

Ю.С. ШЕЛЮК

Житомирський державний університет ім. Івана Франка
вул. Пушкінська, 42, м. Житомир, 06500, Україна

КОНЦЕНТРАЦІЯ ХЛОРОФІЛУ *a* ФІТОПЛАНКТОНУ р. ТЕТЕРІВ ТА ЇЇ ДИНАМІКА

*Ключові слова: фітопланктон, концентрація хлорофілу *a*, р. Тетерів, первинна продукція*

Рослинним пігментам приділяють особливу увагу в моніторингу прісноводних екосистем як показникам структури і функціонування фітопланктону, що формує основну частину первинної продукції у більшості водойм. При цьому найчастіше застосовують концентрацію хлорофілу *a*.

Концентрація і просторовий розподіл хлорофілу *a* фітопланктону є важливою трофічною і санітарно-гігієнічною характеристикою водних екосистем, універсальним показником біорізноманітності, інтенсивності розвитку, метаболічної активності, а також особливостей просторово-часового розподілу фітопланктону [3, 15, 17]. Концентрацію хлорофілу *a* швидко і досить точно визначають як контактними, так і дистанційними методами, що дозволяє оперативнo реєструвати реакцію фітопланктону на зміну умов навколишнього середовища.

На сьогодні дані щодо концентрації хлорофілу *a* фітопланктону р. Тетерів, її водосховищ та приток доволі фрагментарні — стосуються лише кількох окремих точок відбору альгологічного матеріалу [2, 5, 6].

Ми досліджували просторово-часову динаміку концентрації хлорофілу *a* фітопланктону р. Тетерів, її водосховищ і деяких приток — річок Здвиж, Таль, Кам'янка та Дубовешь.

Методика досліджень

Оригінальні дані щодо концентрації хлорофілу *a* фітопланктону р. Тетерів отримано упродовж 2003—2006 рр. на стаціонарних станціях, розташованих на Житомирському і Промисловому водосховищах, річкових ділянках 1 та 2 км нижче м. Житомира, та в сезонних експедиціях 2004—2005 рр. на 54 станціях — від витoku (4 км на південний захід від с. Носівки Чуднівського р-ну Житомирської обл.) і за течією до впадіння в Київське водосховище.

Досліджено шість водосховищ (Трошанське, Чуднівське, Денишівське, Відсічне, Житомирське та Промислове) і притоки (річки Здвиж, Дубовешь, Таль, Кам'янка).

Альгологічні проби згущували та камерально опрацьовували загальновідомими методами [10].

Концентрацію хлорофілу *a* фітопланктону в живих клітинах різних за систематичним складом водоростей (*Chlorophyta* + *Euglenophyta*, *Bacillario-*

© Ю.С. ШЕЛЮК, 2009

phyta + Dinophyta, Cyanophyta) визначали методом диференційної флуориметрії з допомогою Planctofluorometer FL 3003 M розробки СКБ Красноярського університету [18]¹. Відносний вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси вимірювали як відношення концентрації пігменту до біомаси фітопланктону: $(C \text{ хлорофілу } a / B) \times 100\%$.

Первинну продукцію фітопланктону та деструкцію органічної речовини визначали кисневою модифікацією склянного методу на горизонтах 0,05; 0,5; 1,0; 1,5 м на річковій ділянці нижче м. Житомира і 0,05; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0 м Промислового водосховища. Вміст розчиненого у воді кисню встановлювали методом Вінклера [2]. По дві «темні» та дві «світлі» склянки із молібденового скла закріплювали на кожному горизонті за допомогою спеціальних приладів-«гірлянд», розроблених Л.Л. Пиріною [14].

Масиви даних обробляли у програмі Microsoft Excel 2002.

Результати досліджень та їх обговорення

Досліджуючи концентрації хлорофілу *a* фітопланктону продовж 2003—2006 рр., ми отримали значний масив даних, які свідчать про широкий діапазон цього показника: від мінімальних (0,45—2,00 мкг/дм³) до максимальних (82,30—142,96 мкг/дм³) значень; середні значення (табл. 1) змінювалися у значно вужчих межах — $21,10 \pm 2,00$ мкг/дм³, отже, р. Тетерів належить до евтрофних водойм.

За вмістом хлорофілу *a* фітопланктону в одиниці біомаси водоростей р. Тетерів суттєво не відрізняється від волейм інших регіонів [8, 12, 13, 20, 23], проте для тетерівських водосховищ (перелусім Чуднівського, Трошанського, Денишівського та Промислового) характерні порівняно вищі значення цього показника. У цілому для річки відносний вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси становить 0,84 % (табл. 1).

