

УДК 582.232 (282) (477)

Т.Ф. ШЕВЧЕНКО, к. б. н., ст. наук. співроб., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: tf_shevchenko@ukr.net
ORCID 0000-0002-6436-4968

Т.М. СЕРЕДА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: seredatm@ukr.net
ORCID 0000-0003-2679-4008

І.М. НЕЗБРИЦЬКА, к. б. н., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: inna_imn@ukr.net
ORCID 0000-0003-4607-0058

О.П. БІЛОУС, к. б. н., ст. досл., ст. наук. співроб.,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: bilous_olena@ukr.net
ORCID 0000-0001-5229-3667

С.О. АФАНАСЬЄВ, д. б. н., проф., чл.-кор. НАНУ, директор,
Інститут гідробіології НАН України,
просп. Володимира Івасюка, 12, Київ, 04210, Україна
e-mail: safanasyev@ukr.net
ORCID 0000-0002-5247-3542

ЗМІНИ У ФІТОПЛАНКТОНІ Р. ІРПІНЬ (УКРАЇНА) ВНАСЛІДОК ВОЄННИХ ДІЙ В ЇЇ БАСЕЙНІ¹

Досліджено у порівняльному аспекті (до і після початку воєнних дій) структуру фітопланктону на ділянці р. Ірпінь, яка відноситься до великих річок на низовині, що протікають в силікатних породах. Загалом за період досліджень у товщі води р. Ірпінь знайдено 132 види водоростей з семи відділів, серед яких переважали Bacillariophyta та Chlorophyta (37,1 та 31,1 % загальної кількості видів). Розподіл планктонних водоростей по окремих станціях навіть в межах одного масиву поверхневих вод був дуже нерівномірним за видовим складом (значення коефіцієнта флористичної подібності в середньому становили 37 %), видовим багатством (18–49), чисельністю (1930 тис. кл/дм³–24 450 тис. кл/дм³) та біомасою (2,118 мг/дм³ —

¹ Роботу виконано за підтримки Національного фонду досліджень України (проект від 01.08.2023 № 187/0077).

Ц и т у в а н н я: Шевченко Т.Ф., Середя Т.М., Незбрицька І.М., Білоус О.П., Афанасьєв С.О. Зміни у фітопланктоні р. Ірпінь (Україна) внаслідок воєнних дій в її басейні. *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 2. С. 24–39.

20,374 мг/дм³). На окремих станціях домінували практично різні види водоростей (14 видів із 20 домінували тільки на одній станції). У порівнянні з попереднім періодом досліджень (2018 р.) кількість видів планктонних водоростей на досліджуваній ділянці р. Ірпінь децю збільшилась (з 121 до 132). У таксономічній структурі фітопланктону відбулися певні зміни. Зросла частка діатомових (з 22,3 до 37,1 %) та синьозелених водоростей (з 9,1 до 12,1 %) і зменшилась частка зелених водоростей (з 47,1 до 37,1 %). Кількісні показники розвитку фітопланктону збільшились. Максимальна чисельність зросла з 19 480 тис. кл/дм³ до 24 450 тис. кл/дм³, а біомаса — з 5,143 мг/дм³ до 20,374 мг/дм³.

Як наслідок впливу воєнних дій на фітопланктон р. Ірпінь можна розглядати збільшення кількості його видів, максимальної чисельності та біомаси, а також частки синьозелених водоростей — збудників «цвітіння води» на пригирловій ділянці р. Ірпінь внаслідок порушення гідроморфології та надходження додаткової кількості біогенних елементів із затоплених територій, що може призвести до формування такого негативного явища як «цвітіння води» на цій ділянці річки.

Ключові слова: фітопланктон, таксономічна структура, видовий склад, кількісні показники, домінуючий комплекс, вміст хлорофілу *a*, вплив воєнних дій, р. Ірпінь.

На сучасному етапі загрози і ризики прісноводним екосистемам внаслідок проведення воєнних дій, які супроводжуються руйнуванням гідротехнічних споруд і затопленням значних територій, зокрема, і населених пунктів, потребують першочергової уваги [18]. Прикладом може бути широко відомий факт затоплення долини р. Ірпінь, яка бере початок в Житомирській області і закінчується біля с. Козаровичі (Київська область), де води річки піднімаються насосною станцією до рівня Київського водосховища. В результаті підриву водоскиду на Козаровицькій дамбі була затоплена територія площею понад 2500 га [13]. Важливим аспектом екологічної драми в долині Ірпеня стало забруднення річкової води внаслідок надходження в неї агрохімікатів із меліоративних земель, а також відходів життєдіяльності і господарювання сільського населення та залишків палива, технічних мастил і боеприпасів [13, 17].

Для характеристики стану водних об'єктів та виявлення змін, які відбуваються в їхніх екосистемах за дії різних чинників, досить важливим є вибір адекватних і надійних показників. Серед них варто зазначити видовий склад та кількісні показники розвитку гідробіонтів і, в першу чергу, планктонних водоростей — основи трофічної ланки різнотипних водних об'єктів. Фітопланктон досить чутливий до змін абіотичних і біотичних чинників середовища й чітко реагує на різнобічний антропогенний вплив [24, 25, 27, 34]. Це обумовлює ефективність його використання для оцінки екологічного стану водних об'єктів [26, 29, 30]. Важливим показником є також концентрація хлорофілу *a* у фітопланктоні, яка характеризує фотосинтетичну активність, фізіологічний стан та біомасу водоростей, а також рівень трофності вод [2, 21, 28].

Перші відомості щодо фітопланктону річки Ірпінь містяться в роботі Д.О. Радзимовського [12], а також у монографії В.В. Поліщука із співавторами [11]. В подальшому планктонні водорості р. Ірпінь досліджували в період з 1989 по 1999 рр. Основну увагу дослідники приділили вивченню

видового складу фітопланктону, кількісних показників його розвитку та комплексу домінуючих видів [6, 7, 9]. Низку кореляційних залежностей встановлено в результаті дослідження динаміки біогенних елементів та органічних речовин у р. Ірпінь у зв'язку з розвитком фітопланктону [5, 39, 40]. В цей же період проводили дослідження вмісту хлорофілу *a* у фітопланктоні біля м. Ірпінь [8]. Річну динаміку та екологічні характеристики планктонних водоростей р. Ірпінь досліджували у більш пізній період (2018 р.) [15].

