

СУЧАСНИЙ СТАН ВИДОВОГО РІЗНОМАНІТТЯ ФІТОПЛАНКТОНУ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ КРЕМЕНЧУЦЬКОГО ВОДОСХОВИЩА ЗА ІНДЕКСОМ САПРОБНОСТІ

Рудик-Леуська Наталія Ярославівна

кандидат біологічних наук, доцент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0003-4355-7071

rudyk-leuska@ukr.net

Леуський Михайло Вікторович

старший лаборант

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0001-5646-8524

leusky@ukr.net

Макаренко Аліна Анатоліївна

доктор філософії, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-2166-8566

almakarenko912@gmail.com

Євтушенко Микола Юрійович

доктор біологічних наук, професор

член-кореспондент Національної академії наук України,

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
м. Київ, Україна

ORCID: 0000-0002-8165-8802

n_yevtushenko@ukr.net

Фітопланктон – це основа автотрофної ланки водної екосистеми, продуцент органічних речовин та кисню, що формує енергетичну основу різноманіття гідробіонтів вищих трофічних рівнів, початкова ланка трофічних ланцюгів, джерело живлення безхребетних і риб на різних стадіях розвитку.

У літній період 2020–2021 рр. дослідили таксономічний склад, чисельність і біомасу фітопланктону, індекс сапробності в Кременчуцькому водосховищі. Для досягнення мети у процесі виконання досліджень використовували гідробіологічні та статистичні методи дослідження. Фітопланктон водосховища в літній період 2020–2021 рр. був представлений такими відділами: Cyanophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta. Провідне місце за кількістю видів належало зеленим водоростям, інтенсивність розвитку яких залежала від температури води, менше значення мали синьо-зелені, діатомові водорості і зовсім незначну роль відіграли евгленові водорості.

Влітку 2020 року на досліджених ділянках середня чисельність фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі становила 12427 тис.кл./л. при біомасі 1,463 мг/дм³, а в літній період 2021 року складала 28099 тис.кл./л. при біомасі 2,266 мг/дм³. Дослідження влітку 2020 року показали, що основу чисельності (74 %) та біомаси (35 %) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) та діатомові водорості, які при незначній чисельності (7%) формували 44 % загальної біомаси водоростей, так влітку 2021 року спостерігали аналогічну картину, де основу чисельності (93 %) та біомаси (54 %) фітопланктону також формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) і діатомові водорості, що при незначній чисельності (2 %) формували 29 % загальної біомаси водоростей. Влітку 2020 року зелені водорості набули меншого розвитку у водосховищі формуючи 19 % від загальної чисельності та 17 % біомаси водоростей, а влітку 2021 року вони формували лише 5 % загальної чисельності та 15 % біомаси водоростей. Значно меншу роль у формуванні чисельності та біомаси фітопланктону відіграли евгленові водорості як при дослідженнях влітку 2020 року (0,1 та 3,2 %, відповідно), так і у 2021 році (0,1 та 1,6 %, відповідно).

Згідно переважаючих індикаторних видів сапробності, якість води Кременчуцького водосховища відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках.

Ключові слова: фітопланктон, Кременчуцьке водосховище, чисельність, біомаса, вид, «цвітіння» води, індекс сапробності.

DOI <https://doi.org/10.32845/agrobio.2022.2.19>

Вступ. В умовах інтенсивного антропогенного навантаження на екосистему Дніпровських водосховищ, а також поступового зниження умов риб на сьогодні актуальності набуває питання вивчення трофічного статусу водосховищ. Функціонування і продуктивність водосховищ, так як і будь-яких інших водних об'єктів, визначається різноманіттям трофічних рівнів, основна роль з яких належить автотрофному, який в Дніпровських водосховищах формується за рахунок фітопланктону (Lv et al., 2011; Shcherbak et al., 2014; Liu & Stevenson, 2017; Vallina et al., 2017; Li et al., 2020).

Найпродуктивнішим у Дніпровському каскаді є Кременчуцьке водосховище (створене у 1961 р.) – одне з шести великих водосховищ у каскаді на річці Дніпро в Черкаській, Полтавській та Кіровоградській областях. Корисний об'єм водосховища становить 9 км³, що складає 50 % корисного об'єму всіх водосховищ Дніпровського каскаду. Площа складає 2 250 км² (на сьогоднішній день це найбільше за площею водосховище в Україні). Запаси води 13,5 млрд.м³. Довжина водосховища становить 185 км, найбільша його ширина – 28 км, а найбільша глибина становить 28 м. Довжина берегової лінії близько 800 км (Denisova & Timchenko, 1989; Grebin et al., 2014; Rudyk-Leuska, 2020).

За умов розташування в сприятливих кліматичних умовах, мілководності та за розмірами Кременчуцьке водосховище планувалось як одне з найбільш рибопродуктивних в Європі.

В літній період на більшій частині акваторії Кременчуцького водоймища встановлюється озерний режим. При високій температурі повітря спостерігається інтенсивне «цвітіння» води, виникає скупчення водоростей, а їх подальше розмноження має негативні наслідки для санітарно-біологічного стану якості води (Shcherbak, 1999; Sukhodol'skaya et al., 2015; Zadorozhna & Shcherbak, 2016; Rasconi et al., 2017; Bortolini et al., 2018; Yang et al., 2020; Francé et al., 2021), внаслідок чого виникає дефіцит кисню в нижніх горизонтах води та в нічні години. Утворюються різноманітні органічні та неорганічні речовини, в тому числі і токсичні (Stotts et al., 1993; Oberholster et al., 2004; Wang et al., 2012; Ma et al., 2015; Cardoso et al., 2016; Hu et al., 2017; Yakovenko et al., 2017; Mishra et al., 2019; Rudyk-Leuska et al., 2020; Yan et al., 2020; Nikolenko & Fedonenko, 2021). Найбільш інтенсивний процес цвітіння води у Кременчуцькому водосховищі зафіксовано з 26 по 29 серпня 2016 р. (Shevchuk et al., 2019).

Дослідження з вивчення рівня розвитку фітопланктону Кременчуцького водосховища проводились протягом багатьох років рядом учених, починаючи з встановлення водосховища і до нинішнього часу (Sherstyuk, 1966; Tarasova, 1983; Tarasova et al., 1983; Kruzhilina, 2005; Khyzhniak et al., 2020).

