

УДК [581. 526. 325: 502. 171] (282) (477)

Ю. С. Шелюк

### **СТРУКТУРА І ФУНКЦІОНУВАННЯ ФІТОПЛАНКТОНУ ВОДОЙМ АНТРОПОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ**

Представлено результати дослідження таксономічного складу та кількісного розвитку фітопланктону затоплених піщаних і гранітних кар'єрів м. Житомира, наведено його еколого-географічну характеристику, зроблено оцінку суцесійного стану планктонних угруповань водойм антропогенного походження за продукційними показниками.

*Ключові слова:* фітопланктон, кар'єри, таксономічний склад, сапробність, частота трапляння, первинна продукція.

Водоростеві угруповання як первинна ланка гідроекосистем та індикатор різних типів забруднюючих речовин — важливий і невід'ємний компонент сучасних гідроекологічних досліджень, який дозволяє характеризувати якість водного середовища та інтегровано оцінювати екологічний стан водних екосистем.

Дослідження різноманіття автотрофної компоненти антропогенно створених водойм мають теоретичне і прикладне значення для розробки принципів використання біопродукційного потенціалу штучних водних екосистем та питань біоіндикації, а також можуть слугувати науковою основою планування водогосподарських заходів і рекомендацій щодо рекреації.

Метою роботи було встановити особливості формування та функціонування водоростевих угруповань водойм антропогенного походження м. Житомира.

**Матеріал і методика досліджень.** Відбір альгологічних проб здійснювали упродовж вегетаційного сезону 2009—2012 рр. подекадно на стаціонарних станціях, розташованих на затоплених в останні десятиліття колишніх піщаних (Селецькому і Слобідському) та гранітних (Богунському і Сонячному) кар'єрах. Усього відібрано 280 альгологічних проб, які фіксували, згущували та камерально опрацьовували загальновідомими методами [5, 10]. Визначення систематичного складу водоростей проводили відповідно до [12]. Еколого-географічна характеристика водоростей за індикаторними видами подана згідно [2]. Подібність видового складу фітопланктону кар'єрів встановлю-

© Ю. С. Шелюк, 2014

вали за [14]. Показники таксономічного різноманіття, або «співвідношення флори» наведені згідно з прийнятою у порівняльній флористиці формою: відносна кількість родин, прийнята за 1 : середня кількість родів у родині : середня кількість видів у родині : середня кількість внутрішньовидових таксонів (включно з номенклатурним типом виду) у родині [9].

Первинну продукцію фітопланктону та деструкцію органічної речовини визначали на горизонтах 0,05, 0,5 та 1 м методами, описаними раніше [8]. Експозиція проб становила 1 добу. Гідрохімічний аналіз проводили за стандартними методиками [5].

Богунський кар'єр має площу 120 тис. м<sup>2</sup>, максимальну глибину 20 м, розташований у 6 км від центра м. Житомира, розроблявся способом «черпання» граніту. Дно вкрите мулом, частково утвореним за рахунок процесів гниття листового опаду лісів, які оточують кар'єр із західного боку. Кар'єр Сонячний знаходиться в 9 км від центра міста, має рівне та пологіе дно. Обидва кар'єри використовуються для рекреації та аматорського вилову риби. Планове завершення робіт на кар'єрах пов'язане із вичерпанням сировини.

Піщані кар'єри Слобідський та Селецький розташовані на околицях м. Житомира, після затоплення переважно виконують рекреаційну функцію. Літературних відомостей щодо морфометричних характеристик чи компонентів біоти цих кар'єрів не знайдено.

### *Результати досліджень та їх обговорення*

У планктоні Богунського кар'єру виявлено 117 видів водоростей, представлених 125 внутрішньовидовими таксонами, враховуючи ті, які містять номенклатурний тип виду (табл. 1).

За кількістю видів (внутрішньовидових таксонів), а також складом провідних родів фітопланктон кар'єру можна характеризувати як зелено-діатомово-синьозелений. Співвідношення флори становило 1: 1,6: 2,4: 2,6.

Найвищим видовим різноманіттям характеризувалися класи Chlorophyceae — 29% загального видового та внутрішньовидового різноманіття водоростей, Bacillariophyceae — 20, Cyanophyceae — 12%. На рівні порядків домінували Sphaeropleales — 22%, Chroococcales — 12, Naviculales — 6, Fragilariales — 5%. Провідними родинами були Scenedesmaceae (7%), Bacillariaceae (5%), Microcystaceae (3%).

За відношенням таксономічних категорій «вид» і «рід» переважали евгленові, родовий коефіцієнт яких сягав чотирьох. Висока насиченість родів видами в евгленових, яку ми раніше відмічали для р. Тетерів [3], а також ряд дослідників — для низки водойм різного типу, зокрема для Канівського водосховища [4], р. Волги [7], ймовірно, пов'язана з їхньою значною пристосованістю до дії різних чинників середовища.

