellata* in Ukraine. The study of the species composition of microalgae in modern climate change remains relevant. *Dinoflagellates*, especially luminous species, are sensitive to anomalies in the warm Black Sea and can serve as a convenient indicator of the state of aquatic ecosystems due to the rapid response to external influences. The use of electron microscopy, as well as molecular genetic research methods over the past 10 years have made it possible to observe significant changes in the taxonomic system of the *Miozoa* division of the superclass *Dinoflagellata*. Based on the analysis of 204 literature sources and revision of the taxonomic composition of dinoflagellates of Ukraine, according to the international database AlgaeBase, it is established that the current list of *Dinoflagellates* of Ukraine includes 370 species (397 wats), belonging to 3 classes, 14 orders, 45 families and 98 genera. The number of species found in Ukraine is an order of magnitude lower than that currently known for *Miozoa* in the world (3636), and their distribution by order almost coincides and is very uneven: 3 orders include 63% of currently known species and 71% found in Ukraine. The most diverse in Ukraine are the orders *Peridinales* (121 species, 32.4%), *Gymnodinales* (82, 22%) and *Gonyaulacales* (61, 16.4%). Analysis of the distribution of dinoflagellates in the territorial waters of Ukraine by main algae-floristic areas confirmed that most of them live in marine waters (273, 55%), which is twice as large as terrestrial (128, 26%) and a significant proportion occurs in estuaries – 92, 19%). Among the species found on land, the largest number is attributed to the Dnieper–Black Sea (108 taxa) and Carpathian-Danube algae sub-provinces (71) due to the fact that they include contact zones of the main rivers of Ukraine and the Black Sea–Azov waters. Over the last decade, the species composition of dinoflagellates of Ukraine and their taxonomy have undergone significant changes. The number of species, orders and genera has increased, but as a result of the fact that some species have been renamed, the actual number of new species and WWT has increased by 85 units and one species has been described as new to science. But the species diversity of some dinoflagellates regions of Ukraine remains insufficiently studied, and some of them require additional research.

**K e y w o r d s:** dinoflagellates, species structure, ecotopes of Ukraine, diversity

## Видовий склад водоростей солоних приморських водойм Приазовського національного природного парку

Брен О.Г., Солоненко А.М., Подорожний С.М.

Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького,  
кафедра ботаніки і садово-паркового господарства,  
вул. Гетьманська, 20, Мелітополь 72312, Запорізька обл., Україна  
oscillat8@gmail.com

Надійшла до редакції 10.01.2022. Після доопрацювання 19.02. 2022. Підписана до друку 20.02.2022.  
Опублікована 22.03.2022

**Реферат.** Стаття присвячена дослідженням видового складу та таксономічної структури водоростей солоних приморських водойм Приазовського національного природного парку (ПНПП). Встановлено, що видовий склад водоростей досліджуваних водойм на сьогодні налічує 153 види, які представляють 7 відділів, 11 класів, 32 порядки, 61 родину, 92 роди. Найвищим видовим багатством на рівні відділів вирізняються *Cyanoprokaryota* (43,8% загальної кількості видів), *Bacillariophyta* (32,0%) та *Chlorophyta* (20,9%). Ці відділи об'єднують 148 видів і складають основу видового багатства досліджених водойм. Провідними порядками у досліджених водоймах є *Oscillatoriales* та *Synechococcales* (23 та 20 видів відповідно). Найбільшою різноманітністю видів представлені родини: *Oscillatoriaceae* (13 видів), *Nostocaceae*, *Leptolyngbyaceae*, *Naviculaceae* (по 8), *Microcoleaceae*, *Bacillariaceae* (по 7). Провідними родами відзначено: *Leptolyngbya* (6 видів), *Lyngbya*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Nitzschia* (по 5 видів кожний), *Calothrix*, *Kamptonema*, *Cocconeis*, *Navicula* (по 4). Найвищу частоту трапляння серед виявлених видів мають діатомеї, ціанопрокаріоти та зелені водорості: *Halamphora coffeiformis* (5,26%), *Lyngbya aestuarii* (4,21%), *Cladophora siwaschensis* (3,51%), *Hantzschia amphioxys* (3,3%), *Nodularia harveyana* (2,98%). Проведені дослідження показали, що видовий склад водоростей солоних приморських водойм ПНПП є досить збідненим у порівнянні з парціальною ґрунтовою альгофлорою, а також видовим списком водоростей прісноводних водойм України та морів, що омивають її територію. Особливості таксономічного складу солоних прибережних водойм виявляються в співіснуванні організмів прісних, морських і наземних біотопів.

**Ключові слова:** водорості, солоні водойми, Приазовський національний природний парк, Північно-Західне Приазов'я

## Вступ

Значна частина заповідних територій Північно-Західного Приазов'я розташована в межах Приазовського національного природного парку (ПНПП). Природні комплекси парку характеризуються наявністю узбережжя Азовського моря, піщаних кіс і прибережних водойм (заток, лиманів різного типу та численних ефемерних водойм) (Barabokha et al., 2012). Водорості є невід'ємною частиною різноманітних наземних і водних екосистем, у тому числі солоних прибережних водойм досліджуваної території. Ці організми є продуцентами органічної речовини, відіграють важливу роль у газообміні, беруть участь у формуванні органічних відкладень і родовищ корисних копалин. Крім того, водорості є надійними індикаторами екологічного стану різних природних об'єктів і перспективні в біотехнологічному використанні.

Перші дослідження водоростей водойм північно-західного узбережжя Азовського моря здійснені К.С. Мережковським. У наявній літературі є лише посилання на джерело без списку виявлених видів (Merezhkovsky, 1902; Proshkina-Lavrenko, 1963). За результатами наукової експедиції 1904 р., а також за матеріалами В.М. Генералової для Утлюцького лиману наводиться 19 видів водоростей (Volkov, 1927; Generalova, 1951). Дослідження планктонних діатомей акваторії Азовського моря та його заток і лиманів були здійснені в 1936–1939 рр. та 1954–1956 рр. (Proshkina-Lavrenko, 1963).

Сучасні дослідження Утлюцького лиману пов'язані з вивченням водоростей-макрофітів (Gromov, 2012) та мікроводоростей піщаної літоралі (Garkusha, 2016).

В середині ХХ ст. альгологічні дослідження були проведені в Молочному лимані (Proshkina-Lavrenko, 1950, 1951). В результаті у фітопланктоні виявлено 63 види і 3 ввт водоростей (Ivanov, 1960), а в фітобентосі – 100 видів (Vladimirova, 1960). Однак у цих публікаціях наведені назви лише видів-домінантів та деяких супутніх організмів. Більш детальні відомості про домінуючий комплекс водойми представлені в публікаціях Л.П. Приходькової (Prikhodkova, 1969, 1992).

Наприкінці ХХ – початку ХХІ ст. вивченням водоростей Північно-Західного Приазов'я займалися дослідники мелітопольської альгологічної школи, які в основному приділяли увагу солончакам, ефемерним водоймам, а також пелюдогенезису та участі в цьому процесі водоростей (Solonenko, 1999, 2013, 2014, 2015; Solonenko et al., 2004, 2005, 2006a, b, 2008, 2009a, b, 2010, 2011, 2014, 2020; Maltseva, 2000, 2002, 2004; Maltseva et al., 2019; Yarovy et al., 2007, 2013, 2014, 2016, 2017; Yarovoy, 2007, 2009; Yarova et al., 2008, 2012; Arabadzhi, 2016a, b; Arabadzhi et al., 2016, 2017, 2019; Bren et al., 2009, 2019).

Так, у верхів'ї Утлюцького лиману та в лимані Сивашик виявлено 65 і 37 видів ціанопротистів відповідно (Arabadzhi, 2016a, b; Arabadzhi et al., 2019). Для солончаків та ефемерних водойм Федотової коси наводяться 72 види водоростей (Solonenko et al., 2006a; Arabadzhi-Tipenko et al., 2019), для Степанівської коси – 62 (Solonenko et al., 2006a, 2009b; Solonenko, 2015), для Бердянської коси – 79 (Yarova et al., 2008; Solonenko, 2015; Arabadzhi, 2016a), в межах урочища Тубальський лиман – 127 видів водоростей (Maltseva, 2000, 2002, 2004; Solonenko et al., 2008; Solonenko, 2015; Arabadzhi, 2016a; Arabadzhi et al., 2016, 2017).

Результати досліджень водоростей Бердянської затоки описані в статті В.В. Громова, в якій представлено список з 14 видів (Gromov, 2012).

Таким чином, альгологічні дослідження лиманів Північно-Західного Приазов'я проводилися переважно в середині ХХ ст. На сьогодні дослідженнями охоплені ефемерні водойми та солончаки приморських кіс. Затоки Азовського моря залишаються найменш вивченими. З огляду на певні зміни гідрологічного режиму солоних приморських водойм ПНПП (віддамбування Утлюцького лиману, зміління малих річок регіону, перепади солоності та пересихання Молочного лиману та ін.) виникла потреба в отриманні даних про видовий склад та систематичну структуру водоростей за теперішніх умов, що й стало темою нашого дослідження.

## Матеріали та методи

Дослідження водоростей водойм на території ПНПП проводилися впродовж 2010–2019 рр. на десяти полігонах (рис. 1), розташованих в Запорізькій обл. в межах Дніпровсько-Азовського геоботанічного району (Didukh, Shelyah-Sosonko, 2003). За альгофлористичним районуванням територія належить до Європейського альгофлористичного регіону, Східноєвропейської альгофлористичної провінції, Чорноморсько-Азовського району (Palamar-Mordvintseva, Tsarenko, 2015).

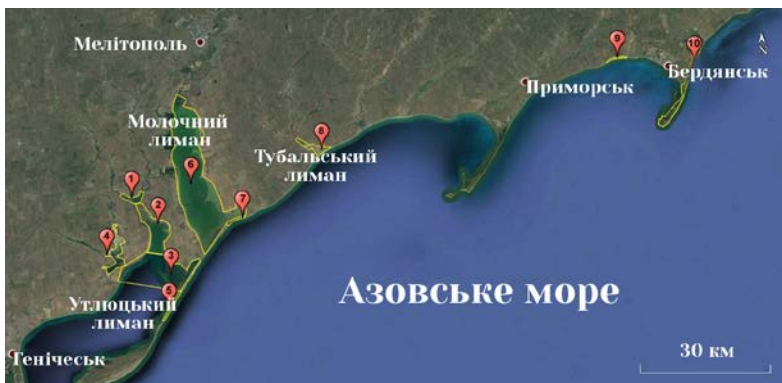


Рис. 1. Карта району дослідження водоростей водойм на території ПНПП. Межі полігонів позначені жовтим кольором, полігони 1–10 – червоним

Проби відбирали за методами, прийнятими в гідробіології та ґрунтовій альгології (Hollerbakh, Shtina, 1969; Abakumov, 1983; Torachevskiy, Masyuk, 1984). Всього було зібрано та оброблено 148 проб, з яких в ефемерних водоймах – 66, у лиманах лагунного та озерного типів – 46 та 26 відповідно, в затоках – 10.

Культуральну обробку та ідентифікацію водоростей проводили в лабораторії альгоекологічних досліджень наземних та водних екосистем на кафедрі ботаніки та садово-паркового господарства Мелітопольського державного педуніверситету імені Богдана Хмельницького. Водорості досліджували методами прямої мікроскопії та культуральними методами (ґрунтові, ґрунтово-водні та агарові культури). Під час культивування використовували середовище Болда з одинарним і потрійним вмістом азоту (1N BBM і 3N BBM) з додаванням і без додавання водної витяжки з досліджуваного ґрунту (Hollerbakh, Shtina, 1969; Abakumov, 1983; Torachevskiy, Masyuk, 1984).

Водорості визначали переважно в живому стані. Ідентифікацію представників *Bacillariophyta* додатково проводили в постійних препаратах (Torachevskiy, Masyuk, 1984) з використанням літературних джерел: Zabelina et al., 1954; Dedusenko-Shchegoleva, Hollerbakh, 1962; Huber-Pestalozzi G., 1962; Ettl, 1978, 1988; Matvienko, Dogadina, 1978; Vinogradova et al., 1980; Kondratieva, 1984; Krammer K., Lange-Bertalot, 1986, 1988, 1991, 2004; Moshkova, Hollerbach, 1986; Tsarenko, 1990; Andreieva, 1998; Komárek, Anagnostidis, 1998, 2005; Komárek, 2013).

Назви класів, порядків, родин, родів і видів подано за системою, прийнятою в монографії І.Ю. Костікова та ін. (Kostikov et al., 2001) з доповненнями згідно до *Algae of Ukraine* (2006, 2009, 2011, 2014), з урахуванням сучасних номенклатурних змін ([www.algaebase.org](http://www.algaebase.org)).

Міру схожості флористичних списків визначали за допомогою коефіцієнта Соренсена-Чекановського (Shmidt, 1984), кластерний аналіз та побудову дендритів флористичної спільності здійснювали у програмі Statistica 10 (правило об'єднання – метод одиничного зв'язку, міра близькості – Евклідова відстань).

## Результати та обговорення

Всього під час досліджень солоних приморських водойм ПНПП виявлено 153 види водоростей (Yarova et al., 2012; Yarovy et al., 2014; Arabadzhi et al., 2016; Arabadzhi-Tipenko et al., 2019; Solonenko, Bren, 2020). Дані види представляли сім відділів: *Cyanoprokaryota* – 67 видів (43,8% загальної кількості), *Bacillariophyta* – 49 (32,0%), *Chlorophyta* – 30 (19,5%), *Rhodophyta* – 3 (1,9%), *Charophyta* – 2 (1,4%), *Xanthophyta* та *Cryptophyta* – по 1 (0,7%). Види належать до 11 класів, 32 порядків, 61 родини, 92 родів (табл. 1).

Таблиця 1. Систематична структура водоростей солоних приморських водойм ПНПП

Відділ	Кількість таксонів				
	Клас	Порядок	Родина	Рід	Вид*
<i>Cyanoprokaryota</i>	1	5	19	34	67 (43,8)
<i>Bacillariophyta</i>	3	12	20	29	49 (32,0)
<i>Chlorophyta</i>	3	10	16	22	30 (19,5)
<i>Rhodophyta</i>	1	1	2	3	3 (1,9)
<i>Charophyta</i>	1	2	2	2	2 (1,4)
<i>Cryptophyta</i>	1	1	1	1	1 (0,7)
<i>Xanthophyta</i>	1	1	1	1	1 (0,7)
Всього	11	32	61	92	153 (100)

\* У дужках – частка (%) від загальної кількості знайдених видів.