Рівень вегетації водоростей протягом існування Кременчуцького водосховища зазнавав значних змін. Біомаса фітопланктону влітку з 1961–1964 рр. варіювала у межах 2,3–109 мг/дм³ з переважанням синьо-зелених (30–74 %) та діатомових (14,7–57,1 %) водоростей (Priimachenko, 1981). У 1968–1973 рр. (Shcherbak, 1989) середня біомаса

фітопланктону влітку становила 11,7 мг/дм³ за чисельності 102,0 тис.кл./дм³, у 1981–1984 рр. – 3,97 мг/дм³ при 71,3 тис. кл./дм³ відповідно. Встановлено, що основним типом сукцесії фітопланктону Кременчуцького водосховища є аутогенна, пов'язана з його біопродукційною активністю (Shcherbak, 1989). Влітку 1981–2007 рр. біомаса фітопланктону Кременчуцького водосховища коливалась від 1,089 (2003 р.) до 14,85 мг/дм³ (1991 р.) за чисельності 5,414–140,433 млн кл./дм³. Розглядаючи зміни біомаси фітопланктону в зазначений період у динаміці за роками, можна відзначити циклічність у його розвитку (Kruzhilina, 2010). Так, 1981–1985 рр. характеризувались значно високими біомасами фітопланктону, що в середньому за 5 років досліджень знаходились на рівні 6,06 мг/дм³ за чисельності 58,778 млн кл./дм³. У 1986–1990 рр. зафіксовано значний спад до рівня 3,7 мг/дм³ та чисельності 26,028 млн кл./дм³. Протягом 5 років відбулося підвищення біомаси фітопланктону у Кременчуцькому водосховищі, що перевищило показники 1981–1985 рр. у 1,5 рази, а в 1996–2000 рр. – встановлено значне зниження його біомас (3,06 мг/дм³) до рівня нижчого, якщо порівнювати з 1986–1990 рр. Період 2001–2005 рр. характеризувався підвищенням рівня вегетації водоростей, а 2006–2007 рр. – відбувся черговий спад (Kruzhilina, 2010).

Влітку 2016 року значення загальної біомаси фітопланктону Кременчуцького водосховища становили мінімальні 2,30±0,23 мг/дм³ на ділянці відбору № 2 (с. Леськи) та були вищими в 1,7 рази на двох інших станціях: 4,86±0,36 мг/дм³ на ділянці №1 (с. Червона Слобода) і 4,89±0,39 мг/дм³ на ділянці №3 (с. Худяки). Такі дані відповідають періоду занепаду фітопланктону Кременчуцького водосховища – 2,1–3,8 мг/дм³ – у 2004 р. (Kruzhilina, 2010; Khyzhniak et al., 2020).

Дослідження формування, функціонування автотрофної компоненти штучно створених водойм мають незаперечне теоретичне та прикладне значення для розробки принципів використання біопродукційного потенціалу штучних гідроекосистем та питань біоіндикації.

Враховуючи вище наведене, метою нашого дослідження було вивчити якісний та кількісний стан фітопланктону, його розподіл у Кременчуцькому водосховищі та оцінити якість води згідно переважаючих індикаторних видів сапробності.

Матеріали і методи досліджень. Відбір фітопланктонних проб здійснювали в літній період 2020–2021 рр. у середній частині Кременчуцького водосховища на ділянках – Кар'єр, Червона Слобода, Фарватер. Фітопланктон відбирали батометром Бекмана на різних горизонтах. Для консервації проб додавали 40 %-ий формальдегід з розрахунку 1:100. Методом седиментації проводили згущення проби. Проби фітопланктону продівлялися в спеціальній лічильній камері Нажотта 0,01 см³ під світловим мікроскопом, визначали, а потім підраховували кількість всіх виявлених видів водоростей на 1,0 дм³ (Priimachenko, 1981).

Визначення таксономічного складу водоростей проводили за визначниками різних авторів (Korshikov, 1938; Kondratieva, 1968; Bukhtiyarova, 1999).

Біомасу фітопланктону визначали розрахунково-об'ємним методом (Torachevsky & Masyuk, 1984;

Scherbak, 2002; Arsan et al., 2006). Для визначення індексу сапробності (S) використовували метод Пантле і Букка в модифікації Сладечека (Pantle & Buck, 1955; Sládeček, 1973) з використанням списків видів-індикаторів, за якими встановлювали індикаторне значення сапробних організмів (Oleksiv, 1992).

Індекс сапробності Пантле-Букка (S) обчислювали за формулою:

$$S = \sum(s \cdot h) / \sum h,$$

де S – сумарний індекс водного об'єкту;

s – індикаторна значимість виду;

h – абсолютна чисельність виду.

Величина h знаходили за шестибальною шкалою значень частоти на підставі якої визначали відповідну кількість видів.

Результати. Влітку 2020 року видове різноманіття фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі було представлено 48 таксономічними одиницями. Найбільш чисельними були зелені водорості – 24 таксони, діатомові та синьо-зелені налічували – 15 та 11 таксонів, відповідно.

Середня чисельність фітопланктону влітку 2020 року в Кременчуцькому водосховищі на досліджених ділянках складала 12427 тис.кл./л. при біомасі 1,463 мг/дм³. Основу чисельності (74 %) та біомаси (35 %) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) та діатомові водорості, які при незначній чисельності (7 %) формували 44 % загальної біомаси водоростей. Зелені водорості набули меншого розвитку у водосховищі формуючи 19 % від загальної чисельності та 17 % біомаси водоростей. Евгленові водорості відігравали суттєво менше значення у формуванні чисельності і біомаси фітопланктону (0,1 та 3,2 %, відповідно) (табл. 1).

Домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Aphanizomenon flos-aquae* (25 %

та 17 %, відповідно), *Microcystis aeruginosa* (25 % та 10 %), *M. wesenbergii* (7 % та 3 %). Серед діатомових водоростей за біомасою: *Melosira italica* (21 %), *M. granulata* (6 %), *Cyclotella comta* (6 %), *Stephanodiscus hantschii* (5 %), *Synedra ulna* (3 %) (рис. 1).

Продукція фітопланктону за вегетаційний сезон може скласти 4317,0 кг/га, а можливий промисловий вилов риби за рахунок споживання фітопланктону – 11,0 кг/га.