1. Таксономічний склад фітопланктону Богунського кар'єру

Відділи	Кількість таксонів					Родові коефіцієнти
	класи	порядки	родини	роди	види (в.в.т.)	
Цуанопрокар'юта	2	2	6	9	15 (18)	1,7
Еугленопфіта	1	1	1	1	4 (5)	4,0
Хризопфіта	1	2	3	4	4 (5)	1,5
Вациларіопфіта	3	12	15	22	38 (39)	1,7
Дінофіта	1	2	2	3	3 (4)	1,0
Хлорофіта	3	7	17	33	44 (44)	1,4
Стрептофіта	2	3	4	7	9 (10)	1,3
Усього	13	29	48	79	117 (125)	1,5

П р и м і т к а. Тут і в табл. 2—4: в. в. т. — внутрішньовидові таксони (включно з тими, що містять номенклатурний тип виду); родовий коефіцієнт — відношення кількості видів до кількості родів.

За рангової оцінки родового складу планктонних водоростей виявлено п'ять провідних за таксономічною значущістю родів: *Navicula* Borg, *Nitzschia* Hass., *Trachelomonas* Ehr., *Microcystis* Kütz. Ex Lemmerm., *Amphora* Ehr., які склали майже 19% усього видового і внутрішньовидового різноманіття фітопланктону Богунського кар'єру. Більшості родів водоростей властива низька представленість. Середня наповненість роду становить 1,5, переважна більшість родів (90%) має лише 1—2 види, але саме вони формують різноманіття фітопланктону водойми.

Найбільшу частоту трапляння мали *Cyclotella kuetzingiana* Thw. (88%), *Chrysococcus rufescens* Klebs (52%), *Stephanodiscus hantzschii* Grun. (43%), *Coccolithus microporum* Näg. (26%).

Фітопланктон кар'єру Сонячного формували 159 видів водоростей (169 в.в.т.) (табл. 2). На відміну від Богунського кар'єру, в ньому домінували діатомові водорості (38%). Співвідношення флори становило 1: 1,8: 2,9: 3,1.

Найбільшу флористичну значущість мали класи Bacillariophyceae — 28%, Chlorophyceae — 25, Cyanophyceae — 10%. На рівні порядків, як і в Богунському кар'єрі, домінував Sphaeropleales — 19%. Провідними родинами були Naviculaceae — 7%, Scenedesmaceae — 5, Bacillariaceae — трохи менше 5%.

Серед родів слід відмітити *Navicula*, *Nitzschia*, *Ulothrix* Kütz., *Amphora*, *Trachelomonas*, які мали пріоритет у видовому багатстві водойми і склали майже 19% усього видового і внутрішньовидового різноманіття її фітопланктону, а 81% родів мали лише 1—2 види.

Найбільшу частоту трапляння мали *Cyclotella kuetzingiana* (86%), *Stephanodiscus hantzschii* (48%), *Chrysococcus rufescens* (41%), *Carteria radiosa* Korsch. (36%), *Sellaphora pupula* (Kütz.) (21% проб).

## 2. Таксономічний склад фітопланктону кар'єру Сонячного

Відділи	Кількість таксонів					Родові коефіцієнти
	класи	порядки	родини	роди	види (в.в.т.)	
Цуанопрокариота	2	2	7	14	18 (21)	1,3
Euglenophyta	1	1	1	4	7 (9)	2,0
Chrysophyta	1	2	3	6	3 (4)	1,0
Bacillariophyta	3	12	19	29	64 (65)	2,2
Dinophyta	1	2	3	3	4 (5)	1,3
Chlorophyta	3	7	17	32	54 (55)	1,7
Streptophyta	2	3	4	7	9 (10)	1,3
Усього	13	29	54	95	159 (169)	1,7

## 3. Таксономічний склад фітопланктону Слобідського кар'єру

Відділи	Кількість таксонів					Родові коефіцієнти
	класи	порядки	родини	роди	види (в.в.т.)	
Цуанопрокариота	2	3	7	9	10 (10)	1,1
Euglenophyta	1	2	2	3	13 (16)	4,3
Chrysophyta	1	1	2	2	2 (2)	1,0
Bacillariophyta	3	8	11	15	29 (35)	1,9
Dinophyta	1	1	1	1	3 (3)	3,0
Chlorophyta	3	7	14	24	38 (40)	1,6
Streptophyta	1	1	2	6	9 (9)	1,5
Усього	12	23	39	60	104 (115)	1,7

У фітопланктоні Слобідського кар'єру було ідентифіковано 104 види водоростей, представлених 115 в. в. т. (табл. 3).

У флористичному відношенні найбагатшими у Слобідському кар'єрі виявилися зелені, діатомових та еугленові водорості — 36, 31 і 14%. Співвідношення флори становило 1: 1,4: 2,7: 2,9.