Мета роботи полягала у вивченні у порівняльному аспекті таксономічної структури, видового складу, кількісних показників розвитку та домінуючого комплексу фітопланктону р. Ірпінь до і після початку воєнних дій для виявлення екологічних наслідків затоплення долини річки Ірпінь.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили на річці Ірпінь на шести станціях: 1 — в районі с. Черногородка (50°13'13.8"N; 29°58'52.2"E), 2 — с. Дзвінкове (50°17'16.6"N; 30°03'33.6"E), 3 — с. Княжичі (50°19'28.5"N; 30°08'39.5"E), 4 — с. Романівка (50°29'26.4"N; 30°15'29.6"E), 5 — с. Червоне (50°39'52.0"N; 30°16'49.3"E), 6 — с. Демидів (50°42'57.8"N; 30°20'17.8"E). Згідно типології масивів поверхневих вод та гідрографічного районування України [20] досліджувана ділянка річки відноситься до великих річок на низовині, що протікають в силікатних породах в межах екорегіону Східні рівнини.

Проби фітопланктону та води для хімічного аналізу відбирали у вересні 2023 р. за допомогою батометра Рутнера із поверхневого шару води (15—20 см). Альгологічні проби об'ємом 0,5 дм³ фіксували 40 % розчином формальдегіду (із кінцевою концентрацією 4 %) і концентрували методом седиментації. Чисельність водоростей визначали методом прямого підрахунку в камері Нажотта об'ємом 0,02 см³, а біомасу — стереометричним методом [10, 14]. Чисельність водоростей наведено у тис. кл/дм³, а біомасу — в мг/дм³. До складу домінантів відносили види, внесок яких до загальної чисельності та біомаси фітопланктону у пробі становив ≥ 10 %. Видовий склад водоростей, знайдених на різних станціях та у різні роки, порівнювали з використанням коефіцієнта флористичної подібності (КФП) Серенсена [10]. Флористичний аналіз проводили з використанням методів, прийнятих для вищих рослин [16]. Екологічні характеристики водоростей-індикаторів наведено згідно [33, 38]. Латинські назви і обсяг таксонів водоростей наведені у відповідності до класифікаційних систем [35—37].

Концентрацію неорганічних сполук азоту і фосфору визначали згідно з загальноприйнятими гідрохімічними методами. Для визначення амонійного азоту застосовували сегнетову сіль з реактивом Несслера, нітритів — реактив Грісса, нітратів — саліцилат натрію, а неорганічного фосфору — молібдат амонію з аскорбіновою кислотою [1].

Визначення вмісту хлорофілу *a* проводили екстрактним спектрофотометричним методом [32]. Біомасу фітопланктону концентрували мето-

дом мембранної фільтрації. Фільтрування проб води здійснювали через нітроцелюлозні мембранні фільтри (MDI, Індія) з діаметром пор 0,45 мкм за допомогою вакуумного мембранного насоса N 86 KN. 18 IP (KNF, Німеччина). В подальшому пігменти водоростей екстрагували 90 % ацетоном. Оптичну густину екстрактів вимірювали на спектрофотометрі ULAB 102UV (ULAB, Китай). Концентрацію хлорофілу *a* визначали з використанням відповідних рівнянь [22].

Для визначення трофічного статусу вод за хлорофілом *a* розраховували трофічний індекс Карлсона [19].

Результати досліджень

Гідрохімічна характеристика. Гідрохімічний режим річок формується під впливом природних умов та антропогенної діяльності на водозборі [4]. Отримані дані свідчать, що вміст амонійного азоту на досліджуваній ділянці р. Ірпінь змінювався від 0,063 до 1,254 мг N/дм³. Межі коливань концентрації нітрит-іонів (NO₂⁻) та нітрат-іонів (NO₃⁻) становили відповідно 0,003—0,140 та 0,102—0,593 мг N/дм³. Варто відмітити, що серед неорганічних форм азоту майже на всіх станціях переважали нітрат-іони (їхня частка становила 58,5—80,0 % загального вмісту неорганічних сполук азоту), за винятком станції поблизу с. Романівка, де переважали іони амонію (83,8 %). Вміст неорганічного фосфору у воді р. Ірпінь змінювався в межах від 0,106 до 0,181 мг/дм³ (табл. 1).

Таксономічна структура фітопланктону. За період досліджень загалом було знайдено 132 види водоростей, представлених 137 внутрішньовидовими таксонами (включаючи ті, що містять номенклатурний тип виду) з семи відділів. Найбільшу кількість видів містили Bacillariophyta — 49 та Chlorophyta — 41. Їхня частка становила відповідно 37,1 та 31,1 % загальної кількості видів. Euglenophyta (18 видів) та Cyanoprokaryota (16 видів) значно поступалися першим двом відділам. Їхня частка була нижчою — відповідно 13,6 та 12,1 %. Відділи Dinophyta, Cryptophyta, Chryso-phyta, представлені 2—3 видами. Їхня частка коливалася в межах від 1,5 до 2,3 % загальної кількості видів (табл. 2).

Таблиця 1

Хімічні показники води р. Ірпінь

Показники	Станції відбору проб					
	1	2	3	4	5	6
NH ₄ ⁺ , мг N/дм ³	0,065	0,086	0,063	1,254	0,088	0,225
NO ₂ ⁻ , мг N/дм ³	0,004	0,005	0,003	0,140	0,093	0,011
NO ₃ ⁻ , мг N/дм ³	0,259	0,359	0,240	0,102	0,593	0,333
P _{неорг} , мг/дм ³	0,106	0,181	0,158	0,162	0,110	0,118

Примітка. Тут і в табл. 3—6, проби відбирали на станціях: 1 — с. Чорногородка; 2 — с. Дзвінкове; 3 — с. Княжичі; 4 — с. Романівка; 5 — с. Червоне; 6 — с. Демидів.