Якість води Кременчуцького водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин переважають водорості (індикатори сапробності), що відносять якість води в Кременчуцькому водосховищі до β-мезосапробної зони, так на ділянці Кар'єр вони складають 50 % від чисельності видів індикаторів, на ділянці Червона Слобода – 91 %, і Фарватер – 66 % (табл. 2).

Усього на різних досліджених ділянках водосховища зафіксовано від 17 до 27 індикаторних видів фітопланктону. Найбільша кількість видів водоростей зафіксованих у водосховищі відноситься до β-мезосапробної зони (табл. 3).

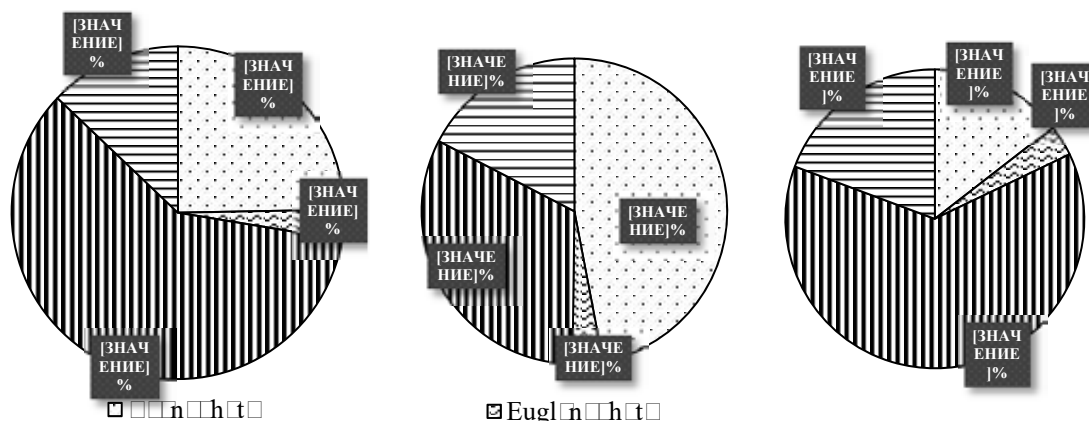
В літній період 2021 року видове різноманіття фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі було представлено 43 таксономічними одиницями. Найбільш чисельними були зелені водорості – 22 таксони, діатомові та синьо-зелені налічували – 10 та 8 таксонів, відповідно.

Середня чисельність фітопланктону влітку 2021 року в Кременчуцькому водосховищі на досліджених ділянках складала 28099 тис.кл./л. при біомасі 2,266 мг/дм³. Основу чисельності (93 %) та біомаси (54 %) фітопланктону формували ціанобактерії (синьо-зелені водорості) та діатомові водорості, які при незначній чисельності (2 %) формували 29 % загальної біомаси водоростей.

Таблиця 1

Чисельність (тис.кл./л) і біомаса (мг/дм³) фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі, літо 2020 р.

Групи організмів	Кар'єр		Червона Слобода		Фарватер		Середня	
	тис.кл./л мг/дм ³	%	тис.кл./л мг/дм ³	%	тис.кл./л мг/дм ³	%	тис.кл./л мг/дм ³	%
<i>Cyanophyta</i>	3561	75,7	20645	74,5	3477	71,2	9227	74,3
	0,199	24,7	1,212	47,0	0,146	14,5	0,519	35,5
<i>Euglenophyta</i>	7	0,1	28	0,1	17	0,3	17	0,1
	0,024	2,9	0,083	3,2	0,034	3,4	0,047	3,2
<i>Bacillariophyta</i>	721	15,4	849	3,1	901	18,5	825	6,6
	0,479	59,5	0,832	32,4	0,631	62,8	0,648	44,3
<i>Chlorophyta:</i>	414	8,8	6171	22,3	490	10,0	2358	19,0
	0,105	12,9	0,450	17,4	0,194	19,3	0,249	17,0
<i>Volvocales</i>	108	2,3	5283	19,1	157	3,2	1849	14,9
	0,046	5,7	0,287	11,2	0,093	9,2	0,142	9,7
<i>Chlorococcales</i>	293	6,2	854	3,1	333	6,8	493	4,0
	0,054	6,8	0,152	5,9	0,101	10,1	0,103	7,0
<i>Conjugatophyceae</i>	13	0,3	34	0,1	0	0	16	0,1
	0,003	0,4	0,010	0,4	0	0	0,004	0,3
Всього	4703	100	27693	100	4885	100	12427	100
	0,806	100	2,577	100	1,005	100	1,463	100
Кількість таксонів	35		40		29		48	



Кар'єр Червона Слобода Фарватер

Рис. 1. Біомаса основних груп фітопланктону у Кременчуцькому водосховищі в 2020 р., %

Таблиця 2

Оцінка якості води Кременчуцького водосховища згідно наявності організмів індикаторів сапробності в літній період 2020 р.

Види водоростей	Зона сапробності	Індекс сапробності	Чисельність клітин, кл./л на станціях відбору проб		
			Кар'єр	Червона Слобода	Фарватер
<i>Trachelomonas volvocina</i>	о-α	2	–	8528	4264
<i>Phacus eleganza</i>	о-β	15	6400	17056	4264
<i>Eudorina elegans</i>	β	1,85	51200	–	12480
<i>Pandorina morum</i>	β	2	51200	–	–
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β	2,2	25600	17056	–
<i>S. acutiformis</i>	β	1,8	–	93808	–
<i>S. quadricauda</i>	β	2	12800	17056	–
<i>S. arcuatus</i>	β	1,8	–	–	68224
<i>S. opoliensis</i>	β	2	–	25584	34112
<i>Actinastrum hantzschii</i>	β	2	–	34112	–
<i>Coelastrum microporum</i>	β	2	51200	–	–
<i>Pediastrum boryanum</i>	β	0,85	8320	–	–
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	β	2,15	–	10240	–
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	о-α	1,75	–	272896	–
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	β	2,25	960000	7385600	1060800
<i>Anabaena spiroides</i>	о-β	1,35	1216000	498888	76752
<i>A. flos-aquae</i>	β	2	–	469040	29640
<i>A. solitaria</i>	о-β	1,6	73600	–	–
<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	1,75	320000	8528000	468000
<i>M. wesenbergii</i>	β	2	364000	2304000	–
<i>Merismopedia tenuissima</i>	β-α	2,45	–	85280	–
<i>Synedra acus</i>	β	1,85	1600	21320	8528
<i>S. ulna</i>	х-α	1,95	3200	12792	8528
<i>Melosira italica.</i>	о-β	1,6	576000	405080	717600
<i>M. granulata</i>	β	1,8	54600	127920	59696
<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	α	2,7	19200	106600	68224
<i>Fragilaria crotonensis</i>	о-β	1,4	6400	–	–
<i>Cymbella lanceolata</i>	β	1,9	6400	–	–
<i>Navicula cryptocephala</i>	α	2,7	25600	25584	12792
<i>N. viridula</i>	α	2,8	–	17056	–
<i>N. gracilis</i>	о-β	1,65	–	12792	–
<i>Caloneis amphibaena</i>	β-α	2,35	–	4264	–
<i>Nitzschia longissima f. parva</i>	β	2	12800	8528	8528
<i>Cyclotella comta</i>	о	1,15	16000	63960	8528
<i>Amphipleura pellucida</i>	β	1,9	–	8528	–
Індекс сапробності	–	–	1,84	1,99	1,90