За відносними показниками різноманіття на рівні класів провідними були Chlorophyceae — 27%, Bacillariophyceae — 20, Euglenophyceae — 14%. На рівні порядків домінували Sphaeropleales — 19%, Euglenales — 14, Fragilariiales — 7%. Провідними родинами були Euglenaceae — 14%, Scenedesmaceae — 8, Bacillariaceae — 7%. Виділено 9 провідних за таксономічною значимістю родів, із них *Trachelomonas* і *Nitzschia* склали 19% усього видового і внутрішньовидового різноманіття фітопланктону кар'єру. При цьому більшість родів (85%) були представлені лише 1—2 видами. Найбільшу частоту

## 4. Таксономічний склад фітопланктону Селецького кар'єру

Відділи	Кількість таксонів					Родові коефіцієнти
	класи	порядки	родини	роди	види (в.в.т.)	
Цуанопрокaryota	2	2	4	5	6 (6)	1,2
Euglenophyta	1	1	1	1	7 (10)	7,0
Dinophyta	1	1	1	1	2 (2)	2,0
Chrysophyta	1	1	2	2	2 (2)	1,0
Bacillariophyta	3	8	10	15	24 (29)	1,6
Chlorophyta	3	6	11	15	24 (26)	1,6
Streptophyta	1	1	2	5	6 (6)	1,2
Усього	12	20	31	44	71 (81)	1,6

ту трапляння мали *Cyclotella kuetzingiana* (85%), *Chlamydomonas monadina* (Ehr.) F. Stein (39%), *Nitzschia linearis* var. *tenuis* (W. Sm.) (37%).

Фітопланктон Селецького кар'єру формував 71 вид водоростей (81 в. в. т). Як і в Слобідському кар'єрі, провідними виявилися зелені, діатомові та евгленові водорості. Співвідношення флори становило 1: 1,4: 2,3: 2,6 (табл. 4).

Найбільш таксономічно значущими класами були Chlorophyceae — 27%, Bacillariophyceae — 21, Euglenophyceae — 12%. Ранговий розподіл таксономічно значущих порядків відділу дозволив виділити Sphaeropleales — 20%, Euglenales — 12, Fragilariales — 10%. Провідними родинами були Euglenaceae — 12%, Scenedesmaceae — 10, Fragilariaceae і Bacillariaceae — по 9%. Серед родів слід відзначити *Trachelomonas* (13%), *Nitzschia* (9%), *Desmodesmus* (6%) і *Synedra* (5%), які мають пріоритет у видовому багатстві фітопланктону кар'єру і 86% родів мали лише 1—2 види. Найбільшу частоту трапляння мали *Cyclotella kuetzingiana* (86%), *Tetraedron caudatum* (Corda) Hansg. (35%), *Nitzschia linearis* var. *tenuis* (33%).

Ранжування видів водоростей за класами частоти трапляння показало, що в кар'єрах переважали види, що зустрічалися «зрідка» (в 1—4% проб) — 30—52% та «нечасто» (у 5—20% проб) — 29—44%. Значно меншу частку мали види, що зустрічалися «часто» (у 21—50% проб) — 2—40%, «досить часто» (у 51—80% проб) — 0—1% та «дуже часто» (у понад 80% проб) — по 1%. Це свідчить про те, що на сучасному етапі сукцесія відбувається за умов домінування природних чинників.

У сезонному аспекті розподіл водоростей був наступним. Максимальне різноманіття водоростей зареєстровано у літній період. Навесні провідна роль у формуванні видового та внутрішньовидового різноманіття належала Bacillariophyta та Chlorophyta. За їхнім переважанням, а також за складом провідних родів літній фітопланктон водойм можна характеризувати як зелено-діатомово-евгленовий, а Богунського кар'єру — зелено-діатомово-синьозелений. Восени провідними за таксономічною значущістю були зелені,

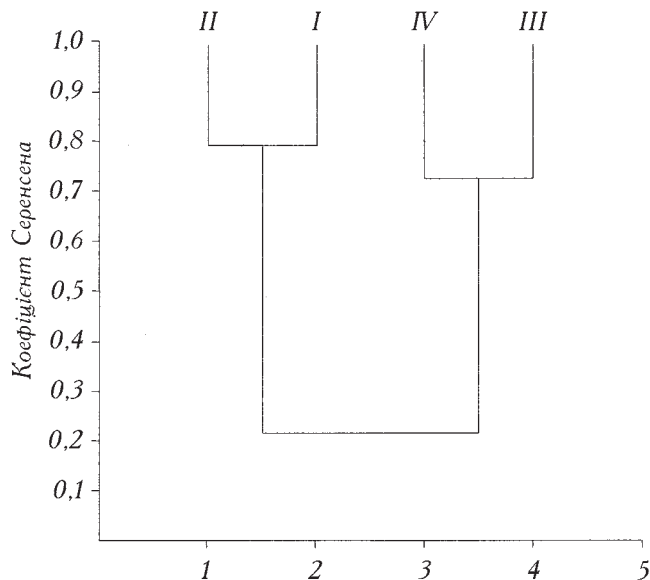
діатомові, синьозелені й евгленові водорості, лише в кар'єрі Сонячному упродовж усіх сезонів із найбільшою рясністю були представлені *Bacillariophyta*.

Порівняння різноманіття фітопланктону за коефіцієнтом Серенсена ( $K_S$ ) показує значний рівень подібності флор кар'єрів одного типу. Так, водоростеві угруповання піщаних кар'єрів Слобідського і Селецького мають велику кількість спільних видів ( $K_S = 0,79$ ). Подібна ситуація спостерігалася і у випадку гранітних кар'єрів Богунського та Сонячного ( $K_S = 0,72$ ).