Унікальність флори водоростей на рівні відділів полягає у відсутності суто прісноводних та деяких типових морських груп організмів. Нами не виявлено представників *Euglenophyta*, поширених у прісних стоячих і проточних водах, *Haptophyta* та *Phaeophyta*, які є невід'ємною частиною морських екосистем. Не виявлені також представники відділів, типових для морських місцезростань: *Dinophyta*, *Raphidophyta*, *Dictyochophyta*, *Eustigmatophyta*. Представники *Cryptophyta* (типіві для солоних і прісних оліготрофних водойм) і *Xanthophyta* (грунтові, морські та прісноводні водорості) у досліджуваних водоймах були представлені лише одним видом кожний: *Cryptomonas* cf. *ovata* Ehrenb. та *Heterococcus akinetus* Lokhorst відповідно.

Таким чином, флора водоростей досліджених водойм за таксономічним складом є досить збідненою, з найбільшою різноманітністю ціанопрокаріот, діатомових і зелених водоростей.

Особливості флористичного спектру відзначаються також на рівні порядків (табл. 2). До списку провідних входять дев'ять порядків, представлених 134 видами (87,5% загальної кількості виявлених видів). Перше і друге місця посідають *Oscillatoriales* і *Synechococcales* (23 і 20 видів відповідно) – типові організми сталих й ефемерних водойм, обводнених ґрунтів (у т.ч. засолених). Третє й четверте належить порядкам *Nostocales* (13) і *Naviculales* (12 видів).

Порядок *Naviculales* є важливою складовою флори водоростей водойм різного типу – від прісних до гіпергалінних, а представники *Nostocales* часто входять до альгоугруповань наземних і прибережних водних комплексів (Торачевський, Мазука, 1984; Kostikov et al., 2001; Vinogradova, 2006, 2012; Komárek, 2013; Solonenko, 2015). Так, перші чотири провідні порядки об'єднують 44,4% водоростей досліджуваних солоних прибережних водойм, решта відносяться до *Bacillariophyta* та *Chlorophyta*.

Таблиця 2. Провідні порядки водоростей солоних приморських водойм ПНПП

Місце	Порядок	Кількість видів
1	<i>Oscillatoriales</i>	23
2	<i>Synechococcales</i>	20
3	<i>Nostocales</i>	13
4	<i>Naviculales</i>	12
5	<i>Chroococcales, Sphaeropleales, Scenedesmales</i>	по 8
7	<i>Bacillariales, Fragilariales</i>	по 7
8	<i>Cladophorales, Chlorellales, Achmanthales</i>	по 6
9	<i>Surirellales, Cocconeidales</i>	по 5
Всього видів		134

Специфіка флори на таксономічному рівні полягає в наявності серед провідних порядків *Chlorellales*, *Mischococcales* та *Chlamydomonadales*, які є провідними у парціальних альгофлорах ґрунтів (останній також у континентальних водоймах) різних фізико-географічних зон України (Kostikov et al., 2001; Algae of Ukraine..., 2006; 2009; 2011; 2014). Таким чином, представники відділів *Cyanopokaryota* та *Bacillariophyta* займають важливе місце серед провідних порядків. Порядки з *Chlorophyta* мають найбільшу кількість видів – 48 (35,8%). Перше місце займають *Cyanopokaryota* – 44 види (32,8%). Меншою кількістю представлені *Bacillariophyta* – 42 види (31,3%). Загалом на рівні порядків переважають типові таксони для солоних водних біотопів, з часткою ґрунтових і морських.

Такі особливості досліджуваної флори найкраще помітні на рівні родин. До провідних увійшли 18 родин, які об'єднують 97 видів водоростей. Їхню основу складають представники *Oscillatoriaceae* – 13 видів, *Nostocaceae*, *Leptolyngbyaceae* та *Naviculaceae* – по 8, *Microcoleaceae*, *Bacillariaceae* – по 7 (табл. 3).

Таблиця 3. Провідні родини водоростей солоних прибережних водойм ПНПП

Місце	Родина	Кількість видів	Частка загальної кількості видів, %
1	<i>Oscillatoriaceae</i>	13	8,5
2	<i>Nostocaceae, Leptolyngbyaceae, Naviculaceae</i>	по 8	по 5,2
3	<i>Microcoleaceae, Bacillariaceae</i>	по 7	по 4,6
4	<i>Cladophoraceae</i>	6	3,9
5	<i>Fragilariaceae</i>	5	3,3

6	<i>Scenedesmaceae, Cocconeidaceae, Surirellaceae, Ulvaceae, Rivulariaceae</i>	по 4	по 2,6
7	<i>Spirulinaceae, Merismopediaceae, Pseudanabaenaceae, Chlorellaceae, Stichococcaceae</i>	по 3	по 2,0
Всього видів у провідних родинях		97	63,4
Всього видів		153	–

Ці родини є провідними в ґрунтах степової зони України і трапляються в субстратах різного засолення (Solonenko, 1999, 2015; Maltseva, 2000, 2002, 2004; Kostikov et al., 2001; Solonenko et al., 2004, 2005, 2006a, b, 2008, 2009a, b, 2010, 2011, 2020; Yarovoy, 2007, 2009; Yarovy et al., 2007, 2013, 2014, 2016, 2017; Yarova et al., 2008, 2012; Arabadzhi, 2016a, b; Arabadzhi et al., 2016, 2017, 2019; Bren et al., 2009, 2019; Maltseva et al., 2019).

У нашому дослідженні встановлено 28 провідних родів, їхню основу складають ціанопрокаріоти та діатомові водорості. Дещо менша кількість видів належить до родів відділу *Chlorophyta* (табл. 4).

Таблиця 4. Провідні роди водоростей солоних приморських водойм ПНПП

Місце	Роди	Кількість видів
1	<i>Leptolyngbya</i>	6
2	<i>Lyngbya, Nostoc, Phormidium, Nitzschia</i>	по 5
3	<i>Calothrix, Kamptonema, Cocconeis, Navicula</i>	по 4
4	<i>Pseudanabaena, Spirulina, Fragilaria, Gyrosigma, Surirella, Cladophora, Stichococcus</i>	по 3
5	<i>Chroococcus, Trichormus, Oscillatoria, Merismopedia, Jaaginema, Schizothrix, Halamphora, Luticola, Amphora, Desmodesmus, Ulva, Chaetomorpha</i>	по 2

З аналізу провідних родів видно, що флору досліджуваних водойм формують представники водоростей різних біотопів. Роди *Nitzschia, Cocconeis, Navicula, Spirulina* представлені переважно водними видами. До інших родів у списку провідних належать амфібіальні (наприклад, *Leptolyngbya, Phormidium, Lyngbya*). Види родів *Cladophora, Ulva, Chaetomorpha* характерні для морських екосистем, проте вони в списку провідних представлені невеликою кількістю. Рід *Nostoc* поділяє друге місце з родами *Phormidium* і *Nitzschia* (по п'ять видів у кожному) і включає як наземні, так і амфібіальні види.

Розподіл представників різних відділів водоростей демонструє найвище видове різноманіття в ложах пересохлих водойм (114 видів), де

основу складають ціанопрокаріоти, діатомеї та зелені водорості (57, 35 та 20 видів відповідно). Відділи *Rhodophyta* та *Xanthophyta* представлені одиничними видами (*Vertebrata subulifera* та *Heterococcus akinetus*), а представники відділу *Cryptophyta* відсутні (табл. 5).

Таблиця 5. Розподіл представників різних відділів водоростей, виявлених у солоних приморських водоймах різного типу на території ПНПП\*

Відділ	Затока	Лиман лагунного типу	Лиман озерного типу	Ефемерна водойма	Ложе пересохлих водойм
<i>Cyanoprokaryota</i>	6 (15,8)	10 (33,3)	18 (35,3)	28 (46,7)	57 (50)
<i>Bacillariophyta</i>	22 (57,9)	7 (23,3)	21 (41,2)	22 (36,6)	35 (30,7)
<i>Chlorophyta</i>	8 (21,0)	11 (36,7)	12 (23,5)	8 (13,3)	20 (17,5)
<i>Rhodophyta</i>	2 (5,3)	2 (6,7)	0 (0)	1 (1,7)	1 (0,9)
<i>Cryptophyta</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (1,7)	0 (0)
<i>Xanthophyta</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (0,9)
Всього	38 (100)	30 (100)	51 (100)	60 (100)	114 (100)

\* У дужках – частка (%) загальної кількості видів.

Друге та третє місця за видовим багатством посідають ефемерні водойми та лимани озерного типу (60 та 51 вид відповідно). В ефемерних водоймах, як і в ложах пересохлих водойм, переважають *Cyanoprokaryota*, *Bacillariophyta* та *Chlorophyta* (28, 22, 8 видів відповідно). В цих же водоймах представники відділів *Rhodophyta* та *Cryptophyta* мають лише по одному виду (*Polysiphonia opaca* та *Cryptomonas cf. ovata*) (табл. 5).

У лиманах озерного типу простежується схожа ситуація з домінуючими відділами, але найбільшою кількістю видів представлений не *Cyanoprokaryota*, а *Bacillariophyta*. *Chlorophyta* залишився останнім в трійці переважаючих відділів (21, 18 та 12 видів). Видів, які входять до інших відділів, у лиманах озерного типу не виявлено (див. табл. 5).

У затоках і лиманах лагунного типу виявлена найменша кількість видів – 38 та 30 відповідно. Однак пропорції провідних відділів тут змінюються. В затоках відмічається відносно мала частка видів ціанопрокаріот (6 видів – 15,8% загальної кількості видів) та значне збільшення представників *Bacillariophyta* (22, 57,9%). Зелені водорості посідають друге місце (8, 21,0%). Серед інших відділів відмічено лише червоні водорості (*Ceramium diaphanum* та *Vertebrata subulifera*). Водоростевий планктон представлений 23 видами, бентос – 15, по урізу води зареєстровано 16 видів.

У лиманах лагунного типу ситуація залишається незмінною – за

кількістю видів переважають зелені водорості, ціанопрокаріоти та діатомеї (11, 10 та 7 видів відповідно) (див. табл. 5).

Найвищі значення коефіцієнта флористичної спільності Соренсена-Чекановського відмічені при попарному порівнянні видів, виявлених у затоках та лиманах лагунного типу ( $K = 0,41$ ), а також в ефемерних водоймах та ложах пересохлих водойм. Дещо менші значення коефіцієнта відмічені між видовим складом водоростей лиманів озерного типу та лож пересохлих водойм ( $K = 0,39$ ), а також ефемерних водойм попарно з лиманами лагунного та озерного типів ( $K = 0,38$ ). Попарні порівняння видового складу інших солоних приморських водойм мають нижчі значення коефіцієнта (0,22–0,35) (табл. 6).

Таблиця 6. Матриця флористичної спільності видового різноманіття водоростей солоних приморських водойм різного типу ПНПП

	Затока	Лиман лагунного типу	Лиман озерного типу	Ефемерна водойма	Ложе пересохлих водойм
Затока	1	0,41	0,29	0,35	0,32
Лиман лагунного типу		1	0,22	0,38	0,28
Лиман озерного типу			1	0,38	0,39
Ефемерна водойма				1	0,41
Ложе пересохлих водойм					1

На дендрограмі флористичної спільності видового різноманіття водоростей солоних приморських водойм різного типу ПНПП видно виокремлення двох кластерів (рис. 2). До першого увійшли затоки та лимани лагунного типу, до другого – лимани озерного типу, ефемерні водойми та ложа пересохлих водойм. Два останні згрупувалися на відстані 0,012, а їх відстань зв'язку по відношенню до виокремлених у цьому кластері лиманів озерного типу становить 0,024. Таке об'єднання можна пояснити схожими умовами існування живих організмів в затоках та лиманах лагунного типу, де наявні відносно постійний гідрологічний режим та малозмінна солоність вод завдяки з'єднанню з морською акваторією. Ефемерні водойми та ложа пересохлих водойм також набувають схожих умов у результаті своєї ізольованості, результатом чого

є висока солоність та несталий гідрологічний режим. Лимани озерного типу з цих самих причин увійшли до другого кластеру. Однак цей тип водойм є більш сталим у порівнянні, наприклад, з ефемерними водоймами. Це відображається на видовому складі водоростей.

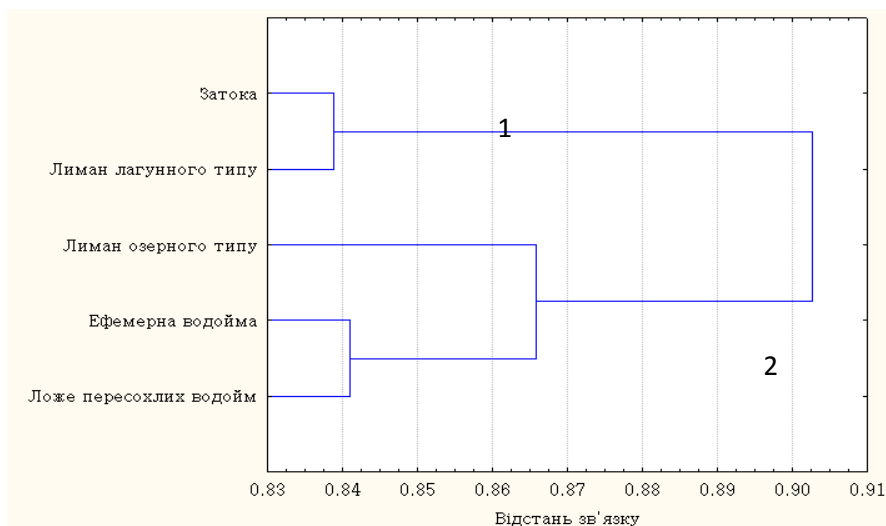


Рис. 2. Дендрограма флористичної спільності видового різноманіття водоростей солоних приморських водойм різного типу території ПНПП

Таким чином, за розподілом у досліджуваних водоймах найбільшою кількістю видів представлені три відділи водоростей: *Cyanoprokaryota*, *Bacillariophyta* та *Chlorophyta*. У взаємооберненому ланцюзі перетворень водойм від лож пересохлих водойм (крайня ступінь пересихання та засолення водних об'єктів) до заток ( водойми з відносно постійним гідрологічним та сольовим режимом) спостерігається зменшення видового багатства на рівні всіх відділів, а пропорції між провідними відділами змінюються від абсолютного переважання ціанопрокаріот (50% кількості виявлених видів водоростей в ложах пересохлих водойм) до заміщення їх діатомеями (від 30,7 до 57,9%) з підвищенням пропорційної частки зелених водоростей (від 17,5 до 36,7%).

До п'ятірки видів з найбільшою частотою трапляння у досліджуваних водоймах увійшли: *Halamphora coffeiformis* (частка трапляння від загальної кількості виявлень – 5,26%), *Lyngbya aestuarii* (4,21%), *Cladophora siwaschensis* (3,51%), *Hantzschia amphioxys* (3,33%) та *Nodularia harveyana* (2,98%).