Таблиця 1. Відносний вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси фітопланктону та його середня концентрація на різних ділянках р. Тетерів

Ділянка річки	Відносний вміст хлорофілу <i>a</i> в одиниці біомаси, %	Концентрація хлорофілу <i>a</i> , мкг/дм ³
Водосховища		
Трошанське	1,51	12,26 ± 1,41
Чуднівське	1,64	22,62 ± 4,45
Денишівське	1,39	7,52 ± 1,64
Відсічне	0,65	28,20 ± 1,45
Житомирське	0,99	26,71 ± 3,36
Промислове	1,35	35,84 ± 4,92
Зарегульована ділянка в цілому	0,93	23,56 ± 2,42
Річкова ділянка в цілому	0,62	18,80 ± 1,40
Річка в цілому	0,84	21,10 ± 2,00

*** — розраховано за середніми значеннями.

¹ Авторка вдячна д-ру біол. наук, проф. Л.А. Сіренко за допомогу у визначенні концентрації хлорофілу *a* фітопланктону.

Так, в озері Байкал, озерах Карельського перешийка, Братському і Рибінському водосховищах вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси фітопланктону коливається в межах 0,19—0,99 %, і в середньому становить 0,21—0,44 % [1, 11, 13]. Розбіжність наших даних з літературними пояснюється тим, що, на відміну від вищезгаданих оліго- або мезотрофних водойм, досліджувана річкова екосистема є евтрофною. Г. Альгрєн [22] для евтрофного озера наводить ширші межі коливань відносного вмісту хлорофілу *a* у біомасі фітопланктону — 0,60—5,70 %. У біомасі фітопланктону Кременчуцького водосховища, яке також є евтрофною водоймою, за домінування діатомових водоростей зі значною часткою зелених він коливається у межах 0,60—0,76 % [8]. Досить високий вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси фітопланктону деяких евтрофних водойм м. Києва зазначала Н.Є. Семенюк [16].

Вплив основних факторів, що визначають вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси (склад фітопланктону, фізіологічний стан популяції, який, своєю чергою, зумовлюється комплексом чинників, передусім світловими умовами і забезпеченістю біогенними елементами), у природних угрупованнях, як правило, виявляється нечітко [4]. Водночас ми встановили досить тісну залежність між хлорофілом *a* і біомасою водоростей. Для р. Тетерів вона простежується як у межах окремих водосховищ у певні сезони, так і в сезонному та річному аспектах для всієї річки. Вищий вміст хлорофілу *a* в одиниці біомаси на зарегульованій ділянці порівняно з річковою, ймовірно, пояснюється більшою концентрацією біогенів, спричиною зарегулюванням і евтрофуванням [22, 25], а також переважанням порівняно дрібноклітинних форм водоростей [19].

У широкому спектрі концентрації хлорофілу *a* спостерігаються виражені часові (середня величина цього показника навесні сягала $17,99 \pm 2,04$, влітку — $23,27 \pm 3,41$, восени — $22,66 \pm 1,22$ мкг/дм³) та просторові (табл. 1) відмінності.

У притоках Тетерева впродовж вегетаційного сезону досліджуваній показник змінювався у таких межах: р. Дубовець — 4,31—24,14, р. Таль — 0,45—6,6, р. Здвиж — 1,01—8,6, р. Кам'янка — 3,20—17,46 мкг/дм³.

У літній та осінній експедиціях 2004 р. просторово-часові зміни концентрації хлорофілу *a* залежно від біомаси фітопланктону вивчали по всій акваторії р. Тетерів.

Результати кореляційного аналізу засвідчують, що між цими показниками є достовірний корелятивний зв'язок (влітку $r = 0,59$ за $P = 0,01$, $n = 29$; восени $r = 0,56$, $n = 29$; де P — рівень значущості; n — число спостережень). Восени коефіцієнт кореляції між біомасою та концентрацією хлорофілу *a* фітопланктону нижчий, ніж улітку, бо зниження біомаси водоростей планктонних угруповань восени не завжди супроводжується зменшенням концентрації хлорофілу *a*, що, своєю чергою, зумовлено змінами видового складу водоростей, а також скороченням чисельності популяцій.