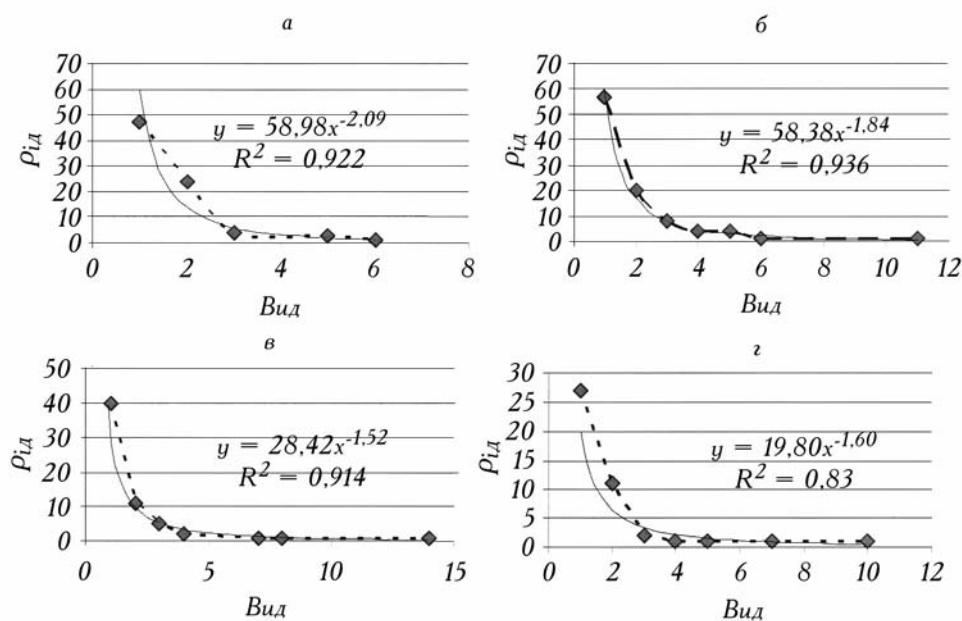
Проте аналіз дендрограми показує суттєву відмінність між планктонними угрупованнями кар'єрів різного типу — піщані і гранітні кар'єри мали незначну кількість спільних видів ( $K_S = 0,20—0,23$ ), що пояснюється відмінними геоморфометричними і гідрологічними особливостями досліджуваних водойм (рис. 1).

Достатньо досліджену альгофлору можна аналізувати з позиції системного аналізу, характеризуючи її якісні параметри: таксономічний склад, видове багатство та його динаміку. Графіки, які ілюструють залежність Вілліса, яка є критерієм повноти оцінки вивчення видового складу конкретного акваландшафту [11] для фітопланктону водойм антропогенного походження, підтверджують, що крива розподілу знайдених видів серед родів наближується до гіперболи (рис. 2). Це дозволяє стверджувати, що різноманіття їхніх альгофлор вивчено достатньо глибоко, дані є статистично достовірними, про що свідчать наведені рівняння.

За аналізом списків водоростей кар'єрів м. Житомира встановлено, що в них, незалежно від походження, переважають види-космополіти (84—95% загальної кількості видів, для яких визначено поширення). Проте досить помітною була частка бореальних видових і внутрішньовидових таксонів (3—6%). Види з альпійським ареалом виявлено лише в гранітних кар'єрах (по 2%). Також у них ідентифіковано форми, маловивчені у географічному відношенні (6—7%). Північно-альпійські та субтропічні форми ідентифіковано в кар'єрі Сонячному — відповідно 3 і 1%.



1. Дендрограма подібності видового складу фітопланктону водойм антропогенного походження м. Житомира. Тут і на рис. 3—5: кар'єри: I — Селецький; II — Слобідський; III — Богунський; IV — Сонячний.



2. Залежність Віллса для альгофлор водойм антропогенного походження м. Житомира: а — Богунський кар'єр; б — кар'єр Сонячний; в — Слобідський кар'єр; г — Селецький кар'єр.

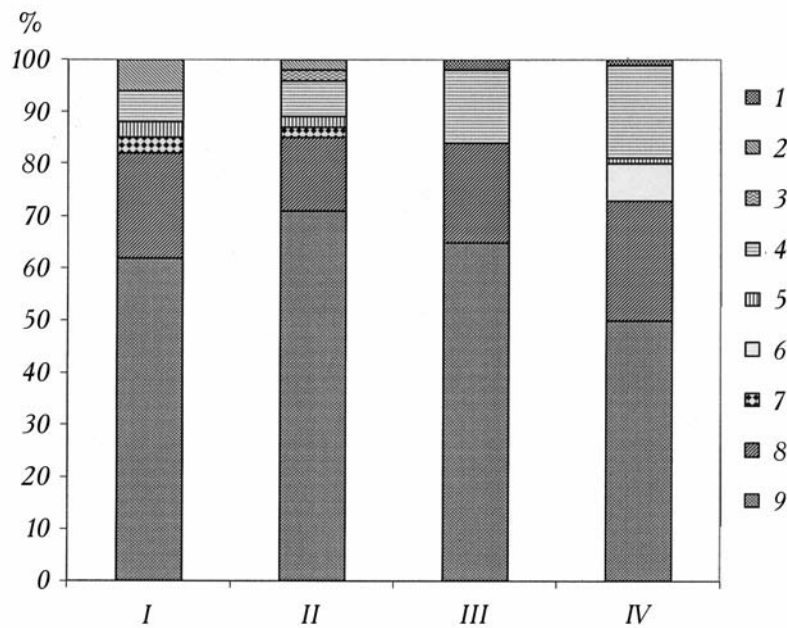
Щодо біотопічної приуроченості, то у фітопланктоні водойм антропогенного походження переважали планктонні форми (50—71%). Найбільша їх частка відмічена у Слобідському кар'єрі. На літоральні форми у піщаних кар'єрах припадало 14—23%, у гранітних — 14—18, на бентосні — 6—7%, що відображає специфіку досліджуваних водойм (рис. 3).