Таким чином, особливість видового складу водоростей солоних прибережних водойм території ПНПП полягає в збідненні кількості видів та надвидових таксонів порівняно з наземними, прісноводними та морськими біотопами України. Таксономічний спектр демонструє

специфічне поєднання прісноводних, морських і наземних організмів з переважанням ціанопрокаріот, діатомей та значної частки зелених водоростей на всіх таксономічних рівнях.

### Висновки

1. Видовий склад водоростей солоних прибережних водойм ПНПП за сучасних умов представлений 153 видами, які належать до 7 відділів, 11 класів, 32 порядків, 61 родини та 92 родів.
2. За видовим багатством переважають *Cyanoprokaryota* (67 видів, 43,8% загальної кількості виявлених видів), *Bacillariophyta* (49, 32,0%), *Chlorophyta* (32, 20,9%). Подібне переважання представників цих відділів спостерігається на всіх таксономічних рівнях.
3. Найвищу частоту трапляння серед виявлених видів мають *Halamphora coffeiformis* (5,26% загальної кількості), *Lyngbya aestuarii* (4,21%), *Cladophora siwaschensis* (3,51%), *Hantzschia amphioxys* (3,33%), *Nodularia harveyana* (2,98%).
4. Провідними порядками водоростей у досліджених водоймах були *Oscillatoriales* та *Synechococcales* (23 та 20 видів відповідно). Перші місця серед провідних родин посідали *Oscillatoriaceae* (13 видів), *Nostocaceae*, *Leptolyngbyaceae*, *Naviculaceae* (по 8), *Microcoleaceae* та *Bacillariaceae* (по 7). Найбільш різноманітно представлені роди *Leptolyngbya* (6 видів), *Lyngbya*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Nitzschia* (5), *Calothrix*, *Kamptonema*, *Cocconeis* та *Navicula* (4).
5. Виявлений видовий склад водоростей солоних приморських водойм ПНПП є досить збіднілим у порівнянні з парціальною ґрунтовою альгофлорою та водоростевим населенням прісних водойм і морів, що омивають територію України. Особливості таксономічного складу солоних приморських водойм проявляються у співіснуванні організмів прісних, морських і наземних місцезростань.
6. Найвище видове різноманіття водоростей виявлено в ложах пересохлих водойм (114 видів). Друге та третє місця за видовим багатством посідають ефемерні водойми та лимани озерного типу (60 та 51 вид відповідно). Основу складають ціанопрокаріоти, діатомей та зелені водорості. В затоках та лиманах лагунного типу виявлено 38 та 30 видів відповідно, перше місце за кількістю видів посідають в цих водоймах представники відділу *Chlorophyta*.
7. Значення коефіцієнтів Соренсена-Чекановського та дендрограма флористичної спільності видового різноманіття водоростей солоних приморських водойм території ПНПП демонструють виокремлення двох

кластерів. До першого увійшли затоки та лимани лагунного типу ( $K = 0,41$ ), до другого – лимани озерного типу, ефемерні водойми та ложа пересохлих водойм. Основними причинами такого згрупування можуть бути особливості гідрологічного режиму та солоність водойм.

## Список літератури

- Abakumov V.A. 1983. *Guidelines for methods of hydrobiological analysis of surface waters and bottom sediments*. Leningrad: Gidrometeoizdat. 240 p. [Абакумов В.А. 1983. *Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений*. Л.: Гидрометеоздат. 240 с.].
- Andreieva V.M. 1998. *Soil and aerophilic green algae (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)*. SPb.: Nauka. 351 p. [Андреева В.М. 1998. *Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales)*. СПб.: Наука. 351 с.].
- Arabadzhi L.I. 2016a. Diversity of cyanoprokaryotes in several water bodies of the Pryazov National Natural Park. *Biological research*. Pp. 82–84. [Арабаджи Л.І. 2016а. Різноманіття ціанопрокаріот в деяких водоймах Приазовського національного природного парку. *Біологічні дослідження*. С. 82–84].
- Arabadzhi L.I. 2016b. For the study of Cyanoprokaryota saline soils in the Pryazov National Natural Park. In: *Fundamental and applied research in biology and ecology: mater. IV Intern. scientific conf.* Pp. 22–24. [Арабаджи Л.І. 2016b. До вивчення Суанопрокаріота засоленних ґрунтів Приазовського національного природного парку. В кн.: *Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии: матер. IV Междунар. науч. конф.* С. 22–24].
- Arabadzhi-Tipenko L.I., Solonenko A.N., Bren A.G. 2019a. Cyanoprokaryota of the salt marshes of the Pryazov National Natural Park, Ukraine. *Algologia*. 29(4): 447–477. [Арабаджи-Типенко Л.І., Солоненко А.Н., Брен А.Г. 2019а. Суанопрокаріота солончаков Приазовського національного природного парку, Україна. *Альгологія*. 29(4): 447–477]. <https://doi.org/10.15407/alg29.04.463>
- Arabadzhi-Tipenko L.I., Solonenko A.M., Bren A.G. 2019b. Cyanoprokaryota of the Salt Marshes at the Pryazov National Natural Park, Ukraine. *Int. J. Algae*. 21(4): 299–310. [79](https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v21.i4.10Arabadzhi L.I., Solonenko A.M., Bren O.G., Holubev M.I. 2016. Cyanoprokaryota of Tubalskyi Estuary (Azov sea basin). <i>Biol. Bull. Melitopol State Pedagog. Univ.</i> 3(6): 414–418.</a></p>
<p>Arabadzhi L.I., Solonenko A.M., Yaroviy S.O., Bren O.G., Maltsev E.I. 2017. Diversity of Cyanoprokaryota of the sand coastal soils of the Priazov National Natural Park. In: <i>Materials of the 14th Congress of the Ukrainian Botanical Association</i>. Kyiv. 82 p. [Арабаджи Л.І., Солоненко А.М., Яровий С.О., Брен О.Г., Мальцев Є.І. 2017. Різноманіття Суанопрокаріота піщаних наливних ґрунтів Приазовського національного природного парку. В кн.: <i>Матеріали XIV з'їзду Українського ботанічного товариства</i>. Київ. 82 с.].</p>
</div>
<div data-bbox=)

- Barabokha N.M., Barabokha O.P., Bren O.G., Vovk O.A., Golod G.V., Demchenko V.O., Dyadicheva O.A., Suchkov S.I., Yarova T.A., Yarovy S.O., Antonovsky O.G., Mykutynets G.I. 2012. *Chronicle of Nature of the Pryazov National Natural Park*. Vol. I. Melitopol: Azov National Nature Park. 761 p. [Барабоха Н.М., Барабоха О.П., Брен О.Г., Вовк О.А., Голод Г.В., Демченко В.О., Дядічева О.А., Сучков С.І., Ярова Т.А., Яровий С.О., Антоновський О.Г., Микитинець Г.І. 2012. *Літопис природи Приазовського національного природного парку*. Т. I. Мелітополь: Приазовський національний природний парк. 761 с.].
- Bren O.G., Solonenko A.M. 2019. Algae of salt reservoirs on the Berdyansk Spit. In: *Advances in Modern Phycology: Book of Abstracts of the VI International Conference*. Kyiv. Pp. 20–21.
- Bren O.G., Yarovy S.O., Sholukh O.O. 2009. Algae of coastal salt marshes of the Kuyuk-Tuk island. In: *Fundamental and applied research in biology: Mat. of the Int. conf.* Donetsk: Weber. Pp. 20–21. [Брен О.Г., Яровий С.О., Шолух О.О. 2009. Водорості приморських солончаків острова Куюк-Тук. В кн.: *Фундаментальні та прикладні дослідження в біології: мат. міжнар. конф.* Донецьк: Вебер. С. 20–21].
- Dedusenko-Shchegoleva N.T., Hollerbakh M.M. 1962. Determinant of freshwater algae of the USSR. Issue 5: *Yellow-green algae*. Moscow, Leningrad: USSR Acad.Sci. 138 p. [Дедусенко-Щеголева Н.Т., Голлербах М.М. 1962. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Вып. 5: *Желтозелёные водоросли*. М., Л.: Изд-во АН СССР. 138 с.].
- Didukh Ya.P., Shelyag-Sosonko Yu.R. 2003. Geobotanical zoning of Ukraine and adjacent territories. *Ukr. Bot. J.* 60(1): 6–17. [Дідух Я.П., Шеляг-Сосонко Ю.Р. 2003. Геоботаничне районування України та суміжних територій. *Укр. бот. журн.* 60(1): 6–17].
- Ettl H. 1978. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 3. Stuttgart, New York: G. Fischer Verlag. 530 p.
- Ettl H., Gärtner G. 1988. *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 10. Jena: G. Fischer Verlag. 437 p.
- Garkusha O.P. 2016. *Formation of groups of microalgae on different substrates of the coastal zone of the Black and Azov seas*. Cand. Biol. Sci. Abstract. Odesa. 21 p. [Гаркуша О.П. 2016. *Формування угруповань мікрowodоростей на різних субстратах прибережної зони Чорного і Азовського морів: Автореф. дис. канд. біол. наук*. Одеса. 21 с.].
- Generalova V.N. 1951. Aquatic vegetation of the Utlyuk estuary and the Arabat arrow in the Azov Sea. In: *Proceedings of AzCherNIIRO*. Pp. 331–340. [Генералова В.Н. 1951. Водная растительность Утлюкского лимана и Арабатской стрелки в Азовском море. В сб. *Труды АзЧерНИИРО*. С. 331–340].
- Gromov V.V. 2012. Aquatic and coastal-aquatic vegetation of the northern and western coasts of the Azov Sea. *J. Siberian Federal Univ.* 5(2): 121–137. [Громов В.В. 2012. Водная и прибрежно-водная растительность северного и западного побережья Азовского моря. *Журн. Сиб. Федерал. ун-та*. 5(2): 121–137].
- Hollerbakh M.M., Shtina E.A. 1969. *Soil algae*. Leningrad: Nauka. 228 p. [Голлербах М.М., Штина Э.А. 1969. *Почвенные водоросли*. Л.: Наука. 228 с.].
- Huber-Pestalozzi G. 1962. *Das phytoplankton des Süsswassers: Systematik und biologie. Die Binnengewasser*. Bd 3. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche. 606 p.

- Ivanov O.I. 1960. Phytoplankton of the Molochnyi estuary. In: *Biological substantiation of development of mullet economy of eastern Sivash and the Molochnyi estuary*. Kyiv. Pp. 123–130. [Іванов О.І. 1960. Фітопланктон Молочного лиману. У кн.: *Біологічне обґрунтування розвитку кефального господарства східного Сивашу і Молочного лиману*. Київ. С. 123–130].
- Komárek J. 2013. *Cyanoprokaryota. 3. Heterocytous genera*. In: *Süswasserflora von Mitteleuropa/ Freshwater Flora of Central Europe*. Berlin: Springer Spektrum. 1130 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 1998. *Cyanoprokaryota. 1. Chroococcales*. In: *Süßwasserflora von Mitteleuropa*. Bd 19/1. Jena-Stuttgart-Lübeck-Ulm: G. Fischer Verlag. 548 p.
- Komárek J., Anagnostidis K. 2005. *Cyanoprokaryota. 2. Oscillatoriales*. In: *Süswasserflora von Mitteleuropa*. Bd 19/2. München: Elsevier Spectr. 759 p.
- Kondratieva N.V. 1984. Identification guide for the freshwater algae of the Ukrainian SSR. Kyiv: Naukova Dumka. 388 p. [Кондратьєва Н.В. 1984. *Визначник прісноводних водоростей Української РСР*. Київ: Наук. думка. 388 с.].
- Kostikov I.Yu., Romanenko P.O., Demchenko E.M., Darienko T.M., Mykhailyuk T.I., Rybchynsky O.V., Solonenko A.M. 2001. *Algae of soils of Ukraine: history and research methods, system, summary of flora*. Kyiv: Phytosociocenter. 299 p. [Костіков І.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М., Дарієнко Т.М., Михайлюк Т.І., Рибчинський О.В., Солоненко А.М. 2001. *Водорості ґрунтів України: історія та методи дослідження, система, конспект флори*. Київ: Фітосоціоцентр. 299 с.].
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1986. *Bacillariophyceae. Teil 1. Naviculaceae*. Jena: Gustav Fischer Verlag. 876 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1988. *Bacillariophyceae. Teil 2. Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 596 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 1991. *Bacillariophyceae. Teil 3. Centrales, Fragillariales, Eunotiaceae*. Jena: Gustav Fischer. 576 p.
- Krammer K., Lange-Bertalot H. 2004. *Bacillariophyceae. Teil 4. Achmanthaceae*. Jena: Gustav Fischer. 468 p.
- Maltseva I.A. 2000. Soil algae of some saline soils of the North-Western Pryazov region. *Ecology and noospherology*. 9(1–2): 15–19. [Мальцева І.А. 2000. Ґрунтові водорості деяких засоленних ґрунтів Північно-Західного Приазов'я. *Екологія та ноосферологія*. 9(1–2): 15–19].
- Maltseva I.A. 2002. Diversity of soil algae and higher salt marsh plants of the Northern Pryazov and Prysuvash. *Scientific Bull. Chernivtsi Univ.* (145): 15–18. [Мальцева І.А. 2002. Різноманіття ґрунтових водоростей та вищих рослин солончаків Північного Приазов'я та Присивашся. *Наук. вісник Чернівецьк. ун-ту*. (145): 15–18].
- Maltseva I.A. 2004. *Algae of the Pryazov soils (Zaporozhye region, Ukraine)*. *Algologia*. 14(3): 246–255. [Мальцева І.А. 2004. Водорості почв Приазов'я (Запорозжська обл., Україна). *Альгологія*. 14(3): 246–255].
- Maltseva I.A., Maltsev Y.I., Bren O.G., Yarova T.A., Pavlenko O.M., Yakoviichuk O.V. 2019. Algae as indicators of the ecological state of marine ecosystems in the coastal part of the