Таблиця 3

Кількість видів індикаторів сапробності
в Кременчуцькому водосховищі

Зона сапробності	Станції відбору проб		
	Кар'єр	Червона Слобода	Фарватер
β	13	14	9
β-α	-	2	-
о-β	5	4	3
α	2	3	2
о	1	1	1
х-α	1	1	1
о-α	-	2	1
Усього	22	27	17

Зелені водорості набули меншого розвитку у водосховищі формуючи 5 % загальної чисельності та 15 % біомаси водоростей. Евгленові водорості відігравали суттєво менше значення у формуванні чисельності і біомаси фітопланктону (0,1 та 1,6 %, відповідно) (табл. 4).

Домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Microcystis aeruginosa* (12 % та 7 %), *M. wesenbergii* (65 % та 39 %), *Aphanizomenon flos-aquae* (2 % та 2 %), *Gomphosphaeria lacustris* (5 % та 1 %), *Anabaena spiroides* (5 % та 3 %), *Anabaena flos-aquae* (2 % та 2 %, відповідно). Серед діатомових водоростей за біомасою: *Melosira italica* (9 %), *M. granulata* (6 %), *Cyclotella comta* (6 %), *Stephanodiscus hantschii* (1 %), *Synedra ulna* (5 %), *Caloneis amphisbaena* (2 %) (рис. 2).

Продукція фітопланктону за вегетаційний сезон може скласти 6898,0 кг/га, а можливий промисловий вилов риби за рахунок споживання фітопланктону – 18,9 кг/га.

Якість води Кременчуцького водосховища, згідно домінуючих індикаторних видів сапробності, відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин переважають водорості (індикатори сапробності), що відносять якість води в Кременчуцькому водосховищі до β-мезосапробної зони, так на ділянці Кар'єр вони складають 68 % від чисельності видів індикаторів, на ділянці Червона Слобода – 89 %, і Фарватер – 86 % (табл. 5).

Таблиця 4

Чисельність (тис.кл./л) і біомаса (мг/дм³) фітопланктону в Кременчуцькому водосховищі, літо 2021 р.

Групи організмів	Кар'єр		Красна Слобода		Фарватер		Середня	
	тис.кл/л мг/дм ³	%	тис.кл/л мг/дм ³	%	тис.кл/л мг/дм ³	%	тис.кл/л мг/дм ³	%
<i>Cyanophyta</i>	16647	91,3	37365	95,7	24335	90,1	26115	92,9
	0,811	51,5	1,717	62,4	1,166	47,2	1,231	54,3
<i>Euglenophyta</i>	1	+	19	0,1	38	0,1	20	0,1
	0,003	0,2	0,041	1,5	0,063	2,5	0,035	1,6
<i>Bacillariophyta</i>	1081	5,9	560	1,4	422	1,6	688	2,4
	0,697	44,3	0,631	22,9	0,661	26,7	0,663	29,3
<i>Chlorophyta:</i>	510	2,8	1108	2,8	2212	8,2	1276	4,5
	0,063	4	0,363	13,2	0,582	23,6	0,336	14,8
<i>Volvocales</i>	118	0,6	208	0,5	442	1,6	256	0,9
	0,011	0,7	0,066	2,4	0,28	11,3	0,119	5,2
<i>Chlorococcales</i>	392	2,2	900	2,3	1770	6,6	1020	3,6
	0,052	3,3	0,297	10,8	0,302	12,3	0,217	9,6
Усього	18239	100	39052	100	27007	100	28099	100
	1,574	100	2,751	100	2,472	100	2,266	100
Кількість таксонів	31		27		24		43	

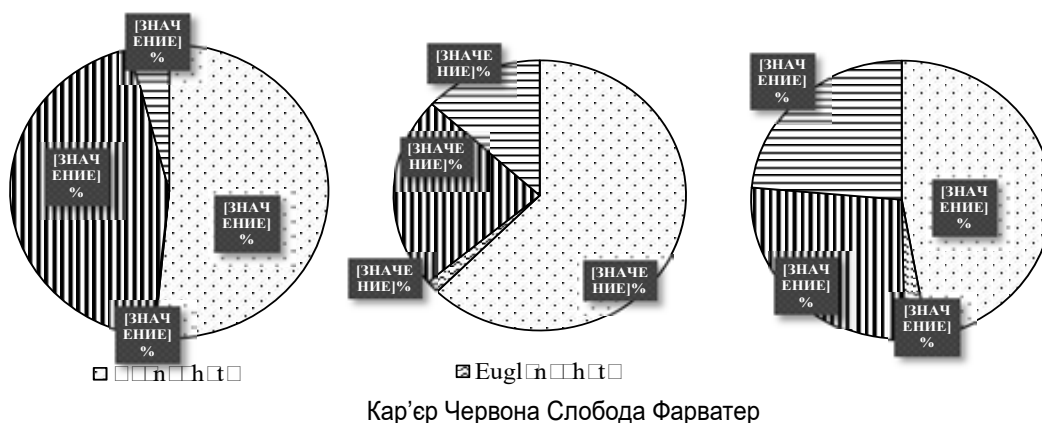


Рис. 2. Біомаса основних груп фітопланктону у Кременчуцькому водосховищі в 2021 р., %

Оцінка якості води Кременчуцького водосховища згідно наявності організмів індикаторів сапробності в літній період 2021 р.