За відношенням до солоності води в альгофлорі кар'єрів домінували види-індиференти (74—78%) (рис. 4).

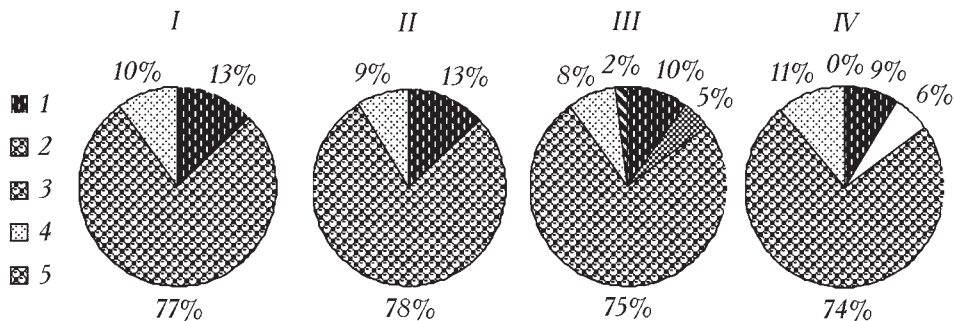
За відношенням до рН у Богунському та Селецькому кар'єрах домінували види-індиференти, а у Слобідському і Сонячному — алкафіли з алкабінтами. У силікатних кар'єрах фіксували досить помітну частку ацидобілів із ацидобінтами (рис. 5).

За сапробіологічними показниками водоростей — індикаторів різних типів забруднюючих речовин, що дозволяють характеризувати якість водного середовища та інтегровано оцінити екологічний стан водних екосистем, досліджувані водойми антропогенного походження є  $\beta'$ -мезосапробними (категорія якості вод — «досить чисті») (табл. 5). Індекси сапробності в гранітних і піщаних кар'єрах становили 1,7—1,8.

Середні показники чисельності фітопланктону у Богунському кар'єрі сягали  $1,75 \pm 0,38$  млн. кл/дм<sup>3</sup>, біомаси —  $1,51 \pm 0,16$  г/м<sup>3</sup>, у кар'єрі Сонячному — відповідно  $1,46 \pm 0,22$  і  $0,80 \pm 0,11$ , у Слобідському —  $1,33 \pm 0,37$  і  $1,33 \pm 0,17$  і в Селецькому —  $1,52 \pm 0,36$  і  $1,17 \pm 0,25$ . Спільною особливістю водойм



3. Розподіл водоростей кар'єрів м. Житомира за біотопічною приуроченістю: 1 — бентосно-планктонні; 2 — планктонно-епіфітні; 3 — планктонно-літоральні; 4 — бентосні; 5 — епіфітно-планктонні; 6 — види обростань; 7 — планктонно-бентосні; 8 — літоральні; 9 — планктонні.

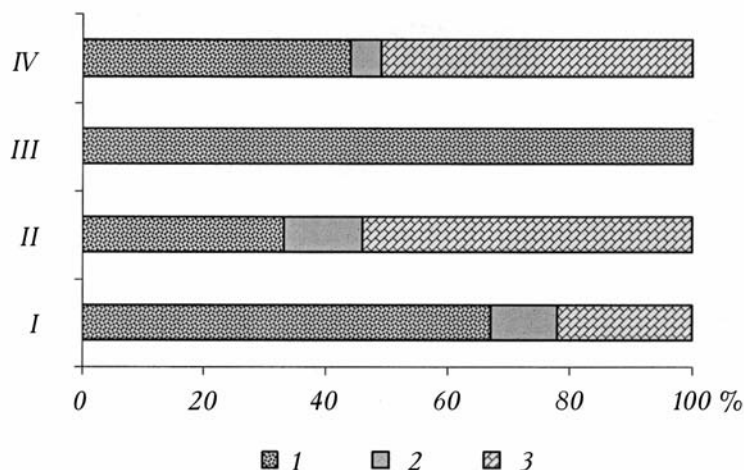


4. Співвідношення видів — індикаторів солоності води кар'єрів м. Житомира: 1 — олігогалоби; 2 — галофоби; 3 — індіференти; 4 — галофіли; 5 — мезогалоби.