- Azov Sea. In: *Advances in Modern Phycology: Book of Abstracts of the VI International Conference*. Kyiv. Pp. 65–67.
- Matvienko O.M., Dogadina T.V. 1978. *Identification guide of freshwater algae of the Ukrainian SSR. Yellow-green algae*. Vol. 1. Kyiv: Naukova Dumka. 511 p. [Матвієнко О.М., Догадіна Т.В. 1978. *Визначник прісноводних водоростей Української РСР. Жовтозелені водорості*. Т. 1. Київ: Наук. думка. 511 с.].
- Merezhkovsky K.S. 1902. Note about Henichesk diatoms (Azov Sea). *Notes of the Novoross. Society of Natural History*, 24 (2): 33-72. [Мережковский К.С. 1902. Заметка о диатомовых водорослях Генического (Азовское море). *Зап. Новоросс. общ-ва естествоиспыт.* 24(2): 33–72].
- Moshkova N.A., Hollerbach M.M. 1986. *Identification guide of freshwater algae of the USSR*. Issue. 10: *Green algae. Ulotrix class. Order Ulotrix*. Leningrad: Nauka. 182 p. [Мошкова Н.А., Голлербах М.М. 1986. *Определитель пресноводных водорослей СССР*. Вып. 10: *Зелёные водоросли. Класс Улотриксковые. Порядок Улотриксковые*. Л.: Наука. 182 с.].
- Palamar-Mordvintseva G.M., Tsarenko P.M. 2015. Algofloristic zoning of Ukraine. *Algologia*. 25(4): 355–395. [Паламарь-Мордвинцева Г.М., Царенко П.М. 2015. Альгофлористическое районирование Украины. *Альгология*. 25(4): 355–395].  
<https://doi.org/10.15407/alg25.04.355>
- Prikhodkova L.P. 1969. Blue-green algae of some soils of the Left Bank of the Lower Dnieper. *Ukr. Bot. J.* 26(1): 36–41. [Приходькова Л.П. 1969. Синьозелені водорості деяких ґрунтів Лівобережного Нижнього Придніпров'я. *Укр бот. журн.* 26(1): 36–41].
- Prikhodkova L.P. 1992. *Blue-green algae of the soils of the steppe zone of Ukraine*. Kyiv: Naukova Dumka. 218 p. [Приходькова Л.П. 1992. *Синьозелені водорості почв степної зони України*. Київ: Наук. думка. 218 с.].
- Proshkina-Lavrenko A.I. 1950. Algae of the Molochnyi estuary. *Bot. materials of the Department of spore plants of the Bot. Institute of the USSR Academy of Sciences* (Vol. 6, 7–12): 134–147. [Прошкіна-Лавренко А.И. 1950. Водоросли Молочного лимана. *Бот. материалы Отд. споровых растений Бот. института АН СССР* (Т. VI, 7–12): 134–147].
- Proshkina-Lavrenko A.I. 1951. Botanical materials of the department of spore plants. *BIN Acad. Sci. SSSR*. (7): 69–75. [Прошкіна-Лавренко А.И. 1951. Ботанические материалы отдела споровых растений. *БИИ АН СССР*. (7): 69–75].
- Proshkina-Lavrenko A.I. 1963. *Diatoms of plankton of the Azov Sea*. Moscow, Leningrad: Acad. Sci. USSR. [Прошкіна-Лавренко А.И. 1963. *Диатомовые водоросли планктона Азовского моря*. М., Л.: Изд-во АН СССР].
- Shmidt W.M. 1984. *Mathematical methods in botany*. Leningrad: Leningr. State Univ. Publ. House. 288 p. [Шмидт В.М. 1984. *Математические методы в ботанике*. Л.: Изд-во ЛГУ. 288 с.].
- Solonenko A.N. 1999. Algae of cultivated soils of the Black Sea-Azov dry-steppe province of the Steppe zone of Ukraine. In: *Abstracts of the II International Conference "Actual Problems of Modern Algology"*. Kyiv. P. 134. [Солоненко А.Н. 1999. Водоросли окультуренных почв Причерноморско-Приазовской сухостепной провинции Степной зоны Украины. В кн.:

Тезисы докладов II Международной конференции «Актуальные проблемы современной альгологии». Киев. С. 134].

- Solonenko A.N. 2013. Fatty acid composition of benthic macroscopic growths of algae and peloids of ephemeral reservoirs. *Algologia*. 23(1): 47–52. [Солоненко А.Н. 2013. Жирнокислотный состав бентосных макроскопических разрастаний водорослей и пеллоидов эфемерных водоёмов. *Альгология*. 23(1): 47–52].  
<https://doi.org/10.15407/alg23.01.047>
- Solonenko A.N. 2014. Some peculiarities of the destruction of *Cladophora siwaschensis* C. Meyer (*Chlorophyta*) organic matter in brine. *Int. J. Algae*. 16(3): 256–262.  
<https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v16.i3.50>
- Solonenko A.M. 2015. *Algae of hyperhaline reservoirs of the north-western coast of the Sea of Azov and their participation in the formation of silt sulfide peloids*. Dr. Sci. Diss. Kyiv: Melitopol. state ped. Univ. Bohdan Khmelnytsky. 347 p. [Солоненко А.М. 2015. *Водорості гіпергальїних водойм північно-західного узбережжя Азовського моря та їх участь в утворенні мулових сульфідних пеллоїдів*. Дис. ... д-ра біол. наук : 03.00.05 «Ботаніка». Київ: Мелітопол. держ. пед. ун-т ім. Богдана Хмельницького. 347 с.].
- Solonenko A.M., Yaroviyy S.O. 2009a. Algae of coastal salt marshes of the Chongar Peninsula (Sivash). *Chornomor. Bot. J.* 5(2): 224–230. [Солоненко А.М., Яровий С.О. 2009а. Водорості приморських солончаків півострова Чонгар (Сиваш). *Чорномор. бот. журн.* 5(2): 224–230].
- Solonenko A.M., Yaroviyy S.O. 2009b. Annotated list of algae of Stepanivska spit. *Chornomor. Bot. J.* 5(4): 617–628. [Солоненко А.М., Яровий С.О. 2009б. Анотований список водоростей солончаків Степанівської коси. *Чорномор. бот. журн.* 5(4): 617–628].
- Solonenko A.M., Yaroviyy S.O. 2011. Algae of salt marshes of Shelyuhy Pod (Zaporizhzhya region). *Ukr. Bot. J.* 68(3): 399–406. [Солоненко А.М., Яровий С.О. 2011. Водорості солончаків Шелюгівського поду (Запорізька область). *Укр. бот. журн.* 68(3): 399–406].
- Solonenko A.M., Bren O.G. 2020. Floristic Composition and Taxonomic Structure of Algae in the Hyperhaline Reservoirs of the Northwestern Azov Sea Coast (Ukraine). *Int. J. Algae*. 22(4): 373–382. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v22.i4.60>
- Solonenko A.N., Yarovoy S.A., Raznopolov O.N. 2004. Soil algae of the salt marshes of the Molochnyi estuary coast in the area of Altagir forestry. *Bull. Zaporizhia National Univ.* (1): 206–212. [Солоненко А.Н., Яровой С.А., Разнополов О.Н. 2004. Почвенные водоросли солончаков побережья Молочного лимана в районе Алтагирского лесничества. *Вісник Запорізьк. нац. ун-ту* (1): 206–212].
- Solonenko A.N., Raznopolov O.N., Podorozhny S.N. 2006. Saltwater algae of the floodplain on the right bank of the Molochnyi Estuary. *Bull. Zaporizhia National Univ. Biological Sciences*. 1(1): 142–148. [Солоненко А.Н., Разнополов О.Н., Подорожний С.Н. 2006. Водоросли солончаков поймы правого берега Молочного лимана. *Вісник Запорізьк. нац. ун-ту*. Біологічні науки. 1(1): 142–148].
- Solonenko A.N., Yarovoy S.A., Yarovaya T.A. 2008. Saltwater algae at the mouth of the Korsak River and the Tubal Estuary tract. *Bull. State Nikita Botanical Garden*. (96): 26–29. [Солоненко А.Н., Яровой С.А., Яровая Т.А. 2008. Водоросли солончаков устьевой

- части реки Корсак и урочища Тубальский лиман. *Бюл. гос. Никит. бот. сада.* (96): 26–29].
- Solonenko A.M., Yaroviy S.O., Yarova T.A. 2010. Saline algae on the shores of Lake Solone (Zaporozhye region). *Bulletin of the Ivan Franko University of Lviv* (52): 13–19. [Солоненко А.М., Яровий С.О., Ярова Т.А. 2010. Водорості солончаків узбережжя озера Солоне (Запорізька область). *Вісник Львів. ун-ту.* (52): 13–19].
- Solonenko A.N., Yarovoy S.A., Raznopolov O.N., Podorozhny S.N. 2005. Saltwater algae of the Sivash Bay coast. *Bull. Zaporizhia National Univ.* (1): 163–167 [Солоненко А.Н., Яровой С.А., Разнополов О.Н., Подорожний С.Н. 2005. Водоросли солончаков побережья залива Сиваша. *Вісник Запорізьк. нац. ун-ту* (1): 163–167].
- Solonenko A.N., Yarovoy S.A., Podorozhny S.N., Raznopolov O.N. 2006. Saltwater algae of Stepanovskaya and Fedotova spit of the North-West coast of the Sea of Azov. *Soil Science.* 7(3-4): 123–127. [Солоненко А.Н., Яровой С.А., Подорожний С.Н., Разнополов О.Н. 2006. Водоросли солончаков Степановской и Федотовой кос Северо-Западного побережья Азовского моря. *Грунтознавство.* 7(3-4): 123–127].
- Solonenko A.N., Khromyshev V.A., Maltsev E.I., Bren A.G. 2014. Amino acid content of benthic macroscopic growths of algae and sediments in hypersaline water bodies. *Int. J. Algae.* 16(4): 392–400. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v16.i4.80>
- Топачевський А.В., Масюк Н.П. 1984. *Freshwater algae of the Ukrainian SSR.* Київ: Vyscha shkola. 336 p. [Топачевский А.В., Масюк Н.П. 1984. *Пресноводные водоросли Украинской ССР.* Киев: Вища шк. 336 с.].
- Tsarenko P.M. 1990. *Short determinant of chlorococcal algae of the Ukrainian SSR.* Київ: Naukova Dumka. 208 p. [Царенко П.М. 1990. *Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР.* Киев: Наук. думка. 208 с.].
- Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. 2006. *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography.* Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag K.–G. Vol. 1. 713 p.; 2009. Vol. 2. 413 p.; 2011. Vol. 3. 512 p.; 2014. Vol. 4. 703 p.
- Vinogradova O.M. 2006. Cyanoprocarvota in hyperhaline habitats and their adaptation strategies. *Ukr. Phytocenol. J.* (24): 33–44. [Виноградова О.М. 2006. Суанопроскариота у гіпергалінних місцезростаннях та їх адаптаційні стратегії. *Укр. фітоценол. зб.* (24): 33–44].
- Vinogradova O.M. 2012. Cyanoprokaryota of hyperhaline ecosystems of Ukraine. Київ: Alterpress. 200 p. [Виноградова О.М. 2012. *Суанопроскариота гіпергалінних екосистем України.* Київ: Альтерпрес. 200 с.].
- Vinogradova K.L., Hollerbach M.M., Sauer L.M., Sdobnikova N.V. 1980. *Identification guide of freshwater algae of the USSR.* Issue 13: *Green algae. Classes Siphonocladophyceae, Siphonophyceae. Red algae. Brown algae.* Leningrad: Nauka. 126 p. [Виноградова К.Л., Голлербах М.М., Зауер Л.М., Сдобникова Н.В. 1980. *Определитель пресноводных водорослей СССР.* Вып. 13: *Зелёные водоросли. Классы Сифонокладовые, Сифоновые. Красные водоросли. Бурые водоросли.* Л.: Наука. 126 с.].
- Vladimirova K.S. 1960. Phytomicrobenthos of the Molochnyi estuary. In: *Biological substantiation of development of mullet economy of eastern Sivash and Molochnyi estuary.* Київ. Рр. 131–137. [Владимирова К.С. 1960. Фітомікробентос Молочного лиману. В

- кн.: *Біологічне обґрунтування розвитку кефального господарства східного Сивашу і Молочного лиману*. Київ. С. 131–137].
- Volkov L.I. 1927. In: *Materials for learning of the Azov Sea flora. Collection in honor of N.M. Knipovich*. Moscow: Nauka. Pp. 235–240. [Волков Л.И. 1927. Материалы к познанию флоры Азовского моря. В кн.: *Сборник в честь Н.М. Книповича*. М.: Наука. С. 235–240].
- Yarova S.A., Yarova T.A., Solonenko A.N. 2008. To the study of saline algae of the Berdyansk spit in the area of Lake Krasnoye. *Ecology and Noospherology*. 19(1–2): 160–162. [Яровой С.А., Яровая Т.А., Солоненко А.Н. 2008. К изучению водорослей солончаков Бердянской косы в районе озера Красное. *Екологія та ноосферологія*. 19(1–2): 160–162].
- Yarova T.A., Yaroviy S.O., Bren O.G. 2012. Soil algae of the Pryazov National Natural Park. In: *The role of environmental protection institutions in the preservation of biodiversity, ethnocultural heritage and balanced development of territories*. Kosiv. Pp. 309–312. [Ярова Т.А., Яровий С.О., Брен О.Г. 2012. Ґрунтові водорості Приазовського національного природного парку. В Павлюк М.Д. В кн.: *Роль природоохоронних установ у збереженні біорозмаїття, етнокультурної спадщини та збалансованому розвитку території*. Косів. С. 309–312].
- Yarovoy S.A., Solonenko A.N. 2009. Algae of coastal salt marshes of the Chongar Peninsula (Sivash). In: *Algae: problems of taxonomy, ecology and use in monitoring: Proceedings of the II All-Russian Algological Conference*. Syktyvkar. Pp. 249–252. [Яровой С.А., Солоненко А.Н. 2009. Водоросли приморських солончаков полуострова Чонгар (Сиваш). В кн.: *Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использование в мониторинге: Материалы II Всероссийской альгологической конференции*. Сыктывкар. С. 249–252].
- Yarovoy S.O. 2013. Algae of coastal salt marshes of Prysylvasko-Pryazovska physical-geographical region of Ukraine. *Chornomor. Bot. J.* 9(2): 238–256. [Яровий С.О. 2013. Водорості приморських солончаків Присивасько-Приазовської фізико-географічної області України. *Чорномор. бот. журн.* 9(2): 238–256].
- Yarovoy S.O., Arabadzhi L.I. 2016. For the study of Cyanoprokaryota of some reservoirs of the Pryazov National Nature Park. *Ecology and noospherology*. 27(3–4): 110–116. [Яровий С.О., Арабаджи Л.І. 2016. До вивчення Суанпрокарыота деяких водойм Приазовського національного природного парку. *Ecology and noospherology*. 27(3–4): 110–116].
- Yarovoy S.A., Solonenko A.N., Oleynik T.A. 2007. Soil algae of coastal salt marshes of the Berdyansk spit near Lake Krasnoye. In: *Biology of the XXI century: theory, practice, teaching: mater. Int. conf. Cherkasy–Kaniv*. Pp. 309–312. [Яровой С.А., Солоненко А.Н., Олейник, Т.А. 2007. Почвенные водоросли приморських солончаков Бердянской косы в районе озера Красное. В кн.: *Біологія XXI століття: теорія, практика, викладання: матеріали міжнар. конф.* Черкаси–Канів. С. 309–312].
- Yarovoy S.O., Solonenko A.M., Kostikov I.Yu. 2007. *Oscillatoria salina* Biswas - a new specie for the flora of Ukraine. *Chornomor. Bot. J.* 3(2): 119–123. [Яровий С.О., Солоненко А.М.,

- Костіков І.Ю. 2007. *Oscillatoria salina* Biswas – новий вид для флори України. *Чорномор. бот. журн.* 3(2): 119–123].
- Yarovy S.O., Yarova T.A., Bren O.G., Zavadska O.A. 2014. Research of algae of wetlands of the Pryazov National Natural Park. In: *All-Ukrainian scientific-practical conference "Regional aspects of floristic and faunal research.* Khotyn. Pp. 52–53. [Яровий С.О., Ярова Т.А., Брен О.Г., Завадська О.А. 2014. Дослідження водоростей водно-болотних угідь Приазовського національного природного парку. В кн.: *Всеукраїнська науково-практична конференція «Регіональні аспекти флористичних і фауністичних досліджень.* Хотин. С. 52–53].
- Yarovy S.O., Arabadzhi L.I., Bren O.G., Maltsev E.I., Matsyura O.V. 2017. Diversity of Cyanoprokaryota in sandy habitats in Pryazov National Natural Park (Ukraine). *Ukr. J. Ecology.* 2(7): 91–95.
- Zabelina M.M., Kiselyov I.A., Proshkina-Lavrenko A.I., Sheshukova V.S. 1954. *Determinant of freshwater algae of the USSR.* Issue 4: *Diatoms.* Moscow: Sovetskaya nauka. 311 p. [Забелина М.М., Киселёв И.А., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова В.С. 1954. *Определитель пресноводных водорослей СССР.* Вып. 4: *Диатомовые водоросли.* М.: Сов. наука. 311 с.].