Аналіз залежності між біомасою та концентрацією хлорофілу *a* водоростей планктону різних систематичних груп виявив достовірну кореляцію між цими показниками упродовж досліджуваних сезонів у Chlorophyta та Euglenophyta (коефіцієнт кореляції влітку дорівнював 0,72, $n = 29$; восени — 0,51, $n = 29$). Коефіцієнти кореляції між концентрацією хлорофілу *a* та біомасою Bacillariophyta і Dinophyta були

значно нижчими — влітку $r = 0,25$, $n = 29$; восени — $r = 0,39$, $n = 29$ ($P = 0,01$). Достовірний зв'язок між досліджуваними показниками відсутній у Суапорфyta (влітку — $r = 0,27$, $n = 29$; восени — $r = 0,21$, $n = 29$, $P = 0,01$) [21].

Динаміку хлорофілу a залежно від біомаси фітопланктону вивчали і на стаціонарних станціях упродовж осені 2003 р., весни — осені 2005 р. і весни 2006 р. на Промисловому водосховищі та розташованій нижче річкової ділянці. У цілому за результатами експедиційних та стаціонарних досліджень 2003—2006 рр. залежність між концентрацією хлорофілу a та біомасою фітопланктону добре апроксимується лінійним рівнянням $y = 6,4138x + 6,0493$, де y — концентрація хлорофілу a , x — біомаса фітопланктону ($r = 0,73$, $P = 0,01$; величина достовірності апроксимації $R^2 = 0,53$; $n = 108$) (рис. 1).

Лінійний характер цієї залежності є необхідною умовою для оцінки біомаси фітопланктону за концентрацією хлорофілу a і підтверджує численні дані щодо можливості використання цього показника. Він дозволяє виражати біомасу в одиницях важливого компонента рослинної клітини для характеристики розвитку водоростей, їх часової динаміки та просторового розподілу.

Водночас ми встановили пряму залежність між валовою первинною продукцією і концентрацією хлорофілу a , що дає змогу використовувати вміст пігменту для визначення продуктивності малих і середніх річок та їхніх водосховищ. Ця залежність описується рівнянням $y = 0,2266x$, де y — валова первинна продукція, x — концентрація хлорофілу a ($r = 0,52$ за $P = 0,01$, $R^2 = 0,58$; $n = 49$) (рис. 2).

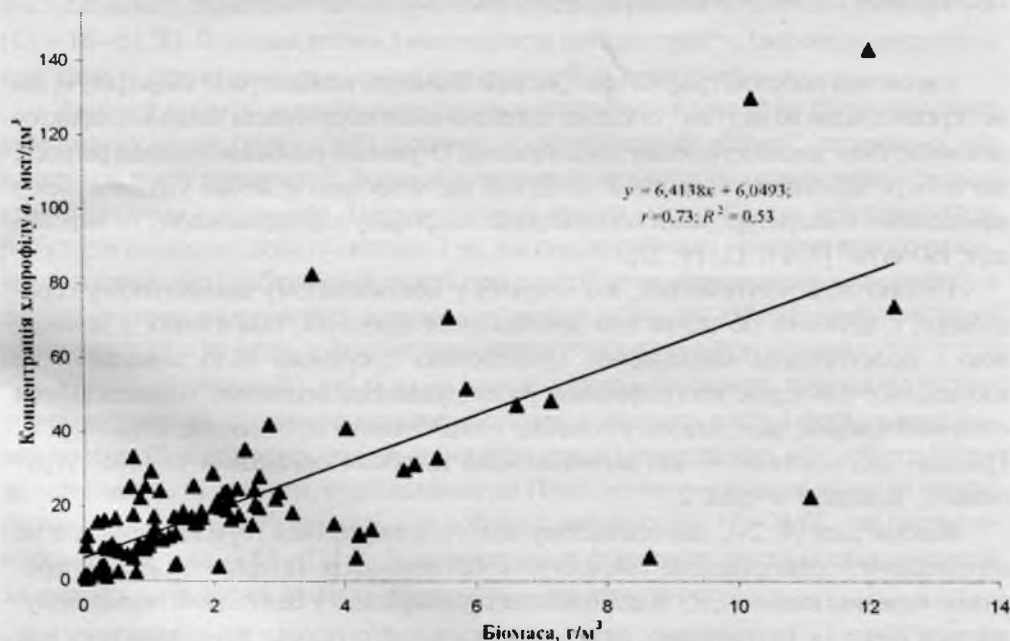


Рис. 1. Залежність між вмістом хлорофілу a та біомасою фітопланктону р. Тетерів (за даними досліджень 2003—2006 рр., $n = 108$. Тут і на рис. 2: n — число спостережень)