було щорічне зростання біомаси літнього фітопланктону, лише в Богунському кар'єрі відмічали вищі показники біомаси навесні 2009 р. при порівняно невеликій чисельності водоростевих клітин, що пояснюється переважанням у цей період крупноклітинних діатомових. Максимальні значення чисельності водоростевих клітин у гранітних кар'єрах фіксували також у літній період, а в піщаних — в літньо-осінній.

Отже, сучасний етап сукцесії автотрофної компоненти штучно створених водойм визначається різноманіттям фітопланктону з домінуванням зе-





5. Розподіл водоростей за відношенням до рН у фітопланктоні кар'єрів м. Житомира: 1 — індиференти; 2 — ацидофіли та ацидобіонти; 3 — алкафіли та алкабіонти.

**5. Індикація якості води за сапробіологічними характеристиками водоростей планктону водойм антропогенного походження м. Житомира**

Зони сапробності	Богунський кар'єр	Кар'єр Сонячний	Слобідський кар'єр	Селецький кар'єр
$\chi$	1 (2)	—	—	—
$\chi$ -o	—	1 (2)	—	—
o	5 (11)	6 (12)	3 (8)	3 (10)
o- $\beta$	9 (20)	8 (17)	8 (21)	5 (17)
$\beta$	21 (47)	25 (51)	20 (53)	16 (54)
$\beta$ - $\alpha$	7 (16)	4 (8)	2 (4)	1 (3)
$\alpha$	1 (2)	4 (8)	3 (8)	3 (10)
$\alpha$ -p	1 (2)	1 (2)	1 (3)	1 (3)
p	—	—	1 (3)	1 (3)

П р и м і т к а. Перед дужками — кількість видів — індикаторів різних зон сапробності; у дужках — частка загальної кількості видів — індикаторів (%); «—» — види — індикатори не виявлено.

лених, діатомових, синьозелених і евгленових водоростей. Саме ці відділи є структуроутворюючими у формуванні біомаси водоростевих планктонних угруповань. У піщаних кар'єрах частка евгленових у формуванні біомаси була вищою у порівнянні з гранітними, що, ймовірно, є результатом органічного забруднення цих водойм.

Досліджуваним водоймам властива досить висока продуктивність, яка обумовлена не лише інтенсивною вегетацією водоростевих клітин, а й достатньою забезпеченістю водоростей біогенним живленням (у колишніх затоплених кар'єрах, особливо у піщаних, відмічали значний вміст мінеральних форм азоту, особливо нітратної, що була в межах 3,3—8,6 мг/дм<sup>3</sup>).

Інтегральна продукція під 1 м<sup>2</sup>  $\sum A$ , яка характеризує загальну біологічну продуктивність водних екосистем, зберігає і повторює тенденції часових і просторових змін первинної продукції в одиниці об'єму  $A_{max}$  (продукції на горизонті максимального фотосинтезу). Швидкість деструкції в одиниці об'єму води ( $R$ ) у середньому в 1—2 рази (в окремі періоди в 3—5 разів) нижча за швидкість утворення органічної речовини (табл. 6).

Ступінь мінливості інтенсивності первинної продукції в одиниці об'єму  $A_{max}$  ( $C_v$ ), для Богунського кар'єру становив 74%, для Сонячного — 52, для Слобідського — 72, для Селецького — 54%. Показник  $\sum A$  є дещо стабільнішим (значення  $C_v$  сягало відповідно 60, 49, 66 і 52%), оскільки він характеризує залежність інтенсивності продукційних процесів від глибини всього стовпа води, а не лише для її невеликого об'єму, як  $A_{max}$ . Для деструкційних процесів характерний вищий рівень варіації (129, 87, 82 та 71%).

Установлено, що  $A_{max}/\sum A$  (відношення продукції на оптимальній глибині до інтегральної під 1 м<sup>2</sup> продукції ( $\sum A$ ), яке характеризує оптичні властивості води [15]) у водоймах змінювався від 0,40 до 0,94, досягаючи найбільших значень у травні. Відповідно, у зоні оптимального фотосинтезу у гранітних кар'єрах синтезувалося 62—63%, а в піщаних — 66—75% органічної речовини. Порівняння цих показників з умовною прозорістю води досліджуваних водойм свідчить про тенденцію зростання відношення  $A_{max}/\sum A$  зі зменшенням прозорості.

Прозорість води кар'єрів упродовж вегетаційного сезону була в межах 0,6—1,6 м, при цьому у піщаних вона була дещо нижчою, ніж у гранітних, особливо під час рясних опадів. Мінімальні її значення фіксували ранньою весною. Товщина фотичної зони не перевищувала 3,0—3,6 м.

Величини добових  $P/V$ -коефіцієнтів<sup>1</sup> суттєво змінювалися впродовж вегетаційного сезону, при цьому спостерігали три максимуми значень — у травні, червні та жовтні (див. табл. 6). Функціональна активність водоростей була високою у всіх досліджуваних водоймах.