Підписала до друку О.М. Виноградова

Bren O.G., Solonenko A.M., Podorozhny S.M. 2022. **Species structure of algae of the saline coastal reservoirs of the Pryazov National Natural Park.** *Algologia.* 32(1): 68–87.

Bogdan Khmelnytsky Melitopol State Pedagogical University,  
Department of Botany and Landscape Gardening,  
20, St. Getmanska, Melitopol 72312, Zaporizhzhja Region, Ukraine

The paper is devoted to the researches of species composition and taxonomic structure of algae in the saline coastal reservoirs of the Pryazov National Natural Park (PNNP). It is established that species composition of algae in the studied reservoirs under modern conditions includes 153 species. These species represented 7 divisions, 11 classes, 32 orders, 61 families, 92 genera. The highest species richness at the level of divisions showed *Cyanoprokaryota* (43.8% of the total number of species), *Bacillariophyta* (32.0%) and *Chlorophyta* (20.9%). These divisions include 148 species and form the basis of the species composition in the studied water bodies. The leading orders of algae in the researched reservoirs were *Oscillatoriales* and *Synechococcales* (23 and 20 species respectively). The most diversely represented families were: *Oscillatoriaceae* (13 species), *Nostocaceae*, *Leptolyngbyaceae*, *Naviculaceae* (8 each), *Microcoleaceae*, *Bacillariaceae* (7 each). The top list of the genera by this parameter: *Leptolyngbya* (6 species), *Lyngbya*, *Nostoc*, *Phormidium*, *Nitzschia* (5 each), *Calothrix*, *Kamptonema*, *Cocconeis*, *Navicula* (4 each). The

highest frequency of occurrence among the identified species had also diatoms, cyanoprokaryotes and green algae: *Halamphora coffeiformis* (5.26%), *Lyngbya aestuarii* (4.21%), *Cladophora siwaschensis* (3.51%), *Hantzschia amphioxys* (3.33%), *Nodularia harveyana* (2.98%). Our researches demonstrate that species composition of algae of the studied saline coastal reservoirs of PNNP is quite impoverished in comparison with the partial soil algae flora, as well as the species list of algae of the freshwater reservoirs and seas of Ukraine. Specific features of the taxonomic composition of the saline coastal reservoirs are manifested in the association of organisms of fresh, marine and terrestrial habitats.

**Key words:** algae, saline reservoirs, Pryazov National Natural Park, North-Western Azov area

## ***Monoraphidium* sp. IBASU-A 574 (Selenastraceae, Chlorophyta) – перспективний продуцент біомаси для біоенергетики**

Царенко П.М.<sup>1</sup>, Борисова О.В.<sup>1</sup>, Хархота М.А.<sup>2</sup>, Зелена Л.Б.<sup>2</sup>, Коніщук М.О.<sup>1</sup>, Бурова О.В.<sup>1</sup>, Блюм Я.Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України,  
вул. Терещенківська, 2, Київ 01601, Україна  
ptsar@ukr.net

<sup>2</sup> Інститут мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України,  
вул. Академіка Заболотного, 154, Київ 03680, Україна

<sup>3</sup> Держустанова «Інститут харчової біотехнології та геноміки НАН України»,  
вул. Осиповського, 2а, Київ 04123, Україна

Надійшла до редакції 16.01.2022. Після доопрацювання 21.02. 2022. Підписана до друку 23.02.2022.

Опублікована 22.03.2022

**Реферат.** Представлено результати дослідження нового регіонального штаму зеленої водорості *Monoraphidium* sp. IBASU-A 574 (*Selenastraceae*, *Chlorophyceae*) з метою оцінки його біотехнологічного потенціалу для виробництва біодизеля. Штам, адаптований до кліматичних умов помірної зони, ізолювано з прісноводної водойми на території м. Києва у 2014 р. з використанням методу накопичувальних культур на селективних живильних середовищах, що дозволяє отримувати штами швидкоростаючих водоростей різних видів. Ідентифікація проведена з урахуванням морфологічних ознак методом світлової мікроскопії та молекулярно-філогенетичного аналізу за ділянкою нуклеотидної послідовності гена 18S рРНК. Дослідження характеру росту, кінетичних характеристик (питомої швидкості росту і продуктивності) та біологічних особливостей ізолюваного штаму проведено за однакових умов автотрофного культивування на середовищі Тамія. Контрольним варіантом слугував відомий продуцент біомаси *Chlorella vulgaris* Beijer. CALU 157. Встановлено активний ріст *Monoraphidium* sp. 574, який практично дорівнює контрольному і характеризується такими параметрами: максимальна кількість клітин – 248 млн·мл<sup>-1</sup>, питома швидкість росту 1,4 доби<sup>-1</sup>, продуктивність 72,5 млн кл.·мл<sup>-1</sup>·доби<sup>-1</sup>. За результатами аналізу жирнокислотного складу ліпідів досліджуваного штаму методом газорідинної хроматографії виявлено наявність провідного комплексу з пальмітинової (С16:0), олеїнової (С18:1), лінолевої

© Царенко П.М., Борисова О.В., Хархота М.А., Зелена Л.Б., Коніщук М.О., Бурова О.В., Блюм Я.Б., 2022

(C18:2) та ліноленої (C18:3) жирних кислот, кількісне співвідношення яких обумовлює якість сировини для виробництва біопалива. В експериментах відзначено динаміку формування жирнокислотного профілю ліпідів в залежності від стадії росту культури, що підтверджує необхідність проведення таких досліджень для визначення оптимального терміну вирощування водоростей і забезпечення найбільшого виходу цільового продукту. На основі отриманих даних *Monoraphidium* sp. IBASU-A 574 визначено як перспективний продуцент біомаси для потреб біоенергетики.

**К л ю ч о в і с л о в а :** мікрководорості, *Monoraphidium* sp., штам, колекція IBASU-A, ліпіди, жирнокислотний склад, біодизель

## **Вступ**

Мікрководорості – визнана складова біологічних ресурсів. Вони є об'єктами різних галузей господарства і технологічних підходів біоенергоконверсії. На сучасному етапі біотехнологічних досліджень доцільність їхнього використання як ресурсної сировини з метою одержання біодизеля переконливо доведена у численних працях фахівців різних країн (Chisti, 2007; Mata et al., 2007; Zolotaryova et al., 2008; Amin, 2009; Deng et al., 2009; Brennan, Owende, 2010; Sorochinsky et al., 2010; Bohnenberger, Crossetti, 2014; Chandhary et al., 2014; Massimi, Kirkwood 2016; Getachew et al., 2020 та ін.). Однак відносно висока собівартість біопалива з мікрководоростей є значною перешкодою на шляху його активного використання. За цих обставин пошук, введення в культуру, встановлення ростових характеристик, дослідження біохімічного складу біомаси високопродуктивних штамів різних видів водоростей та розробка заходів покращення виходу кінцевого продукту залишається актуальним.

Лідерами наукових розробок, пов'язаних з використанням мікрководоростей у виробництві біоенергосировини є США, Китай та країни ЄС. Починаючи з 1980-х років зусилля вчених спрямовані на вивчення можливостей отримання за допомогою водоростей моторних видів палива та інших енергоємних сполук. У межах Програми з вивчення водних видів (Aquatic Species Program), започаткованої Департаментом енергетики США, проаналізовано понад 3000 штамів різних видів водоростей, ізольованих переважно в південних штатах, і відібрано близько 300 штамів водоростей-продуцентів ліпідів (Sheehan et al., 1998). Виявлено вплив на вміст ліпідів умов культивування і складу поживного середовища, зокрема концентрації азоту, заліза, хлористого натрію. Показано необхідність вивчення кінетики накопичення ліпідів у біомасі водоростей, аналіз їхнього складу, оптимізації продуктивності штамів та певних заходів для збору в найбільш оптимальні терміни, коли утворення ліпідів є максимальним. Незважаючи на це, виробництво енергопродукту з мікрководоростей за показниками енергетичного балансу поки є високовартісним і не може конкурувати з виробництвом рідких видів

палива за рахунок використання традиційних сировинних джерел. Проте численні монографії, статті, патенти останніх років, присвячені використанню мікроводоростей для виробництва біоенергетичних складових, свідчать про необхідність і перспективність продовження досліджень у цьому напрямку (Spolaore et al., 2006; Woertz et al., 2009; Yang et al., 2012; Yu et al., 2012; Holbrook et al., 2014; Patidar et al., 2014; Diaz et al., 2015; Zhu, 2015; Lari et al., 2016; Řezanka, 2017; Sehgal et al., 2019 та ін.).

Першочерговими завданнями для ефективного отримання біоенергосировини залишається пошук вітчизняних конкурентоздатних штамів та вирішення проблем, пов'язаних з підвищенням ефективності їхнього ліпідного накопичення.

В Україні базою досліджень щодо використання водоростей у біотехнології і біоенергетиці є колекція мікроводоростей Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (IBASU-A), яка має статус об'єкта Національного надбання України і містить понад 500 штамів (Borysova, Tsarenko, 2004; Borysova et al., 2016). Серед них на підставі скринінгу, проведеного за такими критеріями, як висока активність росту, здатність до накопичення значної кількості ліпідів та стійкість до стресових чинників і біологічних контамінантів, визначено 33 штами видів-гіперпродуцентів біомаси, перспективних для біоенергетики (Tsarenko et al., 2011, 2016). Однак лише 25% з них є регіональними та адаптованими до кліматичних умов помірної зони. Саме тому метою нашої роботи було дослідження активності росту та біологічних особливостей нового штаму *Monoraphidium* sp. IBASU-A 574, ізольованого з території України, для оцінки його біотехнологічного потенціалу.

### Матеріали та методи

Для досліджень використовували альгологічно чисту культуру *Monoraphidium* sp. (штам IBASU-A 574). Водорості вирощували в конічних колбах об'ємом 1000 мл на мінеральних живильних середовищах Тамія (модифіковане) та Бурреллі (Borysova et al., 2014) з об'ємом середовища 200 мл. Товщину шару суспензії постійно підтримували на рівні 3 см. Вихідна кількість посівного матеріалу становила  $5 \cdot 10^6$  кл.  $\cdot$  мл<sup>-1</sup>. Культивування вели за умов цілодобового освітлення  $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , температури 28–30 °C та барботування. Посівним матеріалом були водорості, які вирощували протягом 10–12 діб на агаризованому середовищі Тамія. Інтенсивність росту водоростей оцінювали шляхом щодобового підрахунку кількості клітин у камері Горяєва або ваговим методом (Methods..., 1975). На підставі одержаних даних розраховували питому швидкість росту ( $\mu$ ) та продуктивність ( $P$ ) (Trenkinschu, 2005). Ці результати порівнювали з відомим гіперпродуцентом біомаси *Chlorella*

*vulgaris* Beijer. IBASU-A 189 (= CALU 157). Контроль наявності грибної контамінації проводили на початку та наприкінці культивування водоростей шляхом висіву водоростевої суспензії на середовище ФДГА з додаванням глюкози та дріжджового автолізу (Kvitko et al., 1983).

Склад живильних середовищ: Бурреллі (мг/л):  $\text{KNO}_3$  – 200,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 30,0;  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  – 30,0;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 40,0;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 3,3; ЕДТА (трилон Б) – 5,3; Тамія (модифіковане) (мг/л):  $\text{KNO}_3$  – 500,0;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 100,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 100,0;  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 10,0; ЕДТА (трилон Б) – 16,0 для *Chlorella vulgaris* 189 та  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 3,3; ЕДТА (трилон Б) – 5,3 для *Monoraphidium* sp. 574. У середовища додавали 15 мл розчину мікроелементів. Склад розчину мікроелементів (мг/л):  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 2,86;  $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 1,81;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,22;  $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  – 0,15;  $\text{NH}_4\text{VO}_3$  – 2,3;  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 0,01.

Кількісний та якісний склад ліпідів у біомасі *Monoraphidium* sp. шт. 754 визначали після 10, 20 та 30 діб вирощування в умовах накопичувальної культури. Біомасу відокремлювали від середовища та промивали дистильованою водою шляхом центрифугування протягом 20 хв при 3000 об·хв<sup>-1</sup>. Аналіз метилових ефірів жирних кислот здійснювали методом газорідинної хроматографії на газовому хроматографі GS 16A Shimadzu (Японія) з можливістю програмування температури до 330 °С, використовуючи полум'яно-іонізаційний детектор та програмне забезпечення “GS solution”. Для розділення використовували капілярну колонку THERMO TR-FAME (30 mm × 0,25 mm ID × 0,25 mm film) з температурним градієнтом від 70 до 230 °С. Нерухлива фаза – 70% Суанорпроу1 (equil) Polysiphenylene-siloxane, рухлива – гелій зі швидкістю потоку газу 1 мл · хв<sup>-1</sup>. Температура інжектора та детектора становила 280 і 260 °С відповідно. Ідентифікацію жирних кислот проводили шляхом порівняння часу утримання компонентів суміші з часом утримання стандартних жирних кислот. Вміст жирних кислот подано у відсотках загальної суми. Отримані результати опрацьовані статистично з використанням стандартного пакета Microsoft Office 2013.