Серед зелених водоростей переважали представники класу Chlorophyceae, порядку Sphaeropleales, родин Selenastraceae та Scenedesmaceae та родів *Monoraphidium* Komárk-Legn., *Desmodesmus* (Chodat) An et al. і *Scenedesmus* Meyen.

Основу видового багатства діатомових водоростей становили представники класів Mediophyceae та Bacillariophyceae, порядків Thalassiosirales, Fragilariales, Cymbellales, Naviculales та Bacillariales, родин Stephanodiscaceae, Fragilariaceae, Cymbellaceae, Gomphonemataceae, Naviculaceae та Bacillariaceae, а також родів *Cyclotella* Kütz., *Gomphonema* (C. Agardh) Ehrenb., *Fragilaria* Lyngb., *Navicula* Bory та *Nitzschia* Hassal.

Представники синьозелених водоростей належать до двох класів Суанопхуцеє та Нормогоніопхуцеє. Найбільшу кількість видів включав порядок Chroococcales, родини Oscillatoriaceae, Synechococcaceae, Merismopediaceae і Microcystaceae та роди *Oscillatoria* Vaucher ex Gomont і *Microcystis* Kütz. ex Lemmerm.

Евгленофітові водорості представлені класом Euglenophyceae, порядком Euglenales та родиною Euglenaceae, серед яких переважали роди *Euglena* Ehrenb. та *Trachelomonas* Ehrenb.

Динофітові, криптофітові, золотисті водорості включали незначну кількість видів. Серед них варто зазначити представників родів *Peridiniopsis* Lemmerm. (Dinophyta), *Cryptomonas* Ehrenb. (Cryptophyta) та *Pseudokephyrion* Pascher (Chrysophyta).

До числа провідних родин, що містять 57,6 % загальної кількості видів планктонних водоростей р. Ірпінь, входили Euglenaceae (18 видів), Scenedesmaceae (13), Selenastraceae (9), Stephanodiscaceae (6), Fragilariaceae (5), Chlorellaceae (5), Cymbellaceae (5), Gomphonemataceae (5), Naviculaceae (5) та Oscillatoriaceae (5).

Таблиця 2

Таксономічна структура фітопланктону р. Ірпінь

Відділи	Класи	Порядки	Родини	Роди	Види	Внутрішньовидові таксони	Частка загальної кількості видів, %
Суанопрокарйота	2	3	7	13	16	16	12,1
Euglenophyta	1	1	1	5	18	18	13,6
Chrysophyta	1	2	3	3	3	3	2,3
Bacillariophyta	3	11	17	24	49	54	37,1
Dinophyta	1	2	3	3	3	3	2,3
Cryptophyta	1	1	1	2	2	2	1,5
Chlorophyta	2	5	9	22	41	41	31,1
Всього	11	25	41	72	132	137	100

До провідних родів, що визначають основу видового багатства фітопланктону р. Ірпінь (40,9 %), входили *Monoraphidium* (6 видів), *Trachelomonas* (6), *Desmodesmus* (5), *Euglena* (5), *Navicula* (5), *Scenedesmus* (4), *Nitzschia* (4), *Cyclotella* (4), *Gomphonema* (4), *Fragilaria* (3), *Oscillatoria* (3), *Phacus* Dujard. (3), *Lepocinclis* Perty (3) та *Chlamydomonas* Ehrenb. (3).

На окремих станціях кількість видів планктонних водоростей змінювалась від 18 до 49. На більшості станцій за кількістю видів переважали діатомові водорості, їхня частка становила 68,8—90,5 %. Лише на двох станціях (ст. 4 та 6) переважали зелені водорості (34,1—42,9 %). Привертає увагу станція 6 (біля с. Демидів), розташована на пригирловій ділянці р. Ірпінь, де знайдено найбільшу кількість видів синьозелених, евгленофітових та зелених водоростей (табл. 3). У попередній період досліджень (у вересні 2018 р.) на ділянці р. Ірпінь біля м. Ірпінь було знайдено 46 видів водоростей, серед яких також переважали Chlorophyta (66,5 %) [15].

Кількісні показники розвитку фітопланктону. На окремих станціях досліджуваної ділянки р. Ірпінь чисельність планктонних водоростей змінювалась від 1930 тис. кл/дм³ до 24 450 тис. кл/дм³. На двох станціях (ст. 1 і 2) переважали діатомові (51,8—72,5 % загальної чисельності фітопланктону) і на чотирьох станціях — синьозелені водорості (54,5—

Таблиця 3

Видове багатство фітопланктону на досліджуваній ділянці р. Ірпінь

Відділи водоростей	Станції відбору проб					
	1	2	3	4	5	6
Суанопрокaryota	$\frac{1}{4,8}$	$\frac{1}{5,6}$	$\frac{3}{9,4}$	$\frac{4}{9,8}$	$\frac{3}{9,4}$	$\frac{7}{14,3}$
Dinophyta	—	—	—	$\frac{2}{4,9}$	—	$\frac{1}{2,0}$
Cryptophyta	—	$\frac{1}{5,6}$	—	$\frac{1}{2,4}$	$\frac{1}{3,1}$	$\frac{2}{4,1}$
Euglenophyta	$\frac{1}{4,8}$	$\frac{2}{11,1}$	$\frac{1}{3,1}$	$\frac{7}{17,0}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{8}{16,3}$
Chrysophyta	—	—	—	$\frac{2}{4,9}$	$\frac{1}{3,1}$	$\frac{1}{2,0}$
Bacillariophyta	$\frac{19}{90,5}$	$\frac{13}{72,2}$	$\frac{24}{75,0}$	$\frac{11}{26,9}$	$\frac{22}{68,8}$	$\frac{9}{18,4}$
Chlorophyta	—	$\frac{1}{5,6}$	$\frac{4}{12,5}$	$\frac{14}{34,1}$	$\frac{1}{3,1}$	$\frac{21}{42,9}$
Загалом	$\frac{21}{100}$	$\frac{18}{100}$	$\frac{32}{100}$	$\frac{41}{100}$	$\frac{32}{100}$	$\frac{49}{100}$

Примітка. Тут і в табл. 4 і 5: над рискою наведені абсолютні величини, під рискою — відносні у відсотках.