Fig. 1. Correlation between chlorophyll a concentration and phytoplankton biomass in the Teteriv river (according to the data obtained during 2003—2006, $n = 108$. Here and on the fig. 2: n — number of observations)

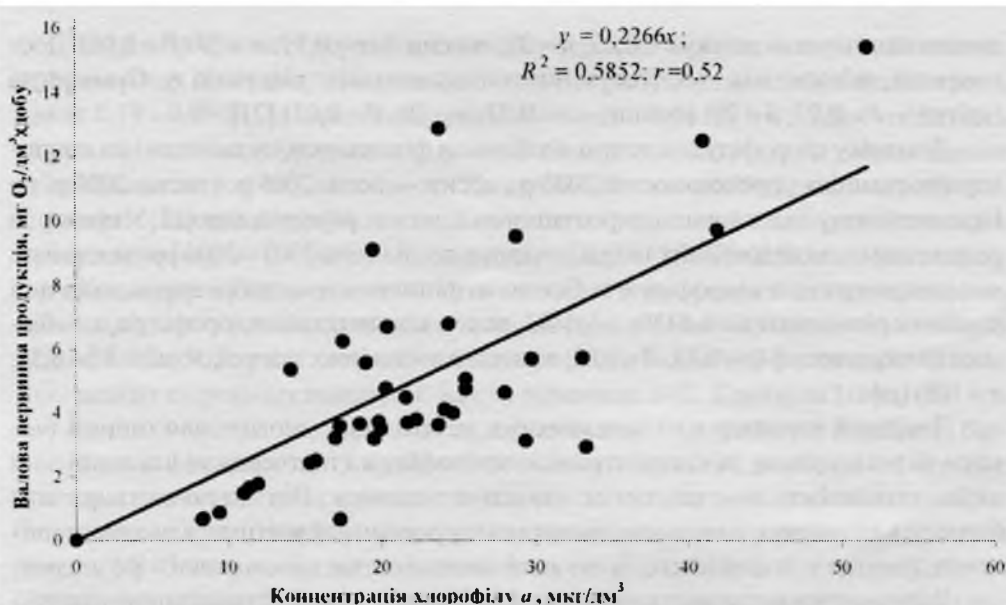


Рис. 2. Залежність між вмістом хлорофілу *a* та валовою первинною продукцією фітопланктону р. Тетерів (за даними досліджень 2005—2006 рр., $n = 49$). Розрахунок проведено для горизонту максимального фотосинтезу

Fig. 2. Correlation between chlorophyll *a* concentration and gross primary production of phytoplankton in the river Teteriv (according to the data obtained during 2005—2006, $n = 49$). The estimation has been carried out for the maximum photosynthesis horizon

Однак при побудові графіка використано значення концентрації хлорофілу *a*, які не перевищували 60 мкг/дм³, оскільки вищі значення порушували лінійний характер залежності між досліджуваними показниками. Отримане рівняння лінійної регресії, що описує залежність первинної продукції від хлорофілу *a*, добре узгоджується з наведеними в літературі, коли концентрація хлорофілу *a* фітопланктону не перевищує 100 мг/м³ [7, 11, 13, 19, 23].

Планктонні угруповання, які існують у нестабільному динамічному середовищі, є зручним об'єктом для дослідження процесів, пов'язаних з їх часовою і просторовою мінливістю, зумовленою сукупною дією зональних та азональних факторів: географічним розташуванням водойми, надходженням сонячної енергії, погодними умовами, геохімічними процесами, стоком [11]. Градації цієї мінливості, які визначаються відгуком організмів та (або) угруповань, наведені в табл. 2.

Вважається [9, 24], що планктону властива виразніша горизонтальна, а не вертикальна неоднорідність. Так, для річкової ділянки р. Тетерів характерні переважно невеликі глибини, а у водосховищах стратифікація у безплідний період відбувається рідко і є нетривалою, отже, вертикальний розподіл фітопланктону має відносно рівномірний характер, який порушується весняними паводками, за штильової погоди, в періоди масового розвитку синьозелених водоростей. Відмінності між концентраціями хлорофілу *a* фітопланктону в евфотній зоні є переважно статистично недостовірними (коефіцієнт варіації C_v становить близько 30 %).