Для молекулярно-генетичного дослідження *Monoraphidium* sp. шт. 754 ДНК виділяли за допомогою набору GeneJet Genomic DNA Purification Kit (ThermoScientific) з використання інструкцій його виробника. Ампліфікацію гена 18S рРНК проводили з праймерами NS1 (5 – GTA GTC ATA TGG TTG TCT C – 3) NS2 (5 – GGC TGG TGG CAC CAG ACT TGC – 3) (White et al., 1990). ПЛП проводили на ампліфікаторі Mastercycler Personal 5332 (Eppendorff, Німеччина). Очищений ПЛП-продукт секвенували на приладі Genetic Analyzer 3130 (Applied Biosystems, США) з використанням набору BigDye Terminator v 3.1 Cycle Sequencing Kit. Отриману нуклеотидну послідовність порівнювали з внесеними до бази даних GenBank за допомогою програми NCBI Blastn (<http://>

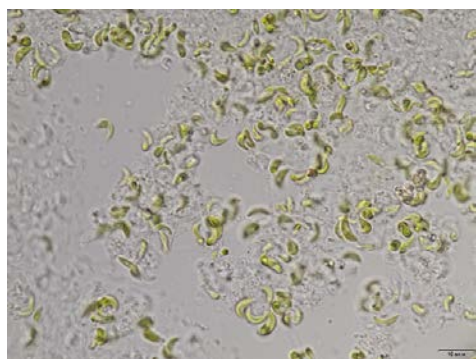
www.ncbi.nlm.nih.gov/blast). Філогенетичний аналіз, вирівнювання нуклеотидних послідовностей гена 18S рРНК здійснювали за допомогою програми MEGA 6 (Tamura et al., 2013). Дендрограму філогенетичних зв'язків будували методом максимальної вірогідності (Maximum Likelihood) з використанням 2-параметричної моделі Кімури по 1000 реплікам бутстреп-аналізу. Послідовності гена 18S рРНК представників різних видів мікроводоростей використані з бази даних GenBank.

### Результати та обговорення

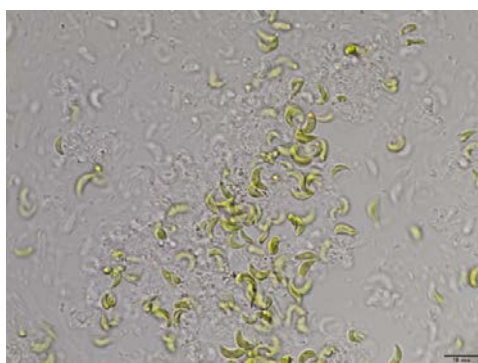
Штам *Monoraphidium* sp. 574 ізолювано з озера Бабине на території м. Києва (50.414 пн. ш., 30.5456 сх. д.) у 2014 р. за допомогою методу накопичувальних культур (Algal..., 2005). Вихідним матеріалом слугувала альгопроба (вижимки з водних судинних рослин) Г.Г. Ліліцької. Водночас з нагромаджувальної культури на основі селективного середовища Бурреллі, де за місяць інкубації на освітлюваній установці домінували водорості роду *Monoraphidium* Komárk.-Legn., ізолювано також низку інших видів зелених кокоїдних водоростей, а саме: *Desmodesmus armatus* (Chodat) E.Hegew., *Messastrum gracile* (Reinsch) T.S.Garcia, *Pectinodesmus pectinatus* (Meyen) E.Hegew. et al., *Scenedesmus obtusus* Meyen, *Tetradesmus acuminatus* (Lagerh.) M.J.Wynne та *T. dimorphus* (Turpin) M.J.Wynne (Borysova et al., 2014). Надалі в процесі їхнього культивування проявились деякі штамові відмінності. Представники родини *Scenedesmaceae* (*Desmodesmus* (Chodat) An et al., *Pectinodesmus* (Meyen) E.Hegew. et al., *Scenedesmus* Meyen та *Tetradesmus* G.M.Smith візуально краще зростали на середовищі Бурреллі, а представники родини *Selenastraceae* – на інших середовищах: *M. gracile* – на середовищі 3N BBM (Bischoff, Bold, 1963), *Monoraphidium* sp. – на середовищі Тамія.

Біологічну характеристику дослідженого штаму *Monoraphidium* sp. 574, адаптованого до кліматичних умов помірної зони, надаємо нижче.

*Морфологічні ознаки.* Клітини зігнуті, місяцеподібні, біля кінців ледь звужені, спіралеподібно скручені (переважно на півоберту), на полюсах заокруглені (рис. 1). Кінці клітин однакові. Хлоропласт пристінний, вистилає увесь периметр клітини, без піреноїда. Розмножується 4 автоспорами, які вивільняються після розриву материнської оболонки. Розмір клітин: (8)–10–18 мкм завд. та 1,6–3,2 мкм завш., діаметр завитка 4–6,4– (7,2) мкм.



а



б

Рис. 1. Загальний вигляд клітин дослідженого штаму в культурі

*Фізіолого-біохімічні особливості.* Мезофіл, здатний до міксотрофного росту. У якості джерела азотного живлення використовує амоній, нітрати, сечовину. Зростає в широкому діапазоні рН (від 5 до 9, оптимальний ріст при рН 6,5–0,8), освітленості ( $50\text{--}100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), температури (24–32 °С, оптимальний ріст при 28–30 °С). Антибактеріальна активність не виявлена. В альгологічно чистій культурі досліджуваного штаму виявлено 6 видів бактеріальних консортів, які відрізняються за морфологічними, фізіологічними та біохімічними ознаками. Грибна контамінація не виявлена.

Застосування методів традиційної морфології виявилось недостатнім для чіткої ідентифікації та встановлення видового статусу *Monoraphidium* sp. шт. 574. За результатами світлової мікроскопії, вірогідно, він відноситься до групи таксонів з невизначеним родовим статусом, що проявляють ознаки двох або кількох споріднених таксонів. Отримані нами дані молекулярно-генетичного дослідження (рис. 2), лише підтвердили приналежність цього штаму до родини *Selenastraceae*, однак виявилися недостатніми для уточнення його таксономічного статусу, що потребує подальшого вивчення.

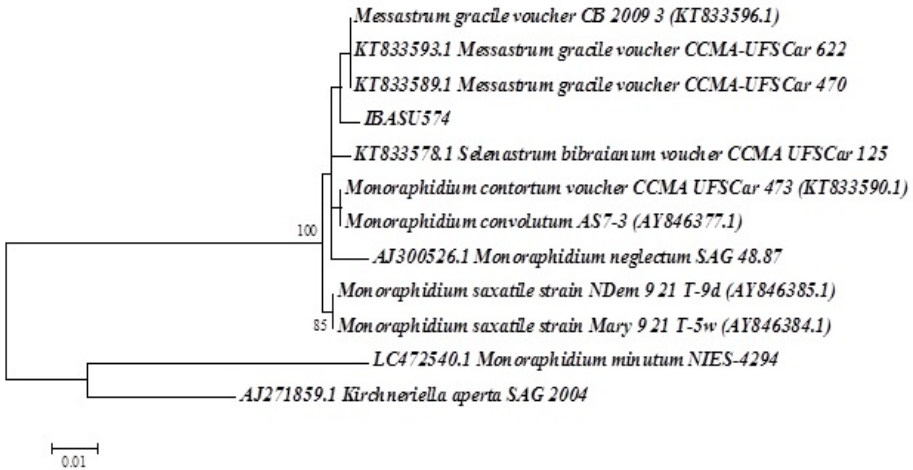


Рис. 2. Кладограма ділянки філогенетичного дерева таксонів родини *Selenastraceae* та місця дослідженого штаму на ньому

Для оцінки біотехнологічного потенціалу вітчизняного штаму *Monoraphidium* sp. шт. 574 проводили дослідження інтенсивності його росту, визначення кінетичних характеристик (питомої швидкості росту та продуктивності), загального вмісту ліпідів біомаси водоростей, кількісного та якісного складу головних жирних кислот. Дослідження інтенсивності росту штаму на середовищах Бурреллі та Тамія проведено за однотипних умов вирощування в інтенсивному режимі (оптимальний рН, температура, освітленість, наявність барботування тощо) порівняно із загальновідомим високопродуктивним штамом *Chlorella vulgaris* IBASU-A 189 (= CALU 157) (порівн.: Tsarenko et al., 2017). Як видно з рис. 3, параметри росту досліджуваного штаму на середовищі Бурреллі (оптимальне для його ізолювання) були досить низькими. Максимальна кількість клітин (В) не перевищувала 28–32 млн кл. · мл<sup>-1</sup>, питома швидкість росту (μ) становила 0,34 доби<sup>-1</sup>, продуктивність (Р) – 6,9–7,8 млн кл. · мл<sup>-1</sup>·доби<sup>-1</sup>. Проте використання середовища Тамія, яке містить вдвічі більше азоту, призвело до різкого збільшення інтенсивності росту *Monoraphidium* sp. 574 (В – 248 млн кл. · мл<sup>-1</sup>, μ – 1,4 доби<sup>-1</sup>, Р – 72,5 млн кл. · мл<sup>-1</sup>·доби<sup>-1</sup>), що свідчить про його високий ростовий потенціал. При цьому ростові характеристики виявилися дещо вищими, ніж у відомого гіперпродуцента біомаси *C. vulgaris* 189 (В – 220 млн кл. · мл<sup>-1</sup>, μ – 0,9 доби<sup>-1</sup>, Р – 65 млн кл. · мл<sup>-1</sup>·доби<sup>-1</sup>). Необхідно відзначити високу питому швидкість росту (μ) вітчизняного штаму, яка на середовищі Тамія становила 1,4 доби<sup>-1</sup>, що вважається характерною рисою для найактивніших штамів перспективних видів-гіперпродуцентів біомаси (Massimi, Kirkwood, 2016).

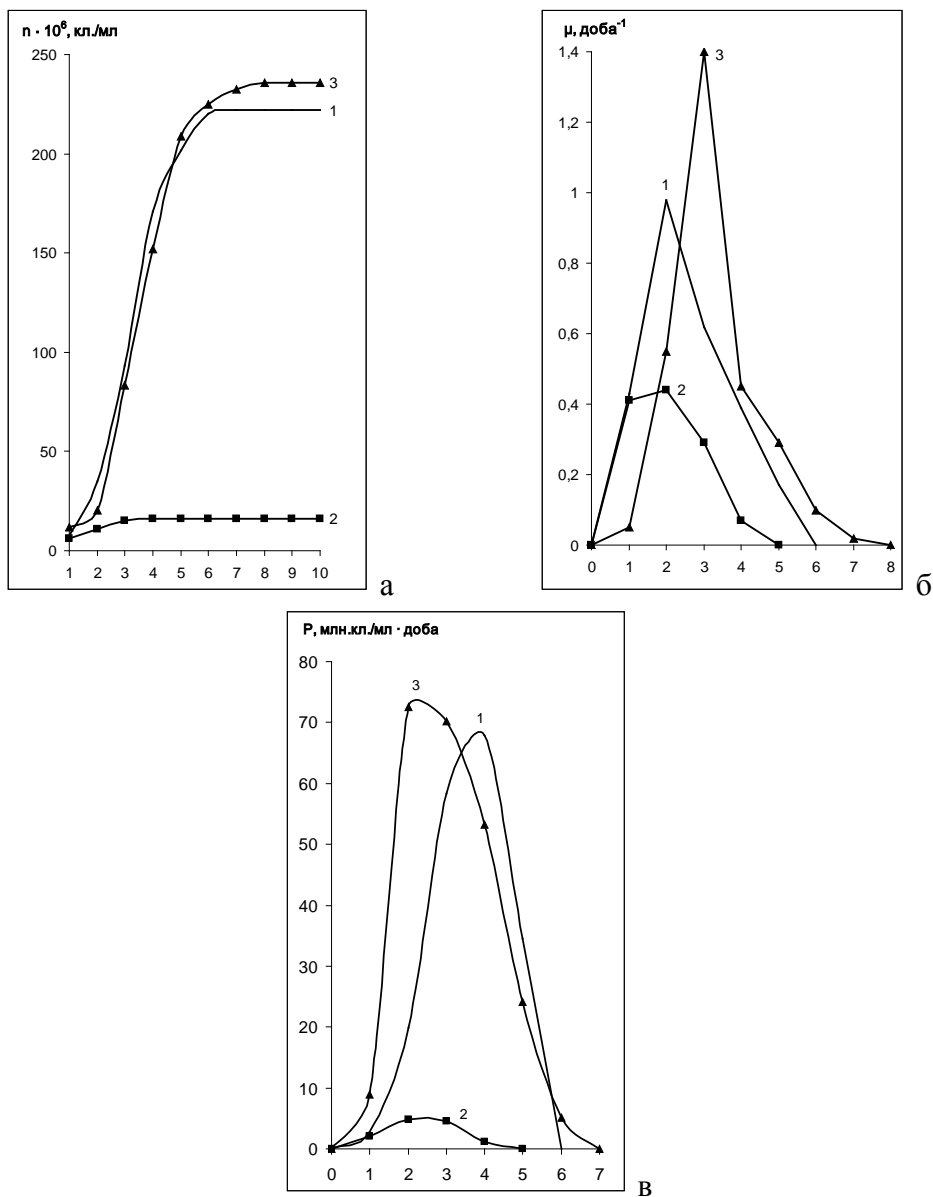


Рис 3. Ростові характеристики культур: а – крива росту; б – питома швидкість росту ( $\mu$ ); в – продуктивність (P); 1 – *Monoraphidium* sp. IBASU-A шт. 574 на середовищі Тамія; 2 – на середовищі Бурреллі; 3 – *Chlorella vulgaris* Weijer. IBASU-A шт. 189 (контроль) на середовищі Тамія

Одним з важливих показників при відборі штамів для потреб біоенергетики є високий вміст ліпідів. Найбільший вміст цих речовин мають деякі представники родин *Chlorellaceae*, *Scenedesmaceae* та *Botryococcaceae*, наприклад *Scenedesmus* sp. (53%), *Chlorella vulgaris* (56%), *Botryococcus braunii* Kütz. (65–70%) тощо (Spolaor et al., 2006; Chisti, 2007;

Deng et al., 2009; Getachew et al., 2020). Визначена нами загальна кількість ліпідів *Monoraphidium* sp. шт. 574 становила 33,65% сухого залишку (Tsarenko et al., 2020). Це дещо нижче за таку у зазначених вище видів, однак значно вище порівняно з перспективними для промислового використання штамми роду *Monoraphidium*. Загалом, вміст ліпідів у відомих олієвмістних водоростей роду *Monoraphidium* та представників родини *Selenastraceae* (*Ankistrodesmus* Corda, *Podahedriella* Hindák, *Selenastrum* Reinsch) змінюється в межах 15,9–52,0% (Yang et al., 2012; Bogen et al., 2013a, b; Sathya, Srisudha, 2013; Holbook et al., 2014; Patidar et al., 2014; Diaz et al., 2015; Shrivastav et al., 2015; Wu et al., 2015; Figuera et al., 2016; Che et al., 2017; Sehgal et al., 2019; Getachev et al., 2020).