81,5 %). На пригирловій ділянці р. Ірпінь (ст. 6 біля с. Демидів) зареєстровано найвищі показники чисельності фітопланктону (24 450 тис. кл/дм³), сформованої в основному синьозеленими водоростями (80,5 %) (табл. 4). У попередній період досліджень (у вересні 2018 р.) на ділянці річки біля м. Ірпінь чисельність фітопланктону становила 19 480 тис. кл/дм³. Осінній пік його чисельності також був зумовлений масовим розвитком синьозелених водоростей. Проте їхня частка у загальній чисельності фітопланктону була значно нижчою (60,5 %) [15].

Біомаса планктонних водоростей також змінювалась у широких межах — від 2,118 до 20,374 мг/дм³. На всіх станціях переважали діатомові водорості (36,4—91,9 %) і лише на станції 6 (біля с. Демидів) — зелені (24,4 %), діатомові (22,2 %) та динофітові (22,0 %) водорості. Найвищі показники біомаси фітопланктону (20,374 мг/дм³), сформованої в основному діатомовими водоростями (91,9 %), зареєстровані на станції 3 (біля с. Княжичі) (табл. 5).

Домінуючий комплекс налічував 20 видів, серед яких переважали Cyanoprokaryota (8 видів) та Bacillariophyta (9). Відділи Chlorophyta, Euglenophyta та Dinophyta представлені одним видом кожний. На окремих станціях домінували практично різні види водоростей (14 видів із 20 — тільки на одній станції). Лише між деякими станціями спостерігали незначну подібність у складі домінуючого комплексу. Значення коефіцієнта флористичної подібності варіювали від 22 до 57 % і в середньому становили

Таблиця 4

Чисельність фітопланктону на досліджуваній ділянці р. Ірпінь

Відділи водоростей	Станції відбору проб					
	1	2	3	4	5	6
Cyanoprokaryota	2150	180	9080	9100	11970	19 680
	47,1	9,3	58,7	54,5	81,5	80,5
Dinophyta	—	—	—	180	—	100
	—	—	—	1,1	—	0,4
Cryptophyta	—	50	—	50	90	160
	—	2,6	—	0,3	0,6	0,6
Euglenophyta	50	100	30	530	210	340
	1,1	5,2	0,2	3,2	1,4	1,4
Chrysophyta	—	—	—	250	30	20
	—	—	—	1,5	0,2	0,1
Bacillariophyta	2360	1400	4940	1980	2150	770
	51,8	72,5	31,9	11,9	14,6	3,1
Chlorophyta	—	200	1410	4610	240	3380
	—	10,4	9,1	27,6	1,6	13,8
Загалом	4560	1930	15 460	16 700	14 690	24 450
	100	100	100	100	100	100

ли 35 %. Варто зазначити, що лише на пригирловій ділянці річки до складу домінуючого комплексу входили синьозелені водорості *Anabaena flos-aquae* Bréb., *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs та *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., що належать до збудників «цвітіння води» (табл. 6). За чисельністю домінували переважно синьозелені і лише зрідка діатомові та зелені, а за біомасою — діатомові і зрідка евгленофітові, зелені та динофітові водорості.

На окремих станціях значення індексу сапробності [33], розраховані за біомасою фітопланктону, варіювали від 1,72 до 2,08, що свідчить про те, що досліджувана ділянка р. Ірпінь може бути віднесена до β-мезосапробної зони. У різні періоди досліджень у фітопланктоні р. Ірпінь також переважали β-мезосапробні організми (понад 70 % загальної кількості видів — індикаторів органічного забруднення) [9, 15].

Серед водоростей — індикаторів трофічного рівня [38] переважали представники евтрофних вод (51,2 %). Значно меншою виявилася частка представників мезо-евтрофних вод (16,3 %) та організмів — індикаторів широкої амплітуди трофності (14,0 %). Частка індикаторів оліготрофних, оліго-мезотрофних, мезотрофних та гіпертрофних вод коливалась від 2,3 % до 7,0 %.

Дослідження концентрації хлорофілу *a* у фітопланктоні р. Ірпінь показало, що розподіл цього пігменту по окремих станціях був дуже нерівномірним і варіював у широких межах від 0,19 мкг/дм³ до

Таблиця 5

Біомаса фітопланктону на досліджуваній ділянці р. Ірпінь

Відділи водоростей	Станції відбору проб					
	1	2	3	4	5	6
Cyanoprokaryota	0,613	0,006	0,271	0,190	0,897	0,785
	119	0,3	13	1,1	14,4	10,8
Dinophyta	—	—	—	1,58	—	1,603
	—	—	—	9,7	—	22,0
Cryptophyta	—	0,025	—	0,025	0,045	0,074
	—	1,2	—	0,1	0,7	1,0
Euglenophyta	0,252	0,308	0,053	5,445	0,682	1,415
	49	14,5	0,3	33,3	11,0	19,4
Chrysophyta	—	—	—	0,043	0,008	0,005
	—	—	—	0,3	0,1	0,1
Bacillariophyta	4,277	1,717	18,742	5,944	4,450	1,620
	83,2	81,0	91,9	36,4	71,6	22,2
Chlorophyta	—	0,062	1,308	3,100	0,129	1,782
	—	2,9	6,4	19,0	2,1	24,4
Загалом	5,142	2,118	20,374	16,327	6,211	7,284
	100	100	100	100	100	100

89,86 мкг/дм³. Максимальна концентрація хлорофілу *a* була зареєстрована на станціях поблизу с. Романівка та с. Демидів, що свідчить про інтенсивний розвиток планктонних водоростей на цих станціях і співпадає з найбільш високими значеннями їхньої чисельності (16 700 тис. кл/дм³ та 24 450 тис. кл/дм³) (рисунок).