Таблиця 2. Схема взаємодії масштабів часової та просторової мінливості фітопланктону (за [11])

Мінливість	Розмірність	Характер відгуку фітопланктону
Мікромасштабна <i>Фізіологічні ритми</i>	<10 м 10 ⁻⁴ —10 ⁻¹ діб	біохімічні та фізіологічні процеси; відгук організмів
Мезомасштабна <i>Добові ритми</i>	10—1000 м 1 доба	екологічні процеси; відгук організмів та угруповань
Макромасштабна <i>Сезонні сукцесії</i> <i>Річні цикли</i>	>1 км 10 ¹ —10 ³ діб 10 ³ діб	екологічні процеси; відгук угруповань

Горизонтальна неоднорідність виражена різномасштабно. Мікромасштабний розподіл характеризує окремі станції, де кількісний розвиток організмів змінюється на відстані 0,1—10 м, що в часовому інтервалі (проби відбирали за 15—20 хв.) відповідає фізіологічним процесам у клітині: коефіцієнти варіації, розраховані за концентрацією хлорофілу *a* фітопланктону, становлять 3—21 %.

Мезомасштабне поширення за даними полігонних відборів, виконаних за 4—10 годин (цей відтинок часу відповідає процесам відтворення клітин), упродовж досліджуваних сезонів характеризувалося середнім рівнем мінливості хлорофілу *a* ($C_v = 18—64\%$). Локальні плями з підвищеною концентрацією хлорофілу, очевидно, пов'язані зі структурними елементами циркуляції водних мас.

Часовий проміжок досліджень макромасштабного розподілу фітопланктону акваторією річки (кілька діб) відповідає екологічному відгуку, залежному від швидкості росту водоростей. Зміни абіотичних показників при цьому визначаються синоптичними процесами. Неоднорідність такого масштабу для фітопланктону р. Тетерів виражена досить сильно. Так, влітку, за стійкого температурного режиму, помірної або слабкої мінливості прозорості води концентрація хлорофілу *a* фітопланктону коливається в широких межах ($C_v = 69—83\%$), граничні рівні різняться у 25—36 разів, а фонові показники є значно стабільнішими.

Усі часові масштаби, які тією чи іншою мірою визначають перехід фотосинтетичних реакцій, спрямованість метаболізму, швидкість росту і формування нових генерацій водоростей, також перекриваються і взаємодіють між собою. Часова мінливість, за даними, отриманими на Промисловому водосховищі та нижче розташованій річковій ділянці, для добових ритмів сягає 16—34 %, для внутрішньосезонних змін — 65—111 %. У річному циклі фіксували зростання концентрації хлорофілу *a* від весни до літа і зниження — від літа до осені.

Висновки

Концентрація хлорофілу *a* фітопланктону характеризується значною просторово-часовою динамічністю. Середнє значення цього показника становить $21,10 \pm 2,00$ мкг/дм³. Концентрація хлорофілу *a* тісно пов'язана із біомасою

фітопланктону, первинною продукцією, а, отже, є показником кількісного розвитку та продуктивності середніх річок і створених на них малих водосховищ. Просторовий розподіл концентрації хлорофілу *a*, що відображає динаміку розподілу фітопланктону, характеризується значною горизонтальною неоднорідністю.