Якісний та кількісний склад жирних кислот (ЖК) також є одним з ключових показників вихідної сировини для виробництва біодизеля (Knothe, 2009; Nascimento et al., 2013). Аналіз ефірів ЖК з використанням методу газорідинної хроматографії виявив у жирнокислотному профілі біомаси *Monoraphidium* sp. шт. 574 наявність чотирьох провідних ЖК, а саме: насиченої (НЖК) пальмітинової (C16:0), мононенасиченої (МНЖК) олеїнової (C18:1), поліненасичених (ПНЖК) – лінолевої (C18:2n-6) та ліноленої (C18:3n-3). Це співпадає з результатами інших авторів, які вказують на кількісне переважання у складі ліпідів біомаси водоростей роду *Monoraphidium* ЖК з довжиною вуглеводневої ланки C16-C18 (див. таблицю), що вважається найперспективнішим для виробництва біопалива (Bogen et al., 2013a, b).

Таблиця. Склад головних жирних кислот відомих біотехнологічних штамів видів водоростей роду *Monoraphidium*

Вид, штам	Головні жирні кислоти	Літературні дані
<i>Monoraphidium</i> sp. IBASU-A 574	<b>C16:0, C18:1, C18:2, C18:3</b>	
<i>Monoraphidium contortum</i> (Thur.) Komárk.-Legn. SAG 47.80	<b>C16:0, C18:1, C18:2, C18:3; C16:4; C18:4</b>	Bogen et al., 2013a, b; Lang et al., 2011
<i>M. contortum</i> G7	<b>C16:0, C18:1, C18:2, C18:3</b>	Sathya, Srisudha, 2013
<i>M. contortum</i> 21.37	<b>C16:0, C18:1</b>	Massimi, Kirkwood, 2016
<i>M. dybowski</i> (Wolosz.) Hindák et Komárk.-Legn. SAG 202-2e	<b>C16:0, C16:1, C18:1, C18:2</b>	Bogen et al., 2013a, b
<i>M. dybowski</i> XJ 435	<b>C16:0, C18:1, C18:2</b>	Wu et al., 2015
<i>M. dybowski</i> XJ 151	<b>C16:0, C18:1, C18:2, C18:3</b>	Wu et al., 2015
<i>M. dybowski</i> C29	<b>C16:0, C18:1, C18:2, C18:3</b>	Yang et al., 2012

<i>Monoraphidium griffithii</i> (Berk.) Komárk.-Legn. SAG 202-13	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:2, C18:3, C16:4, C18:4	Bogen et al., 2013a, b; Lang et al., 2011
<i>M. griffithii</i> 20.47	<b>C16:0, C18:1</b>	Massimi, Kirkwood, 2016
<i>M. minutum</i> (Nägeli) Komárk.-Legn.	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:2, C18:3	Patidar et al., 2014
<i>M. neglectum</i> Heyning et Krienitz SAG 48.87	<b>C16:0, C18:1, C18:2</b> , C18:3; C16:4	Bogen et al., 2013a, b; Lang et al., 2011
<i>M. neglectum</i> SAG 2006	<b>C16:0</b> , C18:1,	Krienitz, Wirth, 2006
<i>M. pusillum</i> (Printz) Komárk.-Legn. XJ 486	<b>C16:0, C18:1, C18:2</b>	Wu et al., 2015
<i>M. terrestre</i> (Bristol) Krienitz et Klein SAG 49.87	<b>C16:0, C18:1, C18:2</b> , C18:3, C16:4	Bogen et al., 2013a, b
<i>M. tortile</i> (W.West et G.S.West) Komárk.-Legn. SAG 16.81	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:3	Bogen et al., 2013 a, b
<i>Monoraphidium</i> sp., Dek 19	<b>C16:0, C18:1, C18:2</b> , C18:3,	Holbrook et al., 2014
<i>Monoraphidium</i> sp.	<b>C16:0</b> , C18:1, <b>C18:2</b> , C18:3	Shrivastav et al., 2015
<i>Monoraphidium</i> sp.	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:2, <b>C18:3</b>	Diaz et al., 2015
<i>Monoraphidium</i> sp.	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:2, <b>C18:3</b>	Figuera et al., 2016
<i>Monoraphidium</i> sp.	<b>C16:0</b> , C18:1, <b>C16:4</b> , <b>C18:4</b>	Řezanka et al., 1917
<i>Monoraphidium</i> sp. QLY-1	C16:0, C18:1, C18:2; C16:4, C16:4	Zhao et al., 2016
<i>Monoraphidium</i> sp. FXY-10	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:3; C16:4	Yu et al., 2012
<i>Monoraphidium</i> sp. QLY-1	C16:0, C18:1, C18:2, C18:3	Li et al., 2017
<i>Monoraphidium</i> sp. 17.013	<b>C16:0, C18:1</b> , C16:4	Massimi, Kirkwood, 2016
<i>Monoraphidium</i> sp. 19.15	<b>C16:0, C18:1</b> , C16:4	Massimi, Kirkwood, 2016
<i>Monoraphidium</i> sp. XJ 176	<b>C16:0, C18:1</b> , C18:2, C18:3	Wu et al., 2015

Примітка: Умовні позначення жирних кислот (ЖК): C16:0 – пальмітинова; C16:1 – пальмітоолеїнова; C16:4 – гексадекатетраєнова (виявлена в окремих штаммах); C18:1 – олеїнова; C18:2 – лінолева; C18:3 – ліноленова. Жирним шрифтом виділені ЖК, частка яких становить більше 15%.

Так, для відомих біотехнологічних штамів *Monoraphidium contortum* (Thur.) Komárk.-Legn., *M. dybowski* (Wołosz.) Hindák et Komárk.-Legn., *M. griffithii* (Berk.) Komárk.-Legn., *M. minutum* (Nägeli) Komárk.-Legn., *M. neglectum* Heyning et Krienitz, *M. pusillum* (Printz) Komárk.-Legn. та

*Monoraphidium* sp. характерним є домінування пальмітинової (С16:0) НЖК (17,7–48,94%) та олеїнової (С18:1) МНЖК (16,09–57,6%), рідше лінолевої (С18:2) та ліноленої (С18:3) ПНЖК (4,1–26,0% та 5,0–13,9% відповідно) (Krienitz, Wirth, 2006; Bogen et al., 2013a, b; Patidar et al., 2014; Diaz et al., 2015; Shrivastav et al., 2015; Wu et al., 2015; Figuera et al., 2016 та ін.). Кількісне переважання НЖК та МНЖК у складі ліпідів обумовлює високу якість сировини для виробництва біодезеля (Knothe, 2008). Значний вміст довголанцюгових ПНЖК – лінолевої (С18:2n-6) та ліноленої (С18:3n-3), так званих  $\omega$ 3- і  $\omega$ 6-кислот, необхідних (ессенціальних) для підтримки життєдіяльності тварин і людини, вказує на цінність біомаси водоростей як сировини для харчової та фармацевтичної промисловостей (Spolaore et al., 2006; Zolotoryova et al., 2008; Brennan, Owende, 2010; Řezanka, 2017). Окрім цього, деякі штами видів роду *Monoraphidium* (*M. contortum*, *M. dybowskii*, *M. griffithii*, *Monoraphidium* sp.) здатні за певних умов культивування продукувати відносно значну кількість довголанцюгових гексадекатрієнової (С16:4 $\omega$ -3) (10,4–19,9%) та стеаридонової (С18:4 $\omega$ -3) (8,7–34,7%) ПНЖК, які представляють велику цінність для комерційного застосування водоростей (Lang et al., 2011; Bogen et al., 2013a, b; Massimi, Kirkwood, 2016; Che et al., 2017; Řezanka et al., 2017). Разом з цим літературні дані засвідчують значну варіабельність якісного та кількісного складу ЖК, що обумовлено як біологічними властивостями окремих штамів, так і різними умовами їх вирощування, наприклад авто-, міксо- та гетеротрофного культивування водоростей у лабораторних умовах або в біореакторах та промислових установках (Yu et al., 2012; Chaichalerm et al., 2012; Bogen et al., 2013a, b; Patidar et al., 2014; Shrivastav et al., 2015; Lari et al., 2016; Zhao et al., 2016 та ін.).

Наявна також інформація, що вказує на залежність формування жирнокислотного профілю ліпідів від фази життєвого циклу водоростей (Nascimento et al., 2013; Chaudhary et al., 2014). На прикладі досліджень динаміки накопичення різних видів ЖК у біомасі перспективних штамів *Chlorella vulgaris*, *Desmodesmus armatus* (Chodat) E.Hegew. та *Desmodesmus* sp. (= *Scenedesmus quadricauda* (Turpin) Gréb.) показано домінування НЖК у всіх видів у логарифмічній фазі та збільшення вмісту ПНЖК на стаціонарній фазі росту (Chaudhary et al., 2014). Аналогічна динаміка кількісних показників ЖК спостерігалася нами в експериментах з *Monoraphidium* sp. шт. 574 (рис. 4). За період інтенсивного росту вдвічі більшим, ніж на початку експерименту, і становив 36,01% сухого залишку. Виявлена закономірність підтверджує необхідність проведення таких досліджень для досліджуваного штаму після 10 діб культивування вміст МНЖК (С18:1) був найвищим і сягав 43%. При цьому показники кількості НЖК (С16:0) та ПНЖК (С18:2 і С18:3) виявилися практично однаковими і становили 17,38 та 18,13% відповідно.

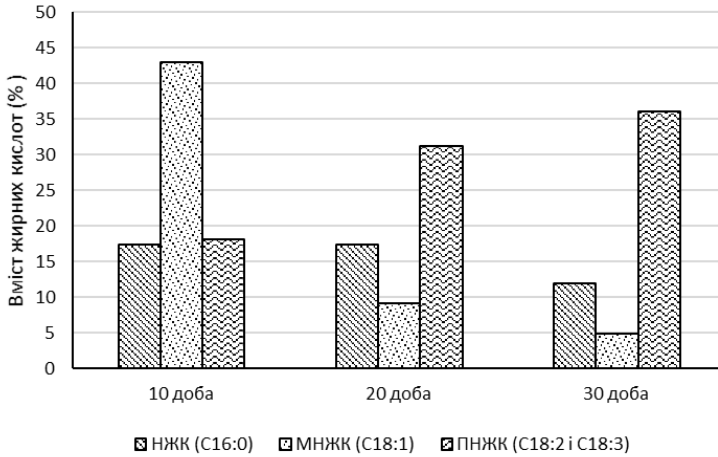


Рис.4. Динаміка відносного накопичення ЖК за період росту дослідженого штаму

Після 20 діб культивування кількість МНЖК (C18:1) різко знизилася і залишалася незначною до кінця експерименту. Водночас кількість ПНЖК (C18:2 і C18:3) почала зростати і досягла 33,18%, але вміст НЖК (C16:0) не змінився. Після 30 діб культивування вміст ПНЖК (C18:2 і C18:3) був встановлення оптимального терміну вирощування водоростей і забезпечення найбільшого виходу цільового продукту.

### Висновки

Проведено дослідження інтенсивності росту та біологічних особливостей регіонального штаму *Monoraphidium* sp. IBASU-A 574, адаптованого до кліматичних умов помірної зони, з метою оцінки його біотехнологічного потенціалу. Визначено характер його росту та кінетичні характеристики (питома швидкість росту і продуктивність) у порівнянні з відомим продуцентом біомаси *Chlorella vulgaris* Beijer. IBASU-A 189 (=CALU 157). Встановлено, що активний ріст *Monoraphidium* sp. шт. 574 співставний з інтенсивністю росту відомого продуцента і характеризується параметрами (максимальна кількість клітин – 248 млн·мл<sup>-1</sup>, питома швидкість росту – 1,4 доби<sup>-1</sup>, продуктивність – 72,5 млн кл·мл<sup>-1</sup>·доби<sup>-1</sup>), які дозволяють розглядати його як перспективний продуцент біомаси для виробництва біодизеля.

Аналіз жирнокислотного профілю ліпідів досліджуваного штаму методом газорідної хроматографії виявив наявність провідного комплексу з пальмітинової (C16:0), олеїнової (C18:1), лінолевої (C18:2) та ліноленої (C18:3) жирних кислот, кількісне співвідношення яких обумовлює високу якість сировини для виробництва біопалива. В експериментах відзначено динаміку формування жирнокислотного складу ліпідів в залежності від стадії росту культури, що підтверджує необхідність

проведення таких досліджень для визначення оптимального терміну вирощування водоростей і забезпечення найбільшого виходу цільового продукту. На ранніх стадіях культивування ліпідний склад біомаси *Monoraphidium* sp. IBASU-A 574 містить більше пальмітинової (C16:0) та олеїнової (C18:1) жирних кислот, що важливо для виробництва біодизеля високої якості, і навпаки, на пізніх стадіях культивування відзначено переважання незамінних для людини та тварин довголанцюжкових поліненасичених кислот – лінолевої (C18:2) та ліноленої (C18:3). Таким чином, колекція біотехнологічних штамів IBASU-A поповнилася новим вітчизняним штамом – перспективним продуцентом біомаси як сировини для виробництва біопалива та цінних органічних речовин для харчової та фармацевтичної промисловостей.

### Список літератури

- Algal culturing techniques*. 2005. Ed. Andersen R.A. Amsterdam: Elsevier Acad. Press. 578 p.
- Amin S. 2009. Review on biofuel oil and gas production from microalgae. *Energy Convers. Manag.* 50: 1834–1840.
- Bischoff H.W., Bold H.C. 1963. Phycological studies. IV. Some soil algae from Enchanted Rock and related algae species. *Univ. Texas Publ.* 6318: 1–95.
- Bogen C., Al-Dilami A., Albersmeier A., Wichmann J., Grundmann M., Rupp O., Lauersen K.J., Blifernez-Klassen O., Kalinowski J., Goesmann A., Mussgnug J.H., Kruse O. 2013a. Reconstruction of the lipid metabolism for the microalga *Monoraphidium neglectum* from its genome sequence reveals characteristics suitable for biofuel production. *BMC Genomics* 14(1): 926–930.
- Bogen C., Klassen V., Wichmann J., La Russa M., Doebbe A., Grundmann M., Uronen P., Kruse O., Mussgnug J.H. 2013b. Identification of *Monoraphidium contortum* as a promising species for liquid biofuel production. *Biores. Technol.* 133: 622–626.
- Bohnenberger J., Crossetti L.O. 2014. Influence of temperature and nutrient content on lipid production in freshwater microalgae cultures. *An. Acad. Bras. Cienc.* 86(3):1239–1248.
- Borysova E.V., Tsarenko P.M. 2004. Microalgae Culture Collection of Ukraine (IBASU-A). *Nova Hedw.* 79(1–2): 127–134.
- Borysova O.V., Tsarenko P.M., Konishchuk M.O. 2014. *Microalgae Culture Collection IBASU-A*. Київ. 110 p. [Борисова О.В., Царенко П.М., Конішчук О.М. 2014. Колекція культур мікроводоростей IBASU-A. Київ. 110 с.].
- Borysova O.V., Tsarenko P.M., Konishchuk M.O. 2016. Microalgae Culture Collection (IBASU-A) as an object of national heritage of Ukraine. *Ukr. Bot. J.* 73(5): 453–460. [Борисова О.В., Царенко П.М., Конішчук М.О. 2016. Колекція культур мікроводоростей (IBASU-A) як об'єкт національного надбання України. *Укр. бот. журн.* 73(5): 453–466].
- Brennan L., Owende P. 2010. Biofuel from algae – A review of technologies for production, processing and extractions of biofuels and co-products. *Renew. Sust. Energy Rev.* 14: 557–577.