Таблиця 6

Домінуючі види фітопланктону р. Ірпінь

Види водоростей	Станції відбору проб					
	1	2	3	4	5	6
Cyanoprokaryota						
<i>Anabaena flos-aquae</i> Bréb.	—	—	—	—	<i>d</i>	—
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i> (L.) Ralfs	—	—	—	—	—	<i>d</i>
<i>Coelosphaerium kuetzingianum</i> Nägeli	—	—	—	<i>d</i>	—	—
<i>Snowella lacustris</i> (Chodat) Komarék et Hindák	—	—	<i>d</i>	<i>d</i>	—	+
<i>Microcystis aeruginosa</i> (Kütz.) Kütz.	—	—	—	—	<i>d</i>	<i>d</i>
<i>Microcystis pulvereae</i> (Wood) Forti emend Elenkin	—	—	<i>d</i>	+	<i>d</i>	<i>d</i>
<i>Oscillatoria tenuis</i> J. Agardh ex Gomont	<i>d</i>	—	—	—	—	—
<i>Romeria gracilis</i> Koczw.	—	—	—	—	—	<i>d</i>
Euglenophyta						
<i>Phacus longicauda</i> (Ehrenb.) Dujard.	—	—	—	<i>d</i>	—	—
Bacillariophyta						
<i>Aulacoseira italica</i> (Ehrenb.) Simonsen	<i>d</i>	—	+	—	<i>d</i>	+
<i>Aulacoseira granulata</i> (Ehrenb.) Simonsen	—	—	<i>d</i>	<i>d</i>	+	<i>d</i>
<i>Cymatopleura solea</i> (Bréb.) W. Sm.	—	—	<i>d</i>	—	—	—
<i>Cymatopleura elliptica</i> (Bréb. in Kütz.) W. Sm.	—	—	<i>d</i>	—	—	—
<i>Cymbella cymbiformis</i> C. Agardh	+	<i>d</i>	+	—	+	—
<i>Fragilariforma virescens</i> (Ralfs) De Will. et Round	+	<i>d</i>	+	+	+	—
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kütz.) Rabenh.	<i>d</i>	—	—	—	<i>d</i>	—
<i>Stephanodiscus hantschii</i> Grunow	+	<i>d</i>	+	+	+	—
<i>Synedra ulna</i> (Nitzsch) Ehrenb.	+	<i>d</i>	+	—	+	—
Dinophyta						
<i>Glenodinium</i> sp.	—	—	—	—	—	<i>d</i>
Chlorophyta						
<i>Granulocystis verrucosa</i> (Y.V. Roll) Hindák	—	<i>d</i>	—	+	—	+

П р и м і т к а. «*d*» — домінуючий вид; «+» — вид не входить до складу домінуючого комплексу; «—» — вид не знайдено.

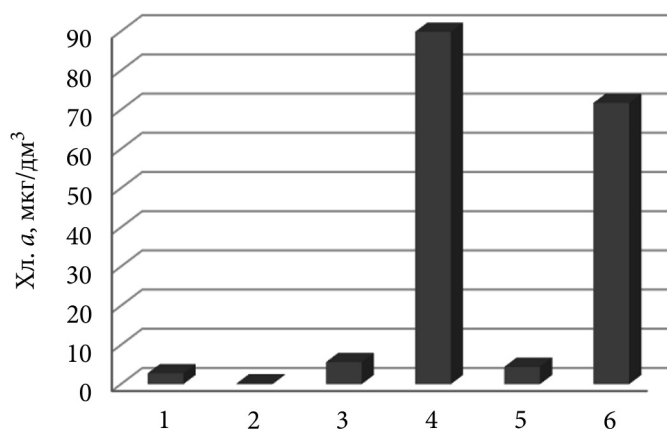


Рисунок. Просторовий розподіл хлорофілу *a* у фітопланктоні р. Ірпінь. 1 — с. Чорногородка; 2 — с. Дзвінкове; 3 — с. Княжичі; 4 — с. Романівка; 5 — с. Червоне; 6 — с. Демидів

На основі проведених розрахунків встановлено, що трофічний статус вод р. Ірпінь за концентрацією хлорофілу *a* змінювався від оліготрофних (в районі с. Дзвінкове та с. Чорногородка) до мезотрофних (в районі с. Княжичі та с. Червоне) та гіпертрофних (поблизу с. Романівка та с. Демидів).

Обговорення результатів досліджень

Отримані результати свідчать про те, що фітопланктон на досліджуваній ділянці р. Ірпінь характеризувався значним видовим багатством. Проте розподіл водоростей по окремих станціях навіть в межах одного масиву поверхневих вод за видовим складом, видовим багатством, чисельністю та біомасою був дуже нерівномірним, що підтверджується і нерівномірним розподілом концентрації хлорофілу *a*. На досліджених станціях домінували практично різні види водоростей.

Проведений аналіз отриманих даних показав, що у порівнянні з попереднім періодом досліджень (2018 р.) [15] загальна кількість видів планктонних водоростей у р. Ірпінь дещо збільшилась (з 121 до 132 видів). Відбулися зміни і у таксономічній структурі фітопланктону. Значно зросла кількість видів діатомових водоростей (з 27 до 49) та їхня частка (з 22,3 до 37,1 %) і зменшилась кількість видів зелених водоростей (з 57 до 41) та їхня частка (з 47,1 до 37,1 %). Знайдено дещо більше видів синьозелених водоростей (16 замість 11) та зросла їхня частка (з 9,1 до 12,1 %). Кількість видів евгленофітових, динофітових, криптофітових та золотистих водоростей та їхня частка залишились майже незмінними. Не знайдені представники відділів Xanthophyta та Charophyta.