Види водоростей	Зона сапробності	Індекс сапробності	Чисельність клітин, кл./л на станціях відбору проб		
			Кар'єр	Червона Слобода	Фарватер
<i>Trachelomonas volvocina</i>	о-α	2	–	19200	19200
<i>Phacus elegans</i>	о-β	15	624	–	–
<i>Eudorina elegans</i>	β	1,85	–	–	153600
<i>Pandorina morum</i>	β	2	12000	–	153600
<i>Volvox globator</i>	о-β	1,4	93600	180000	76800
<i>Scenedesmus acuminatus</i>	β	2,2	24000	–	–
<i>S. quadricauda</i>	β	2	48000	–	–
<i>S. arcuatus</i>	β	1,8	–	9600	30720
<i>Coelastrum microporum</i>	β	2	76800	–	–
<i>Pediastrum boryanum</i>	β	0,85	16000	35520	–
<i>Pediastrum duplex</i>	β	1,7	–	–	30720
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	β	2,15	24000	28800	–
<i>Crucigenia tetrapedia</i>	о-α	1,75	–	–	76800
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	β	2,25	480000	576000	960000
<i>Anabaena spiroides</i>	о-β	1,35	2426498	604800	1094400
<i>A. flos-aquae</i>	β	2	1854000	–	–
<i>Gomphosphaeria lacustris</i>	о-β	1,6	1200000	1920000	960000
<i>Microcystis aeruginosa</i>	β	1,75	6836416	2920000	520000
<i>M. wesenbergii</i>	β	2	3250000	30720000	20800000
<i>Merismopedia tenuissima</i>	β-α	2,45	600000	614400	–
<i>Asterionella formosa</i>	о-β	1,4	72000	76800	–
<i>Synedra acus</i>	β	1,85	12000	9600	–
<i>S. ulna</i>	х-α	1,95	12000	28800	19200
<i>Melosira italica.</i>	о-β	1,6	780000	76800	249600
<i>M. granulata</i>	β	1,8	132000	192000	–
<i>Stephanodiscus hantschii</i>	α	2,7	18200	46080	–
<i>Navicula cryptocephala</i>	α	2,7	36000	86400	19200
<i>N. gracilis</i>	о-β	1,65	18000	–	19200
<i>Caloneis amphibaena</i>	β-α	2,35	–	–	19200
<i>Cyclotella comta</i>	о	1,15	1249	43200	96000
Індекс сапробності	–	–	2,42	1,83	1,82

Усього на різних досліджених ділянках водосховища зафіксовано від 22 до 27 індикаторних видів фітопланктону. Найбільша кількість видів водоростей зафіксованих у водосховищі відноситься до β-мезосапробної зони (табл. 6).

Таблиця 6

Кількість видів індикаторів сапробності в Кременчуцькому водосховищі

Зона сапробності	Станції відбору проб		
	Кар'єр	Червона Слобода	Фарватер
о	1	1	1
о-β	7	5	5
β	10	13	11
β-α	2	2	-
α	2	2	1
х-α	1	1	1
о-α	-	1	2
α	2	2	1
Усього	25	27	22

Обговорення. Детальний аналіз температурних показників Кременчуцького водосховища у серпні 2016 року показав тенденцію до зростання коефіцієнта їх варіації ($C_v = 10,69 - 13,97\%$). Це вказує на нестабільність і стресовість температурних умов водного середовища для живих організмів. Найстійкішими до коливань температури виявились синьо-зелені водорості видів *Microcystis aeruginosa* Kutz. emend. Elenkin і *Anabaena flos-aquae* sp. (Oberholster et al., 2003; Ma et al., 2015; Zadorozhna & Shcherbak, 2016; Rasconi et al., 2017; Bortolini et al., 2019; Rudyk-Leuska et al., 2020; Yang et al., 2020). Їх максимальні показники зафіксовано у акваторії поблизу смт. Червона Слобода.

Накладання температурного фактора, та ряду інших абіотичних чинників приводить до інтенсивного "цвітіння" і подальшого масового відмирання водоростей *Cyanophyta*. Найбільш небезпечними є спекотні сонячні дні, коли температура повітря піднімається до 18–32 °С, а води 21–25,8 °С. У результаті летальних наслід-

ків з екосистеми випадають значні кількості найчутливіших видів водних живих організмів: Рак широкопалий (*Astacus astacus*), Судак звичайний (*Sander lucioperca*). У представлених даних віддзеркалюється процес глобального потепління (Rudyk-Leuska et al., 2020).

У результаті експериментів, проведених в природних та модельних умовах встановлено, що впродовж інтенсивного розвитку синьо-зелених водоростей, коли відбувається "цвітіння", виділяються специфічні речовини метаболіти, які мають сильний вплив на формування фітопланктоценозу і бактеріоценозу. Синьо-зелені водорості виробляють токсини, які мають особливі властивості, а саме: протимікробну дію на сапрофітні, патогенні і потенційно патогенні мікроорганізми та віруси (Sirenko & Kirpenko, 2000; Shevchuk et al., 2019).

Встановлено, що прісноводні ціанобактерії (синьо-зелені водорості) *Microcystis aeruginosa* та *Anabaena flos-aquae* продукують гепатотоксичні пептиди, які викликають ознаки отруєння у мишей (LD₅₀, 50 мкг / кг) (Krishnamurthy et al., 1986; Khyzhniak et al., 2020).

Проаналізувавши отримані дані по фітопланктону Кременчуцького водосховища та умови для нагулу риб фітофагів у 2020-2021 рр. з точки зору наявності природної кормової бази, загалом можна оцінити як задовільний. У 2020 році домінуючими видами серед ціанобактерій за чисельністю і біомасою були: *Aphanizomenon flos-aquae* (25 % та 17 %, відповідно), *Microcystis aeruginosa* (25 % та 10 %), *M. wesenbergii* (7 % та 3 %), а у 2021 році *Microcystis aeruginosa* (12 % та 7 %), *M.*

wesenbergii (65 % та 39 %), *Aphanizomenon flos-aquae* (2 % та 2 %), *Gomphosphaeria lacustris* (5 % та 1 %), *Anabaena spiroides* (5 % та 3 %), *Anabaena flos-aquae* (2 % та 2 %, відповідно). Отримані дані за розвитком фітопланктону, а також її продукція свідчать про цілком задовільну забезпеченість риб – фітофагів їжею.