- Chaichalerm S., Pokethitiyook P., Yuan W., Meetam M., Sritong K., Pugkaew W., Kungvansaichol K., Kruatrachue M., Damrongphol P. 2012. Culture of microalgal strains isolated from natural habitats in Thailand in various enriched media. *Appl. Energy*. 89(1): 296–302.
- Chaudhary R., Khattar J.I.S., Sing D.P. 2014. Microalgae as feedstock for biofuel, biomass yield, lipid content and fatty acid composition as selection criteria. *Int. J. Power Renew. Energy Syst.* 1: 62–69.
- Che R., Huang L., Xu J.-W., Zhao P., Li T., Ma H., Yu X. 2017. Effect of fulvic acid induction on the physiology, metabolism, and lipid biosynthesis-related gene transcription of *Monoraphidium* sp. FXY-10. *Biores. Technol.* 227: 324–334.
- Chisti Y. 2007. Biodiesel from microalgae. *Biotechnol. Adv.* 25: 294–306.
- Deng X., Yajun L., Fei X. 2009. Microalgae: A promising feedstock for biodiesel. *Afr. J. Microbiol. Res.* 3(13): 1008–1014.
- Diaz G.C., Cruz Y.R., Carlis R.G., de Paula R.C.V., Aranda D.A.G., Dario M.A.G., Marassi G.S., Furtado N.C. 2015. Cultivation of microalgae *Monoraphidium* sp., in the plant pilot the Grant Valle Bio Energy, for biodiesel production. *Nat. Sci.* 7: 370–378.
- Figuera A., Reyes Y., González R., Paula R., Basto L., Aranda D. 2016. Monitoring the consumption of *Monoraphidium* sp. microalgae: Characterization of algal biomass produced. *Revista Latinoamericana Biotech. Ambient. Algal.* 7(2): 42–56.
- Getachew D., Mulugeta K., Gemechu G., Murugesan K. 2020. Values and drawbacks of biofuel production from microalgae. *Appl. Biotechnol.* 7(1): 1–6.
- Holbrook G., Dayidson Z., Tataru R.A., Ziemer N.L., Rosentrater K.R., Grayburn S. 2014. Use of the microalga *Monoraphidium* sp. grown in wastewater as a feedstock for biodiesel: Cultivation and fuel characteristics. *Appl. Energy*. 131: 386–393.
- Knothe G. 2009. Improving biodiesel fuel properties by modifying fatty esters composition. *Energy Environ. Sci.* 2: 759–766.
- Krienitz L., Wirth M. 2006. The high content of polyunsaturated fatty acids in *Nannochloropsis limnetica* (Eustigmatophyceae) and its implication for food web interactions, freshwater aquaculture and biotechnology. *Limnology.* 6: 204–210.
- Kvitko K.V., Borshchevskayan N.N., Chunaev A.S., Tugarinov V.V. 1983. In: *Cultivation of algal collection strain*. Leningrad: Leningrad State Univ. Publ. 28–56. [Квитко К.В., Борщевская Т.Н., Чунаев А.С., Тугаринов В.В. 1983. Петергофская коллекция штаммов водорослей. В кн.: *Культивирование коллекционных штаммов водорослей*. Л.: Изд-во Ленинград. ун-та. С. 28–56].
- Lang L., Hodac L., Friedl T., Feussner I. 2011. Fatty acid profiles and their distribution patterns in microalgae: a comprehensive analysis of more than 2000 strains from the SAG culture collection. *BMC Plant Biol.* 11(1): 124.
- Lari Z., Moradi-Kheibari N., Ahmadzadeh H., Abrishamchi P., Moheimani N.R., Murry M.A. 2016. Bioprocesses engineering of microalgae to optimize lipid production through nutrient management. *J. Appl. Phycol.* <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0884-6>

- Li D., Zhao Y., Ding W., Zhao P., Xu J.-W., Li T., Ma H., Yu X. 2017. A strategy for promoting lipid production in green microalgae *Monoraphidium sp.* QLY-1 by combined melatonin and photoinduction. *Biores. Technol.* 23: 104–112.
- Massimi R., Kirkwood A.E. 2016. Screening microalgae isolated from urban storm- and wastewater systems as feedstock for biofuel. *PeerJ peerj.* 2396(12). <https://doi.org/10.7717/peerj.2396>
- Mata T.M., Martins A.A., Caetano N.S. 2010. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. *Renew. Sust., Energ. Rev.* 14: 217–232.
- Methods on physiological and biochemical studies of microalgae in hydrobiological practice.* Ed. A.V. Topachevsky 1975. Kyiv: Naukova Dumka. 247 p. [Методи фізіолого-біохімічного дослідження водоростей в гідробиологічній практиці. 1975. Під ред. А.В. Топачевського. Київ: Наук. думка. 247 с].
- Nascimento I.A., Marques S.S.I., Cabanelas I.T.D., Pereira S.A., Druzian J.I., de Souza C.O., Vich D.V., de Carvalho G.C., Nascimento M.A. 2013. Screening microalgae strains for biodiesel production and estimation of fuel quality based on fatty acid profiles as selective criteria. *Bioenergy Res.* 6: 1–13.
- Patidar S.K., Mitra M., George B., Soundarya R., Mishra S. 2014. Potential *Monoraphidium minutum* for carbon sequestration and lipid production in response to varying growth mode. *Biores. Technol.* 172: 32–40.
- Řezanka T., Nedbalová L., Lukavský J., Střížek A., Sigler K. 2017. Pilot cultivation of the green alga *Monoraphidium sp.* producing a high content of polyunsaturated fatty acids in a low-temperature environment. *Algal Res.* 22: 160–165.
- Sathya S., Srisudha S. 2013. Isolation and identification of freshwater microalgae strain – potential for biofuel production. *Int. J. Recent Sci. Res.* 4(9): 1432–1437.
- Sehgal A., Goswami K., Pal M., Chikkaputtaiah C., Chetia P., Boruah H.P.D. 2019. Morpho-taxonomic, genetic, and biochemical characterization of freshwater microalgae as potential biodiesel feedstock. *Biotech.* 9(4): 1–17.
- Sheehan J., Dunahay T.G., Beneman J.R., Roessler P.G. 1998. *A look back at the U.S. Department of Energy's Aquatic Species Program: biodiesel from algae. Close-out report.* Golden, CO: NREL. 296 p.
- Shrivastav A., Mishra S.K., Suh W.I., Farooq W., Moon M., Kim T.-H., Kumar K., Choi G.-G., Park M.S., Yang J.-W. 2015. Characterization of newly isolated oleaginous microalga *Monoraphidium sp.* for lipid production under different conditions. *Algal. Res.* 12: 289–294.
- Sorochinsky B., Blume Ya., Sozinov O. 2010. *Liquid biofuels: current state and tendencies.* Kyiv: DIA. 116 p. [Сорочинський Б.В., Блюм Я.Б., Созінов О.О. 2010. Рідкі біопалива: сучасний стан та тенденції. Київ: ДІА. 116 с.].
- Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. 2006. Commercial applications of microalgae. *J. Biosci. Bioeng.* 101: 87–96.
- Tamura K., Stecher G., Peterson D., Filipiński A., Kumar S. 2013. MEGA 6: molecular evolutionary genetics analysis version 6.0. *Mol. Biol. Evol.* 30(12): 2725–2729.

- Trenkenshu R.P. 2005. Simplest models of microalgal growth. Batch culture. *Mar. Ecol.* 67: 89–97.  
[Тренкеншу Р.П. 2005. Простейшие модели роста микроводорослей. Периодическая культура. *Экол. моря.* 67: 89–97].
- Tsarenko P.M., Borysova O.V., Blume Ya.B. 2011. Microalgae as bioenergetic object: IBASU-A collection species – perspective producers of biomass as the source of raw stuff for biofuel. *Visn. Nat. Acad. Sci. Ukraine.* 5: 49–54. [Царенко П.М., Борисова О.В., Блюм Я.Б. 2011. Микроводорості як об'єкт біоенергетики. Види колекції IBASU-A – перспективні продуценти біомаси як джерела сировини для біопалива. *Вісн. НАН України.* 5: 49–54].
- Tsarenko P., Borysova O., Blume Ya. 2016. High biomass producers and promising candidates for biodiesel production from microalgae collection IBASU-A (Ukraine). *Oceanol. Hydrobiol. Stud.* 45(1): 79–85.
- Tsarenko P.M., Borysova O.V., Korkhovi V.I., Blume Ya.B. 2020. High-efficiency Ukrainian strains of microalgae for biodiesel fuel production (Overview). *Open Agricult. J.* 14: 9–218.
- Tsarenko P.M., Konishchuk M.O., Korkhovoy V.I., Kostikov I.Yu., Blume Ya.B. 2017. Fatty acid composition of cocoid green algae as a basis for energy and primary products potential. 1. *Chlorella* and *Acutodesmus*-like microalgae (*Chlorophyta*). *Int. J. Algae.* 19(4): 367–384. <https://doi.org/10.1615/InterJAlgae.v19.i4.70>
- White T.J., Bruns T., Lee S.J.W.T., Teylor J. 1990. Application and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications.* London: Acad. Press. 18(1): 315–322.
- Woertz I., Feffer A., Lundquist T., Nelson Y. 2009. Algae grown on dairy and municipal wastewater for simultaneous nutrient removal and lipid production for biofuel feedstock. *J. Environ. Eng.* 135(11): 1115–1122.
- Wu L., Xu L., Hu C. 2015. Screening and characterization of oleaginous microalgal species from North Xinjiang. *J. Microbiol. Biotechnol.* 25(6): 910–917.
- Yang X., Liu P., Hao X., Shi S., Zhang S. 2012. Characterization and identification of freshwater microalgal strain toward biofuel production. *BioResources.* 7(1): 686–695.
- Yu X., Zhao P., He C., Li J., Tang X., Zhou J., Huang Z., Zhou J., Huang Z. 2012. Isolation of a novel strain of *Monoraphidium sp.* and characterization of its potential application as biodiesel feedstock. *Biores. Technol.* 121: 256–262.
- Zhao Y., Li D., Ding K., Che R., Xu J.-W., Zhao P., Li T., Ma H., Yu X. 2016. Production of biomass and lipids by the oleaginous microalgae *Monoraphidium sp.* QLY-1 through heterotrophic cultivation and photo-chemical modulator induction. *Biores. Technol.* 211: 669–676.
- Zhao P., Yu X., Li J., Tang X., Huang Z. 2014. Enhancing lipid productivity by co-cultivation of *Chlorella sp.* U4341 and *Monoraphidium sp.* FXY-10. *J. Biosci Bioeng.* 118(1):72–77.
- Zhu L. 2015. Microalgal culture strategies for biofuels production: A review. *Biofuels, Bioprod. Bioref.* 9: 801–814.
- Zolotaryova O.K., Schnyukova E.L., Sivash O.O., Mykhailenko N.P. 2008. Perspectives of the use of microalgae in biotechnology. Kyiv: Altepress. 234 p. [Золотарьова О.К., Шнюкова Є.К., Сиваш О.О., Михайленко Н.Ф. 2008. *Перспективи використання микроводорослей у біотехнології.* Київ: Альтерпрес. 234 с.]

Підписала до друку О.К. Золотарьова

Tsarenko P.M.<sup>1</sup>, Borysova O.V.<sup>1</sup>, Kharkhota M.A.<sup>2</sup>, Zelena L.B.<sup>2</sup>, Konischuk M.O.<sup>1</sup>, Burova O.V.<sup>1</sup>, Blume Ya.B.<sup>3</sup> 2022. **Monoraphidium sp. IBASU-A 574 (*Selenastraceae*, *Chlorophyta*) - a promising producer of biomass for bioenergy.** *Algologia*. 32(1): 88–104.

<sup>1</sup>M.G. Kholodny Institute of Botany NAS of Ukraine,

2 Tereschenkivska Str., Kyiv 01601, Ukraine

<sup>2</sup>D.K. Zabolotny Institute of Microbiology and Virology NAS of Ukraine

154 Acad. Zabolotny Str., Kyiv 03680, Ukraine

<sup>3</sup>Institute of Food Biotechnology and Genomics of NAS of Ukraine,

2a Osypovskogo Str., Kyiv, 04123, Ukraine

The present studies were carried out to evaluate a potential biofuel application of the native strain *Monoraphidium sp. IBASU-A 574 (Selenastraceae, Chlorophyta)* adapted to the temperate zone climatic conditions. This strain was isolated from a small freshwater lake situated in Kyiv-city (Ukraine) by the reached culture method for obtaining desired strains of different species with high growth rate. It was identified based on its morphological characterization under light microscopy and 18S rRNA sequence analysis. Its culture's growth, kinetic characteristics (specific growth rate and productivity) and biological peculiarities of the investigated strain were studied in comparison with the well-known biomass producer *Chlorella vulgaris* Beijer. CALU 157 under the same autotrophic cultivating conditions with using the modified Tamiya medium. It was established an active growth of *Monoraphidium sp. IBASU-A 574* which was practically equal to the well-known producer and characterized by following parameters: a maximum cell density of  $248 \cdot 10^6$  cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup>, the specific growth rate of 1.4 days<sup>-1</sup> and productivity of  $72.5 \cdot 10^6$  cells  $\cdot$  mL<sup>-1</sup>  $\cdot$  days<sup>-1</sup>. The results of gas-liquid chromatography analysis showed that a fatty acid profile of this microalga included a complex of palmitic (C16: 0), oleic (C18: 1), linoleic (C18: 2) and linolenic (C18: 3) major fatty acids with suitable proportion for developing biodiesel feedstocks. Moreover, there was considerable variation in formation of its fatty acid composition depending on the stage of growth, that confirmed the necessity for such studies to determine both optimal time for growing algae and gaining maximum yield of target products. Thus, *Monoraphidium sp. IBASU-A 574* was found to be the promising producer of biomass for bioenergetic industry due to obtained data of its growth characteristics and suitable fatty acid profile of lipids.

**Key words:** microalgae, *Monoraphidium sp.*, strain, collection IBASU-A, lipids, fatty acid profile, biodiesel