Про зміни у таксономічній структурі фітопланктону р. Ірпінь свідчать і досить низькі значення коефіцієнта рангової кореляції Кендела, розраховані для провідних родин ($\tau = 0,39$) та провідних родів ($\tau = 0,52$).

Як видно з отриманих даних, більш суттєвих змін зазнала таксономічна структура фітопланктону на рівні провідних родин.

Видовий склад фітопланктону у різні періоди досліджень значно відрізнявся (КФП = 37 %). Це ж стосується і окремих відділів водоростей: Суанопрокарйота (КФП = 44 %), Chlorophyta (КФП = 45 %), Bacillariophyta (КФП = 35 %) і Euglenophyta (КФП = 29 %).

Кількісні показники розвитку фітопланктону збільшилися. Так, максимальна чисельність зростає з 19 480 тис. кл/дм³ до 24 450 тис. кл/дм³, а біомаса — з 5,143 мг/дм³ до 20,374 мг/дм³.

В обидва періоди домінуючий комплекс фітопланктону р. Ірпінь був представлений майже однаковою кількістю видів (19 і 20 відповідно). Проте у його складі значно зростає кількість синьозелених (з 3 до 8) та діатомових (з 3 до 9) і зменшилася кількість зелених водоростей (з 8 до 1). В обидва періоди до комплексу домінантів входили лише шість видів — *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend Elenkin, *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Simonsen, *Stephanodiscus hantschii* Grunow та *Cymatopleura solea* (Bréb.) W. Sm. Загалом видовий склад домінуючого комплексу у різні періоди досліджень значно відрізнявся (КФП = 31 %).

У порівнянні з попереднім періодом (2018 р.) [15] на досліджуваній ділянці р. Ірпінь змінився і хімічний склад води. Концентрація амонійного азоту на чотирьох станціях зменшилась з 0,100 мг N/дм³ (у вересні 2018 р.) до 0,063—0,088 мг N/дм³. Лише на двох станціях (ст. 4 поблизу с. Романівка і ст. 6 біля с. Демидів) його концентрація значно збільшилась (відповідно до 1,254 мг N/дм³ та 0,225 мг N/дм³). Концентрація нітрит-іонів (NO₂⁻) зменшилась на чотирьох станціях з 0,014 мг N/дм³ (у вересні 2018 р.) до 0,003—0,011 мг N/дм³ і значно збільшилась на двох станціях (ст. 4 біля с. Романівка і ст. 5 біля с. Червоне), де становила відповідно 0,140 і 0,093 мг N/дм³. Концентрація нітрат-іонів (NO₃⁻), яка у вересні 2018 р. становила 0,320 мг N/дм³, на трьох станціях зменшилась, а на інших трьох станціях збільшилась. Найвищі її значення (0,593 мг N/дм³) зареєстровані ст. 5 біля с. Червоне.

Важливо відмітити, що підвищення концентрації неорганічних сполук азоту у порівнянні з попереднім періодом досліджень (вересень 2018 р.) зареєстровано на ділянці р. Ірпінь (ст. 4, 5 і 6 поблизу сіл Романівка, Червоне та Демидів), що зазнала найбільш суттєвого впливу воєнних дій.

В обидва періоди серед неорганічних форм азоту майже на всіх станціях переважали нітрат-іони (на їх частку припадало 73,7 % загальної концентрації сполук неорганічного азоту у вересні 2018 р. і 58,5—80,0 % у 2023 р.) (див. табл. 1). Переважання нітратної форми азоту пов'язано з внутрішньоводоймними процесами, насамперед з процесами нітрифікації — окиснення іонів амонію за участі нітрифікуючих мікроорганізмів, а також з їхнім надходженням внаслідок вимивання з ґрунтового комплексу.

Домінування амонійного азоту, не дивлячись на те, що він активно споживається водоростями [23, 31], вказує на посилення процесів бактеріального розкладу органічної речовини та свідчить про ймовірне формування у воді дефіциту розчиненого кисню і переважання процесів забруднення над процесами самоочищення водного середовища [3].

Концентрація неорганічного фосфору, яка у вересні 2018 р. становила 0,072 мг/дм³, на всіх станціях збільшилась (0,106—0,181 мг/дм³). Основними джерелами надходження неорганічних сполук фосфору у поверхневі води є неочищені або частково очищені стічні води.

Висновки

Загалом за період досліджень у товщі води р. Ірпінь знайдено 132 види водоростей з семи відділів, серед яких переважали Bacillariophyta та Chlorophyta. Розподіл водоростей по окремих станціях навіть в межах одного масиву поверхневих вод за видовим складом, видовим багатством, чисельністю та біомасою був дуже нерівномірним, що підтверджується і нерівномірним розподілом концентрації хлорофілу *a*. На досліджених станціях домінували різні види водоростей.

У порівнянні з попереднім періодом (2018 р.) кількість видів планктонних водоростей на досліджуваній ділянці р. Ірпінь дещо збільшилась, а у таксономічній структурі фітопланктону відбулися певні зміни. Зросла частка діатомових та синьозелених водоростей і зменшилась частка зелених водоростей. Кількісні показники розвитку фітопланктону збільшились, зросли максимальна чисельність та біомаса фітопланктону. Певних змін зазнав і домінуючий комплекс, у складі якого значно збільшилась частка синьозелених водоростей.

Значення індексу сапробності, розраховані за біомасою фітопланктону, свідчать про те, що досліджувана ділянка р. Ірпінь може бути віднесена до β-мезосапробної зони, що відмічали і у попередні періоди досліджень.

Трофічний статус вод р. Ірпінь за концентрацією хлорофілу *a* змінювався від оліготрофних (в районі с. Дзвінкове та с. Чорногородка) до мезотрофних (в районі с. Княжичі та с. Червоне) та гіпертрофних (поблизу с. Романівка та с. Демидів). Серед водоростей — індикаторів трофічного статусу переважали представники евтрофних вод (51,2 %).