Висновки. У літній період 2020–2021 рр. біомаса фітопланктону Кременчуцького водосховища коливалась в межах 1,463 мг/дм³ (2020 р.) до 2,266 мг/дм³ (2021 р.). За період досліджень біомаса фітопланктону значною мірою формувалась за рахунок розвитку синьо-зелених та діатомових водоростей. Продукційні можливості Кременчуцького водосховища влітку 2020–2021 рр. коливались у межах 4317,0–6898,0 кг/га, тобто сучасний рівень вегетації водоростей може забезпечити промисловий вилов риб фітопланктофагів на рівні 11,0–18,9 кг/га. Згідно переважаючих індикаторних видів сапробності, якості води Кременчуцького водосховища відноситься до β-мезосапробної зони на всіх досліджених ділянках. За чисельністю клітин домінують водорості (індикатори сапробності), що відносять якість води в Кременчуцькому водосховищі до β-мезосапробної зони. В подальшому необхідно продовжити досліджувати зміни чисельності та видового складу фітопланктону Кременчуцького водосховища, так як видовий склад водоростей є чутливим індикатором умов існування, який відображає особливості генезису, ступінь антропогенного впливу та рівень продуктивності водойм.

Бібліографічні посилання:

1. Arsan, O. M., Davydov, O. A., Diachenko, T. M. та in. (2006). Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod [Methods of hydroecological research of surface waters]; za red. V. D. Romanenka; NAN Ukrainy. In-t hidrobiologii. Vyd-vo «Lohos», Kiev, 408 (in Ukrainian).
2. Bortolini, J. C., da Silva, P. R. L., Baumgartner, G., & Bueno, N. C. (2018). Response to environmental, spatial, and temporal mechanisms of the phytoplankton metacommunity: comparing ecological approaches in subtropical reservoirs. In *Hydrobiologia*, 830(1), 45–61. Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s10750-018-3849-8
3. Bukhtiyarova, L. M. (1999). Diatoms of Ukraine. *Inland waters*. Kyiv, 133.
4. Cardoso, A. S., Marwell, D. T. B., Sobral, M. do C. M., Melo, G. L. de, & Casé, M. C. C. (2016). Análise da presença do fitoplâncton em bacia integrante do Projeto de Integração do Rio São Francisco, região semiárida, Nordeste brasileiro. In *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 22(2), 261–269. FapUNIFESP (SciELO). doi: 10.1590/s1413-41522016146707
5. Denisova, A. I., Timchenko, V. M., Nahshina, E. P. i dr. Otv. red. Shevchenko M. A. (1989). *Gidrologija i gidrohimija Dnepra i ego vodohranilishh* [Hydrology and hydrochemistry of the Dnieper and its reservoirs]. AN USSR. Institut gidrobiologii. Nauk. dumka, Kiev, 216 (in Russian).
6. Francé, J., Varkitzi, I., Stanca, E., Cozzoli, F., Skejić, S., Ungaro, N., Vascotto, I., Mozetič, P., Ninčević Gladan, Ž., Assimakopoulou, G., Pavlidou, A., Zervoudaki, S., Pagou, K., & Basset, A. (2021). Large-scale testing of phytoplankton diversity indices for environmental assessment in Mediterranean sub-regions (Adriatic, Ionian and Aegean Seas). In *Ecological Indicators*, 126, 107630. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.ecolind.2021.107630
7. Grebin, V. V., Khilchevsky, V. K., Stashuk, V. A., Chunaryov, O. V., & Yaroshevich, O. E. (2014). *Water Fund of Ukraine. Artificial reservoirs. Reservoirs and ponds*. Interpress LTD Kiev, 163(1).
8. Hu, R., Duan, X., Peng, L., Han, B., & Naselli-Flores, L. (2017). Phytoplankton assemblages in a complex system of interconnected reservoirs: the role of water transport in dispersal. In *Hydrobiologia* (Vol. 800, Issue 1, pp. 17–30). Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s10750-017-3146-y
9. Khyzhniak, M. I., Rudyk-Leuska, N. Y., Yevtushenko, N. Y., Leuskyi, M. V., Dudnyk, S. V., Danchuk, O. V., Dumych, O. Y. (2020). Development and structure of phytoplankton in the middle part of Kremenchug reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(4), 132–136. doi: 10.15421/2020_180
10. Kondratieva, N. V. (1968). *Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. Vyp. 2. Syno-zeleni vodorosti – Cyanophyta. Klas Hormohoniievi – Hognogoniophyceae* [Determinant of freshwater algae of the Ukrainian SSR. edit. 2. Blue-green algae – Cyanophyta. Class Hormogonium – Hognogoniophyceae]. Kiev: Nauk. dumka, 524 s (in Ukrainian).
11. Korshykov, O. A. (1938). *Vyznachnyk prysnovodnykh vodorostei Ukrainskoi RSR. Vyp. 4. [Determinant of freshwater algae of the Ukrainian SSR. edit. 4]. Vyd-vo Akad. nauk URSS, Kiev, 184 (in Ukrainian).*