Зміни продукції і деструкції органічної речовини в сезонному аспекті були наступними. Весною, з активізацією розвитку фітопланктону, відбувалося зростання первинної продукції, з максимумом у травні. В березні — на початку квітня деструкційні процеси переважали над продукцією, весняний максимум деструкції спостерігали у кінці березня, після чого інтенсивність деструкційних процесів зменшилася. Подальше зниження деструкції відбу-

<sup>1</sup> Прийнято, що 1 г O<sub>2</sub> = 0,3 г С, а вуглець складав 10% біомаси фітопланктону [1].  $P/V$ -коефіцієнти розраховані для горизонту максимального фотосинтезу за добу.

**6. Граничні та середні  $X \pm m_x$  показники первинної продукції та деструкції органічної речовини,  $P/B$ -,  $A_{max}/\sum A$ -коефіцієнти водойм антропогенного походження м. Житомира (за даними досліджень 2011—2012 рр.)**

Показники	Богунський кар'єр	Кар'єр Сонячний	Слобідський кар'єр	Селецький кар'єр
$\sum A$	2,22 – 9,22	2,58 – 8,32	1,58 – 12,61	2,27 – 11,07
	4,23 $\pm$ 0,10	4,04 $\pm$ 0,17	7,90 $\pm$ 0,14	6,22 $\pm$ 0,32
$\sum R$	0,42 – 6,42	1,02 – 5,94	1,26 – 11,46	3,21 – 10,64
	3,98 $\pm$ 0,08	3,05 $\pm$ 0,12	6,64 $\pm$ 0,11	6,13 $\pm$ 0,23
$A_{max}$	0,88 – 6,53	0,91 – 5,89	0,96 – 9,78	0,97 – 6,50
	2,62 $\pm$ 0,49	2,54 $\pm$ 0,51	5,96 $\pm$ 0,49	4,10 $\pm$ 0,10
$R$	0,07 – 5,43	0,86 – 5,74	0,42 – 5,82	1,07 – 5,82
	1,54 $\pm$ 0,03	1,50 $\pm$ 0,10	2,55 $\pm$ 0,04	2,42 $\pm$ 0,26
$P/B$ -коефіцієнти	0,73 – 3,06	0,08 – 5,62	0,05 – 4,50	0,06 – 1,90
	1,11 $\pm$ 0,53	1,34 $\pm$ 0,62	2,11 $\pm$ 0,43	0,83 $\pm$ 0,33
$A_{max}/\sum A$	0,40 – 0,71	0,46 – 0,82	0,65 – 0,94	0,55 – 0,94
	0,58 $\pm$ 0,04	0,59 $\pm$ 0,03	0,74 $\pm$ 0,04	0,69 $\pm$ 0,05

Примітка.  $\sum A$ ,  $\sum R$  вимірювали в г  $O_2/m^2 \cdot \text{доб}$ ;  $A_{max}$ ,  $R$  — в мг  $O_2/dm^3 \cdot \text{доб}$ . У чисельнику наведено граничні, у знаменнику — середні значення досліджуваних показників.

валося нерівномірно. Упродовж літа та до середини осені переважно фіксували досить високу первинну продукцію і після жовтня інтенсивність продукційних процесів знижувалася в часі, досягаючи мінімальних значень у середині листопада. Осінній максимум деструкції відмічали наприкінці жовтня — на початку листопада.

Аналіз інтенсивності продукційно-деструкційних процесів показав, що у кар'єрах відношення  $A/R$  коливається в широких межах. У часовому розподілі на поверхневих горизонтах  $A < R$  у березні та в кінці листопада, коли інтенсивність первинної продукції низька; упродовж вегетаційного сезону із середини квітня до кінця осені переважно  $A > R$ . У просторовому розподілі співвідношення  $A/R$  знижувалося зі збільшенням глибини.

Репрезентативним показником функціонування екосистем є співвідношення інтегральних показників первинної продукції та деструкції органічної речовини  $\sum A/\sum R$ , який покладено в основу розрахунку індексу зрілості  $\theta$ . У залежності від його величини розрізняють такі стани планктонних угруповань: початковий, молодий, рівноважний, розвинутий, зрілий та деградуючий [6].

Аналіз змін індексу зрілості показав, що досліджувані екосистеми ще не досягли «зрілого» стану. У кар'єрах переважають ранні стадії, коли розвиваються переважно «молоді» та «рівноважні» водоростеві угруповання. При цьому в сезонному розвитку угруповань водойм антропогенного походження відбувається перехід від «молодого» стану наприкінці весни ( $\theta = -0,27$ —

–0,32) до «розвинутого» у середині червня ( $\theta = +0,26— +0,97$ ), після чого спостерігали перехід до «рівноважного», який триває до кінця жовтня ( $\theta = -0,15— +0,15$ ) і періодично чергується із «молодим» ( $\theta = -0,22— -0,31$ ). «Розвинутим» станом ( $\theta = +0,37— +0,43$ ) закінчується осінній розвиток водоростевих угруповань, ним починається і весняний ( $\theta = +0,39— +0,51$ ).