Як наслідок впливу воєнних дій на фітопланктон р. Ірпінь можна розглядати збільшення кількості його видів, максимальної чисельності та біомаси, а також частки синьозелених водоростей — збудників «цвітіння води» на пригирловій ділянці р. Ірпінь внаслідок порушення гідроморфології та надходження додаткової кількості біогенних речовин із затоплених територій, що може призвести до формування такого негативного явища як «цвітіння води» на цій ділянці річки.

Список використаної літератури

1. Аналітична хімія поверхневих вод / Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б. Київ : Наук. думка, 2007. 456 с.

2. Васенко О.Г., Верніченко Г.А., Верніченко-Цветков Д.Ю. Фотосинтетичні пігменти альгофлори як біомаркери екологічного стану водних об'єктів (на прикладі пониззя Дунаю). *Питання біоіндикації та екології*. 2018. Вип. 23, № 1. С. 129—145.
3. Гідрохімічний режим та якість поверхневих вод басейну Дністра на території України : [монографія] / В.К. Хільчевський, О.М. Гончар, М.Р. Забокрицька, Р.Л. Кравчинський, В.А. Сташук, О.В. Чунарьов; ред.: В.К. Хільчевський, В.А. Сташук. Київ : Ніка-Центр, 2013. 255 с.
4. Даус М.Є., Кічук Н.С., Романчук М.Є., Шакірманова Ж.Р. Динаміка мінералізації і вмісту головних іонів у поверхневих водах басейну Дніпра за період 1990—2015 роки. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2018. № 3 (50). С. 6—23.
5. Клоченко П.Д. Динамика неорганических соединений азота в загрязненных малых реках в связи с развитием фитопланктона (на примере некоторых притоков Днепра). *Гидробиол. журн.* 1995. Т. 31, № 2. С. 95—102.
6. Клоченко П.Д. Сравнительная характеристика фитопланктона притоков Днепра (Украина). *Альгология*. 1996. Т. 6, № 3. С. 272—284.
7. Клоченко П.Д., Иванова И.Ю. Особенности видовой разнообразия фитопланктона притоков Днепра. *Альгология*. 2009. Т. 19, № 4. С. 362—379.
8. Клоченко П.Д., Медведь В.А. Хлорофилл «а» в фитопланктоне притоков Днепра. *Гидробиол. журн.* 1995. 31, № 3. С. 76—84.
9. Клоченко П.Д., Митківська Т.І. Фітопланктон приток Верхнього Дніпра. *Укр. ботан. журн.* 1993. Т. 50, № 2. С. 69—79.
10. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д. Романенка. НАН України. Ін-т гідробіології. Київ : Логос, 2006. 408 с.
11. Поліщук В.В., Трав'янка В.С., Коненко Г.Д., Гарасевич І.Г. Гідробіологія і гідрохімія річок Правобережного Придніпров'я. Київ : Наук. думка, 1978. 270 с.
12. Радзимовский Д.А. Фитопланктон р. Ирпень до и после мелиорации // Вопросы рыбохозяйственного освоения и санитарно-биологического режима водоемов Украины. Киев : Наук. думка, 1970. С. 52—54.
13. Стародубцев В.М., Ладика М.М., У Жофань та ін. Героїчна оборона та екологічна драма в долині річки Ірпінь. *Міжнарод. наук. журн. «Грааль науки»*. 2022. № 23. С. 172—182.
14. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. Киев: Вища шк., 1984. 333 с.
15. Шевченко Т.Ф., Клоченко П.Д., Середа Т.М. Річна динаміка та екологічні характеристики фітопланктону р. Ірпінь (Україна) до початку воєнних дій. *Гідробіол. журн.* 2024. Т. 60, № 1. С. 27—46.
16. Шмидт В.М. Статистические методы в сравнительной флористике. Ленинград : Изд-во Ленинград. ун-та, 1980. 176 с.
17. Afanasyev S.O. Impact of war on hydroecosystems of Ukraine: conclusion of the first year of the full-scale invasion of Russia (a review). *Hydrobiol. J.* 2023. Vol. 59, N 4. P. 3—16.
18. Bănăduc D., Simić V., Cianfaglion K. et al. Freshwater as a sustainable resource and generator of secondary resources in the 21st century: stressors, threats, risks, management and protection strategies, and conservation approaches. *Intern. J. Environ. Res. Publ. Health*. 2022. Vol. 19, N 24, art. no. 16570.
19. Carlson R.E. A trophic state index for lakes. *Limnol. Oceanogr.* 1977. Vol. 22. P. 261—369.
20. Grebin V.V., Mokin V.B., Kryzhanivskiy Y.M., Afanasyev S.A. Optimization of hydrographic and water-management regionalization of Ukraine according to world approaches and principles of the EU Water Framework Directive. *Hydrobiol. J.* 2016. Vol. 52, N 5. P. 81—92.
21. Fadel A., Faour G. and Slim K. Assessment of the trophic state and chlorophyll-a concentrations using Landsat OLI in Karaoun reservoir, Lebanon. *Lebanese Science Journal*. 2016. Vol. 17, N 2. P. 130—145.