12. Krishnamurthy, T., Carmichael, W. W., & Sarver, E. W. (1986). Toxic peptides from freshwater cyanobacteria (blue-green algae). I. Isolation, purification and characterization of peptides from *Microcystis aeruginosa* and *Anabaena flos-aquae*. In *Toxicon*, 24(9), 865–873. Elsevier BV. doi: 10.1016/0041-0101(86)90087-5
13. Kruzhylyna, S. V. (2005). Zhyvlennia strokatoho tovstolobyka (*Aristichthys nobilis* (Rich.)) v ponyzzi Kremenchutskoho vodoshkovyshcha [Feeding of the Bighead carp (*Aristichthys nobilis* (Rich.)) in the lower part of the Kremenchuk Reservoir]. *Ryb. hosp.*, 64, 116–111 (in Ukrainian).
14. Kruzhylyna, S. V. (2010). Bahatorichna dynamika kilkisnoho rozvytku fitoplanktonu Kremenchutskoho vodoshkovyshcha ta yoho strukturni pokaznyky [Perennial dynamics of quantitative development of phytoplankton of Kremenchug reservoir and its structural indicators]. *Rybohospodarska nauka Ukrainy*, 3, 14–19 (in Ukrainian).
15. Li, Y., Meng, J., Zhang, C., Ji, S., Kong, Q., Wang, R., & Liu, J. (2020). Bottom-up and top-down effects on phytoplankton communities in two freshwater lakes. In X. Guo (Ed.), *PLOS ONE*, 15(4), e0231357. Public Library of Science (PLoS). doi: 10.1371/journal.pone.0231357
16. Liu, B., & Stevenson, R. J. (2017). Improving assessment accuracy for lake biological condition by classifying 263–271. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.07.152
17. Lv, J., Wu, H., & Chen, M. (2011). Effects of nitrogen and phosphorus on phytoplankton composition and biomass in 15 subtropical, urban shallow lakes in Wuhan, China. In *Limnologia*, 41(1), 48–56. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.limno.2010.03.003
18. Ma, W.-X., Huang, T.-L., Li, X., Zhang, H.-H., & Ju, T. (2015). Impact of short-term climate variation and hydrology change on thermal structure and water quality of a canyon-shaped, stratified reservoir. In *Environmental Science and Pollution Research*, 22(23), 18372–18380. Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s11356-015-4764-4
19. Mishra, P., Garg, V., & Dutt, K. (2019). Seasonal dynamics of phytoplankton population and water quality in Bidoli reservoir. In *Environmental Monitoring and Assessment* (Vol. 191, Issue 3). Springer Science and Business Media LLC. doi: 10.1007/s10661-019-7185-x
20. Nikolenko, Y., & Fedonenko, O. (2021). Seasonal dynamics of phytoplankton indicators of the Zaporizhzhia (Dni-pro) reservoir phytoplankton of the Zaporozhye reservoir. *Ukrainian Journal of Ecology*, 121–128. doi: 10.15421/2021_249
21. Oberholster, P., Botha, A.-M., & Grobbelaar, J. (2003). *Microcystis aeruginosa*: source of toxic microcystins in drinking water. In *African Journal of Biotechnology*, 3(3), 159–168. Academic Journals. doi: 10.5897/ajb2004.000-2029
22. Oleksiv, I.T. (1992). Pokaznyky yakosti pryrodnykh vod z ekolohichnykh pozytsii [Natural water quality indicators from ecological points]. *Svit, Lviv*, 232 (in Ukrainian).
23. Pantle F., Buck H. (1955). Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserfach*. Bd 96, 18. 604.
24. Prijmachenko, A. D. (1981). Fitoplankton i pervichnaja produkcija Dnepra i Dneprovskih vodohranilishh [Phytoplankton and primary products of the Dnieper and Dnieper reservoirs]. Kiev: Nauk. dumka, 271 s (in Russian).
25. Rasconi, S., Winter, K., & Kainz, M. J. (2017). Temperature increase and fluctuation induce phytoplankton biodiversity loss – Evidence from a multi-seasonal mesocosm experiment. In *Ecology and Evolution*, 7(9), 2936–2946. Wiley. doi: 10.1002/ece3.2889
26. Rudyk-Leuska, N. Ya., Yevtushenko, N. Yu., Khyzhniak, M. I., Leuskyi, M. V., Kononenko, R. V., Tson, N. I., Dumych, O. Y. (2020). Influence of temperature on the aquatic biota. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(3), 102–105. doi: 10.15421/2020_140
27. Rudyk-Leuska, N. Ya. (2020). Reflection of climate change on the temperature conditions of the middle section of the Kremenchug reservoir / N. Ya. Rudyk-Leuska, N. Yu. Yevtushenko, M. I. Khyzhniak, M. V. Leuskyi, Tson N. I., O. Y. Dumych / VII International Internet Conference «The world during a pandemic: new challenges and threats», August 18–19. Vancouver, Canada. p. 82–86. URL: <http://el-conf.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/%D0%9A%D0%B0%D0%B%D0%B0%D0%B4%D0%B0%D1%81%D0%B0%D0%B9%D1%82.pdf>
28. Shcherbak, V. I. (2002). Metody doslidzhen fitoplanktonu. Metodichni osnovy hidrobiolohichnykh doslidzhen vodnykh ecosystem [Phytoplankton research methods. Methodical bases of hydrobiological researches of aquatic ecosystems]. Kiev, 41–47 (in Ukrainian).
29. Shcherbak, V. I. (1999). Phytoplankton as a Model Object of Evaluating the Influence of Power Complexes on Water Ecosystems / V. I. Shcherbak. *Engineering Simulation*, 16, 513–519.
30. Sherstiuk, V. V. (1966). Do pytannia pro rol vodorostei ta vyshchoi vodnoi roslynnosti u zhyvlenni deiakykh ryb verkhnoi dilianky Kremenchutskoho vodoimyshcha [To the role of algae and higher aquatic vegetation in the nutrition of some fish in the upper part of the Kremenchuk reservoir]. *Biologiya i morfologiya ryb ta sanitarno-biolohichnyi rezhym prisnykh vod Ukrainy*. Nauk. dumka, Kiev, 118–120 (in Ukrainian).
31. Shevchuk, S. A., Vishnevsky, V. I., Shevchenko, I. A. & Kozytsky, O. M. (2019). Research of water bodies of Ukraine using remote sensing data of the Earth. *Recruitment and water management*, (2), 146–156.
32. Shherbak, V. I. (1989). Fitoplankton Kremenchugskogo vodohranilishha. Rastitel'nost' i bakterial'noe naselenie Dnepra i ego vodohranilishh [Phytoplankton of the Kremenchuk reservoir. Vegetation and bacterial population of the Dnieper and its reservoirs]. Nauk. dumka, Kiev, 87–92 (in Ukrainian).
33. Shherbak, V. I., Semenjuk, N. E., Rudik-Leuskaja, N. Ja. (2014). Akvalandshaftnoe i biologicheskoe raznoobrazie Nacional'nogo prirodnogo parka «Nizhnesul'skij», Ukraina [Aqualandscape and biological diversity of the Nizhnesulsky National Nature Park, Ukraine]. Pod red. V. I. Shherbaka. *Fitosociocentr*, Kiev, 266 (in Russian).
34. Sirenko, L. A., & Kirpenko, Yu. A. (2000). Biologically Active Metabolites of Blue-Green Algae and Their Role in Epidemiology. In *Hydrobiological Journal*, 36(5), 14. Begell House. doi: 10.1615/hydrobj.v36.i5.110
35. Sládeček, V. (1973). System of water quality from the biological point of view. *Ergebnisse der Limnologie*, 7(1), 1–128.
36. Stotts, R. R., Namikoshi, M., Haschek, W. M., Rinehart, K. L., Carmichael, W. W., Dahlem, A. M., & Beasley, V. R. (1993). Structural modifications imparting reduced toxicity in microcystins from *Microcystis* spp. In *Toxicon*, 31(6), 783–789. Elsevier BV. doi: 10.1016/0041-0101(93)90384-u