1. Бульон В.В. Первичная продукция планктона и классификация озер // Продукционно-гидробиол. исслед. вод. экосистем. — Л.: Наука, 1987. — С. 45—51.
2. Винберг Г.Г. Первичная продукция водоемов. — Минск: Изд-во АН БССР, 1960. — 328 с.
3. Елизарова В.А. Хлорофилл как показатель биомассы фитопланктона // Изучение первичной продукции планктона внутренних водоемов. — СПб.: Гидрометеониздат, 1993. — С. 126—129.
4. Заходнова Т.А. Содержание хлорофилла *a* в микроальгоценозах мезотрофного озера // Гидробиол. журн. — 1989. — 25, № 2. — С. 24—30.
5. Ключенко П.Д., Медведь В.А. Хлорофилл *a* в фитопланктоне притоков Днепра // Гидробиол. журн. — 1995. — 31, № 5. — С. 76—84.
6. Ключенко П.Д., Медведь В.А. Динамика содержания неорганических соединений азота и хлорофилла *a* в водотоках бассейна Днепра // Гидробиол. журн. — 1997. — 33, № 23. — С. 56—64.
7. Курейшевич А.В. Изменение содержания хлорофилла в фитопланктоне в период интенсивного «цветения» воды синезелеными водоростями // Гидробиол. журн. — 1978. — 15, № 1. — С. 64—69.
8. Курейшевич А.В. Пигменты фитопланктона и факторы, влияющие на их содержание в водоеме (на примере днепровских водохранилищ): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. — К., 1983. — 23 с.
9. Маргалев Р. Облик биосферы / Под ред. Г.Е. Михайловского. — М.: Наука, 1992. — 214 с.
10. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / За ред. В.Д. Романенка. — К.: ЛОГОС, 2006. — 408 с.
11. Минеева Н.М. Эколого-физиологические аспекты формирования первичной продукции планктона водохранилищ Волги: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. — Нижний Новгород, 2003. — 42 с.
12. Минеева Н.М. Растительные пигменты в воде волжских водохранилищ. — М.: Наука, 2004. — 156 с.
13. Михеева Т.М. Оценка продукционных возможностей единицы биомассы фитопланктона // Биол. продуктивность эвтрофного озера. — М.: Наука, 1970. — С. 50—71.
14. Пырина И.Л. Кислородный метод определения первичной продукции фитопланктона // Метод. вопросы изучения первич. продукции планктона внутрен. водоемов. — СПб.: Гидрометеониздат, 1993. — С. 10—13.
15. Пырина И.Л., Елизарова В.А. Сравнительная характеристика водоемов различного трофического уровня по содержанию хлорофилла // Круговорот веществ и биол. самоочищ. водоемов. — Киев: Наук. думка, 1980. — С. 100—109.
16. Семенюк Н.Є. Фітопланктон різнотипних водойм м. Києва: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. — К., 2007. — 21 с.
17. Сиренко Л.А., Курейшевич А.В. Определение содержания хлорофилла в планктоне пресных вод (методические рекомендации). — Киев: Наук. думка, 1982. — 52 с.
18. Теоретические основы и методы изучения флуоресценции хлорофилла / В.М. Гольд, В.М. Гаевский, Ю.С. Григорьев и др. — Красноярск: Изд-во Красноярск. гос. ун-та, 1984. — 62 с.
19. Трифонова И.С. Состав и продуктивность фитопланктона разнотипных озер Карельского перешейка. — Л.: Наука, 1979. — 168 с.
20. Трифонова И.С. Связь биомассы фитопланктона и хлорофилла *a* // Мониторинг фитопланктона. — Новосибирск: Наука, 1992. — С. 55—58.

21. Шербак В.И., Сиренко Л.А., Кузьминчук Ю.С. Динамика содержания хлорофилла *a* в зависимости от структуры фитопланктона (на примере р. Тетерев) // Гидробиол. журн. — 2006. — 42, № 4. — С. 38–48.
22. Ahlgren G. Lake Norrviken, a eutrophicated Swedish lake. — II. Phytoplankton and production // Schweiz. Z. für Hydrologie. — 1970. — Bd. 32, H. 2. — S. 353–395.
23. Javornicky P. The relationship between productivity and biomass of phytoplankton in some oligotrophic water-bodies in the German Democratic Republic // Limnologica. — 1974. — Bd. 9, H. 2. — S. 181–195.
24. Margalef R. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment // Oceanol. acta. — 1978. — 1, № 4. — P. 493–509.
25. Tolstoy A. Chlorophyll «a» as a measure of phytoplankton biomass // Acta Univ. Uppsal. — 1977. — № 416. — P. 1–30.

Рекомендує до друку
І.В. Косаківська

Надійшла 16.12.2007

Ю.С. Шелюк

Житомирский государственный университет им. Ивана Франко

КОНЦЕНТРАЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА *a* ФИТОПЛАНКТОНА р. ТЕТЕРЕВ И ЕЕ ДИНАМИКА

Установлена пространственно-временная динамика концентрации хлорофилла *a* фитопланктона р. Тетерев, включая ее водохранилища и некоторые притоки.

Выявлена прямая зависимость с высокими коэффициентами корреляции и достоверностью между концентрацией хлорофилла *a* и биомассой фитопланктона, а также валовой первичной продукцией.

Ключевые слова: фитопланктон, концентрация хлорофилла *a*, р. Тетерев, первичная продукция.

Yu.S. Shelyuk

Ivan Franko Zhytomyr State University

CONCENTRATION AND DYNAMICS OF CHLOROPHYLL *a* IN PHYTOPLANKTON OF THE TETERIV RIVER

Spatial and temporal dynamics of chlorophyll *a* concentrations in phytoplankton throughout the Teteriv River, including its six reservoirs and several tributaries are revealed. Close direct correlation with high reliability has been observed between the chlorophyll *a* concentration and phytoplankton biomass, as well as between the chlorophyll *a* concentration and gross primary production.

Key words: phytoplankton, chlorophyll *a* concentration, Teteriv River, primary production.