22. Jeffrey S., Humphrey F.H. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*₁ and *c*₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Pflanz.* 1975. Vol. 167. P. 171—194.
23. Klochenko P.D., Grubinko V.V., Gumenyuk G.B., Arsan O.M. Peculiarities of ammonium nitrogen assimilation in green and blue-green algae. *Hydrobiol. J.* 2003. Vol. 39, N 6. P. 102—108.
24. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Kharchenko G.V. Structural and functional organization of phytoplankton in the thickets and in the sections free of vegetation in the lakes of Kiev. *Hydrobiol. J.* 2015. Vol. 51, N 3. P. 45—60.
25. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Lilitska G.G. et al. Phytoplankton of water bodies differing in the degree of anthropogenic contamination. *Hydrobiol. J.* 2020. Vol. 56, N 3. P. 13—29.
26. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Lilitskaya G.G. Bioindication of the ecological state of water bodies of the Goloseyevo National Natural Park. *Hydrobiol. J.* 2018. Vol. 54, N 5. P. 17—27.
27. Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Nezbryskaya I.N. et al. Phytoplankton production and decomposition characteristics in water bodies differing in the degree of their contamination by inorganic compounds of nitrogen and phosphorus. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55, N 3. P. 29—43.
28. Kureyshevich A.V., Nezbryskaya I.N., Guseynova V.P., Morozova A.A. Influence of water temperature on the content of photosynthetic pigments in phytoplankton of Obolon Bay of the Kanev Reservoir. *Hydrobiol. J.* 2016. Vol. 52, No 5. P. 44—55.
29. Medved' V.O. Phytoplankton spectral pigment indices in the lakes of the city of Kyiv. *Hydrobiol. J.* 2023. Vol. 59, N 4. P. 30—46.
30. Medved' V.O., Kharchenko G.V. Pigment and quantitative indices of phytoplankton of megalopolis lakes and assessment of their trophic status. *Hydrobiol. J.* 2022. Vol. 58, N 3. P. 54—67.
31. Nezbryskaya I.N., Kureyshevich A.V., Yarovoy A.A. et al. Peculiarities of the influence of high concentrations of ammonium on the functioning of some species of Cyanoprokaryota, Chlorophyta and Euglenophyta. *Hydrobiol. J.* 2019. Vol. 55, N 2. P. 69—82.
32. SCOR-UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea-water: monographs. Paris, 1966. 69 p.
33. Pantle R., Buck H. Die biologische Überwachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse. *Gas- und Wasserbach.* 1955. Vol. 96, N 18. S. 604.
34. Shevchenko T., Klochenko P., Nezbryska I. Response of phytoplankton to heavy pollution of water bodies. *Oceanol. Hydrobiol. St.* 2020. Vol. 49, N 3. P. 267—280.
35. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Cyanoprokaryota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta, Rhodophyta. (Vol. 1). Ruggell: Gantner Verlag, 2006. 713 p.
36. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Bacillariophyta. (Vol. 2). Ruggell: Gantner Verlag, 2009. 413 p.
37. Tsarenko P.M., Wasser S.P., Nevo E. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Chlorophyta. (Vol. 3). Ruggell: Gantner Verlag, 2011. 511 p.
38. Van Dam H., Mertens A., Sinkeldam J. A coded checklist and ecological indicator values of freshwater diatoms from the Netherlands. *Nether. J. Aquat. Ecol.* 1994. Vol. 28, N 1. P. 117—133.
39. Vasilchuk T.A., Klochenko P.D. Dynamics of the content of nutrients and organic matter in some tributaries of the Dnieper River depending on the development of phytoplankton. *Hydrobiol. J.* 2001. Vol. 37, N 6. P. 111—121.

40. Vasilchuk T.A., Klochenko P.D. Composition of dissolved organic matter in some tributaries of the Dnieper River depending on the development of planktonic algae. *Hydrobiol. J.* 2004. Vol. 40, N 1. P. 92—103.

Надійшла 09.12.2023

T.F. Shevchenko, PhD (Biol.), Senior researcher, Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: tf_shevchenko@ukr.net
ORCID 0000-0002-6436-4968

T.M. Sereda, PhD (Biol.), Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: seredatm@ukr.net
ORCID 0000-0003-2679-4008

I.M. Nezbryska, PhD (Biol.), Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: inna_imn@ukr.net
ORCID 0000-0003-4607-0058

O.P. Bilous, PhD (Biol.), Senior researcher, Senior researcher,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: bilous_olena@ukr.net
ORCID 0000-0001-5229-3667

S.O. Afanasyev, Dr. Sci. (Biol.), Prof.,
Corresponding Member of the NAS of Ukraine, Director,
Institute of Hydrobiology of the NAS of Ukraine,
Volodymyr Ivasyuk Avenue, 12, Kyiv, 04210, Ukraine
e-mail: safanasyev@ukr.net
ORCID 0000-0002-5247-3542

CHANGES IN PHYTOPLANKTON OF THE IRPIN RIVER (UKRAINE) AS A RESULT OF MILITARY ACTIVITIES IN ITS BASIN

Phytoplankton structure was studied in a comparative aspect (before and after the beginning of military activities) in the section of the Irpin River belonging to a large lowland rivers flowing in silicate rocks. On the whole, 132 algal species of seven divisions were found in the water column of the Irpin River during the period of investigations. Bacillariophyta and Chlorophyta were highly diverse in their species composition (37.1 and 31.1 % of the total number of species). The distribution of plankton algae at individual stations even within the same massif of surface waters was non-uniform in terms of species composition (the Sorensen coefficient of community similarity on the average was 37 %), species richness (18—49 species), numbers (1930—24 450 thousand cells/L), and biomass (2.118—20.374 mg/L). Almost different algal species dominated at individual stations (14 species among 20 dominated only at one station). Compared to the previous period of investigations (2018), the number of plankton algal species in the studied section of the Irpin River somewhat increased (from 121 to 132). Phytoplankton taxonomic structure also somewhat changed. The contribution of Bacillariophyta increased from 22.3 to 37.1 % and that of Cyanoprokaryota — from 9.1 to 12.1 %. In this case, the contribution of Chlorophyta decreased from 47.1 to 37.1 %. The quantitative indices of phytoplankton development increased. The maximum numbers increased from 19 480 thousand cells/L to 24 450 thousand cells/L, whereas the maximum biomass — from 5.143 mg/L to 20.374 mg/L.

As a consequence of the impact of military activities on phytoplankton of the Irpin River, it is possible to consider an increase in the number of its species, the maximum num-

bers and biomass, as well as the contribution of water bloom forming blue-green algae in the estuarine section of the Irpin River due to the disturbance of hydromorphology and the income of an additional amount of nutrients from flooded territories, which can lead to the formation of such a negative phenomenon as water bloom in this section of the river.

Key words: *phytoplankton, taxonomic structure, species composition, quantitative indices, dominant complex, chlorophyll a content, influence of military activities, the Irpin River.*