37. Sukhodol'skaya, I. L., Manturova, O. V., & Griuk, I. B. (2015). Phytoplankton of Small Rivers of the Rivne Region (Ukraine) and Relation of its Quantitative Parameters with Nutrients Content. In *Hydrobiological Journal*, 51(5), 50–61. Begell House. doi: 10.1615/hydrobj.v51.i5.50
38. Tarasova, O. M. (1983). Fitoplankton vodohranilishh dneprovskogo kaskada [Phytoplankton of reservoirs of the Dnieper cascade]. *Ryb. hoz-vo*, 37, 52–56 (in Russian).
39. Tarasova, O. M., Shapovalov, M. Z., Mushak, P. A. (1980). K voprosu o pitanii belyh tolstolobikov sinezelenymi vodorosljami [To the question of nutrition of white silver carps with blue-green algae]. *Ryb. hoz-vo*, 30, 75–77 (in Russian).
40. Topachevskij, A. V., Masjuk, I. P. (1984). Presnovodnye vodorosli Ukrainskoj SSR [Freshwater algae of the Ukrainian SSR]. Pod red. M. F. Makarovicha. Kiev: Vishha shkola, 336 (in Russian).
41. Vallina, S. M., Cermeno, P., Dutkiewicz, S., Loreau, M., & Montoya, J. M. (2017). Phytoplankton functional diversity increases ecosystem productivity and stability. In *Ecological Modelling*, 361, 184–196. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2017.06.020
42. Wang, S., Qian, X., Han, B.-P., Luo, L.-C., & Hamilton, D. P. (2012). Effects of local climate and hydrological conditions on the thermal regime of a reservoir at Tropic of Cancer, in southern China. In *Water Research*, 46(8), 2591–2604. Elsevier BV. doi: 10.1016/j.watres.2012.02.014
43. Yakovenko, V., Melnik, S., & Fedonenko, E. (2017). Species Composition, Seasonal Dynamics and Distribution of Phytoplankton of the Zaporizke Reservoir. In *International Letters of Natural Sciences*, 62, 1–10. SciPress Ltd. doi: 10.18052/www.scipress.com/ilns.62.1
44. Yan, M., Chen, S., Huang, T., Li, B., Li, N., Liu, K., Zong, R., Miao, Y., & Huang, X. (2020). Community Compositions of Phytoplankton and Eukaryotes during the Mixing Periods of a Drinking Water Reservoir: Dynamics and Interactions. In *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(4), 1128. MDPI AG. doi: 10.3390/ijerph17041128
45. Yang, M., Xia, J., Cai, W., Zhou, Z., Yang, L., Zhu, X., & Li, C. (2020). Seasonal and spatial distributions of morpho-functional phytoplankton groups and the role of environmental factors in a subtropical river-type reservoir. In *Water Science and Technology*, 82(11), 2316–2330. IWA Publishing. doi: 10.2166/wst.2020.489
46. Zadorozhna, G. M. & Shcherbak, V. I. (2016). Effect of solar radiation and water temperature on development of phytoplankton in the Kaniv reservoir. *Hydrobiological Journal*. Kyiv, 53 (1). Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/gbj_2016_52_5_4

Rudyk-Leuska N.Ya., PhD (Biological Sciences), Associate Professor, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Leuskyi M.V., Senior Laboratory Assistant, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Makarenko A.A., PhD, Assistant, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Yevtushenko N.Yu., Doctor (Biological Sciences), Professor, Corresponding Member of NASU, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Kyiv Ukraine

Current position of phytoplankton species diversity and water quality assessment of Kremenchuk Reservoir according to saprobity index

Phytoplankton is the basis of the autotrophic part of the aquatic ecosystem, the producer of organic substance and oxygen, which forms the energy basis of the diversity of aquatic organisms of higher trophic levels, the first part of trophic chains, the food source of invertebrates and fish at different levels of development.

In the summer of 2020–2021, there were studied the taxonomic content, number and biomass of phytoplankton, and the saprobity index in the Kremenchuk Reservoir. To achieve the purpose in the process of research there used hydrobiological and statistical research methods. The phytoplankton of the reservoir in the summer of 2020–2021 was represented by the following divisions: Cyanophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta, Chlorophyta. The leading place in the number of species had belonged to green algae, the intensity of development of which depended on water temperature, blue-green, diatoms were less important, and euglenae algae played a very insignificant role.

In the summer of 2020, the average number of phytoplankton in the Kremenchug reservoir in the studied areas was 12,427 thousand cells per liter at a biomass of 1,463 mg/dm³, and in the summer period of 2021 made 28099 thousand cells per liter at a biomass of 2,266 mg/dm³. Researches in the summer of 2020 showed that the basis of the number (74 %) and biomass (35 %) of phytoplankton was formed by cyanobacteria (blue-green algae) and diatoms, which in small numbers (7 %) formed 44 % of the total biomass of algae, so in summer 2021 a similar picture was observed, the basis of the number (93 %) and biomass (54 %) of phytoplankton was also formed by cyanobacteria (blue-green algae) and diatoms, which at a small number (2 %) formed 29 % of the total biomass of algae. In the summer of 2020, green algae were less developed in the reservoir, forming 19 % of the total number and 17 % of the algae biomass, and in the summer of 2021, they formed only 5 % of the total number and 15 % of the algae biomass. Euglenate algae played a much smaller role in the formation of phytoplankton number and biomass both in the researches in the summer of 2020 (0.1 and 3.2 %, respectively) and in 2021 (0.1 and 1.6 %, respectively).

According to the leading indicator species of saprobity, the water quality of the Kremenchuk Reservoir belongs to the β-mesosaprobic zone in all researched areas.

Key words: phytoplankton, Kremenchuk Reservoir, number, biomass, species, “blooming” of water, saprobity index.