У кар'єрах переважав позитивний баланс органічної речовини, що вказує на автотрофну направленість метаболізму їхніх екосистем (середнє значення  $\sum A/\sum R$ , розраховане для Богунського кар'єру, склало  $2,39 \pm 0,08$ , для Сонячного —  $1,85 \pm 0,11$ , для Слобідського —  $1,58 \pm 0,08$ , для Селецького —  $1,10 \pm 0,07$ ).

### Висновки

Фітопланктон кожної з водойм характеризується специфічністю і формує особливу автотрофну біоту лентичних екосистем. Водоростеві угруповання кожної з них відрізняються за частотою трапляння видів, а таксономічний склад та екологічні спектри водоростей відтворюють її індивідуальність та умови існування альгофлори. Цим локальним альгофлорам притаманні спільні риси. У всіх водоймах більшості родів водоростей властива низька видова представленість з переважанням видів, що трапляються «зрідка» та «нечасто». Це свідчить про те, що на сучасному етапі розвитку екосистем сукцесія відбувається за умов домінування природних чинників.

Водоймам антропогенного походження властива висока продуктивність, зумовлена не лише інтенсивною вегетацією водоростевих клітин, а й достатньою забезпеченістю водоростей біогенним живленням.

Сукцесійний стан автотрофної компоненти водних екосистем свідчить про те, що у водоймах, які утворилися з кар'єрів по видобутку природних копалин, незалежно від їхнього типу, планктонні водоростеві угруповання не досягають «зрілого» стану, а перебувають на ранніх стадіях сукцесії з переважанням позитивного балансу органічної речовини, що вказує на автотрофну направленість їхнього метаболізму.

\*\*

*В работе представлены результаты исследований таксономического разнообразия и количественных показателей развития фитопланктона затопленных песчаных (Селецкого и Слободского) и гранитных (Богунского и Солнечного) карьеров г. Житомира. Приведена его эколого-географическая характеристика. Сделана оценка сукцессионного состояния планктонных сообществ экосистем водоемов антропогенного происхождения по продукционным показателям.*

\*\*

*The paper deals with the results of studies of phytoplankton taxonomic and quantitative diversity in the flooded sandpits (Seletskyi and Slobidskyi) and granite quarries (Bohunskyi and Soniachnyi) of Zhytomyr town. Phytoplankton ecological and geographic characteristics have been given; the succession stage of planktonic assemblages in human-made water ecosystems has been assessed according to their production parameters.*

\*\*

1. Алимов А.Ф. Введение в продукционную гидробиологию. — Л.: Гидрометеиздат, 1989. — 151 с.
2. Баринова С.С., Мегведева Л.А., Анисимова О.В. Биоразнообразие водорослей-индикаторов окружающей среды. — Тель-Авив: PiliesStudio, 2006. — 498 с.
3. Кузьмінчук Ю.С. Продукція і таксономічний склад фітопланктону середньої притоки Дніпра: Автореф. дис. ... канд. біол. наук.— К., 2007. — 24 с.
4. Майстрова Н.В. Сукцесія фітопланктону Канівського водосховища: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 2003. — 21 с.
5. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В. Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
6. Минеева Н.М. Соотношение продукционно-деструкционных процессов как показатель состояния экосистемы волжских водохранилищ // Наук. зап. Терноп. нац. пед. ун-ту. Сер. Біологія. Спец. вип. «Гідроекологія». — 2005. — № 3 (26). — С. 308—310.
7. Охалкин А.Г. Видовой состав фитопланктона как показатель условий существования в водотоках разного типа // Ботан. журн. — 1998. — Т. 83, № 9. — С. 1—13.
8. Шелюк Ю.С. Соотношение продукционно-деструкционных процессов как показатель сукцессионного состояния планктонных сообществ экосистемы зарегулированной реки (на примере р. Тетерев) // Гидробиол. журн. — 2009. — Т. 45, № 1. — С. 37—46.
9. Шмигт В.М. Математические методы в ботанике. — Л.: Изд-во Ленинград. ун-та, 1984. — 288 с.
10. Щербак В.І. Методи досліджень фітопланктону // Методичні основи гідробіологічних досліджень водних екосистем. — К., 2002. — С. 41—47.
11. Щербак В.І., Майстрова Н.В., Морозова А.О., Семенюк Н.Є. Національний природний парк «Прип'ять — Стохід». Різноманіття альгофлори і гідрохімічна характеристика акваландшафтів / Під ред. В. І. Щербака. — К.: Фітоцентр, 2011. — 164.
12. *Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography* / Ed. by P.M. Tsarenko, S.P. Wasser, E. Nevo. — Ruggell: Ganter Verlag, 2006—2011. (Vol. 1. Cyanoprocarota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, and Rhodophyta. — 2006. — 713 p.; Vol. 2. Bacillariophyta. — 2009. — 413 p.; Vol. 3 Chlorophyta. — 2011. — 511 p.).
13. Rodhe W. Standart correlations between pelagic photosynthesis and light. — Memor. Ist. Hydrobiol., 1965. — Vol. 18 (Suppl.). — P. 365—381.
14. Sorensen T. A method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of species content. — Kongelige Danske vidensk. Selskab. Biol. Krifter. — 1948. — Vol. 5, N 4. — P. 46—71.