

УДК 504.064.3:282.243.7

**А. Г. Васенко**, канд. биол. наук,

**Д. Ю. Верниченко-Цветков**, канд. биол. наук,

**М. Л. Лунгу, А. Ю. Миланич, А. С. Пристинская**

(УкрНИИЭП)

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ФИТОПЛАНКТОНА ВЕРХОВЬЯ И ПРИБРЕЖНОГО УЧАСТКА УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ ДЕЛЬТЫ ДУНАЯ**

*В статье рассмотрен комплекс биологических, химических и биохимических показателей, связанных с развитием фитопланктона и влияющими на него факторами в условиях дельты Дуная. Проведено сравнение районов верхнего, среднего и нижнего течения украинского участка дельты Дуная по усредненным уровням указанных показателей.*

**Ключевые слова:** фитопланктон, структурные характеристики, хлорофилл, гидрохимические условия, дельта Дуная.

Дельта Дуная, как выраженный экотон, представляет собой систему, для которой характерны существенные изменения условий как в пространстве, так и во времени. Среди важнейших и наиболее динамичных природных абиотических факторов формирования среды обитания водных организмов для дельты Дуная можно назвать взаимодействие пресных и морских вод, изменение скоростей движения водных масс при переходе от реки к морю, интенсификацию осаждения наносов. Указанные процессы происходят на фоне сезонной и межгодовой изменчивости гидрометеорологических параметров, гидрологического режима, интенсивности солнечной радиации и т. д.

Многофакторным и многокомпонентным является также антропогенное воздействие на экосистему дельты, среди составляющих которого можно назвать поступление загрязняющих веществ от источников, расположенных выше по течению, загрязнение воды в результате хозяйственной деятельности на исследуемом участке реки, перераспределение стока Дуная между различными рукавами и лиманами дельты, проведение дноуглубительных работ и т. д.

Особенно актуальны исследования дельты Дуная в связи с оценкой возможного трансграничного влияния на гидроэкосистемы про-

водящихся дноуглубительных работ при восстановлении глубоководного судового хода Дунай — Черное море.

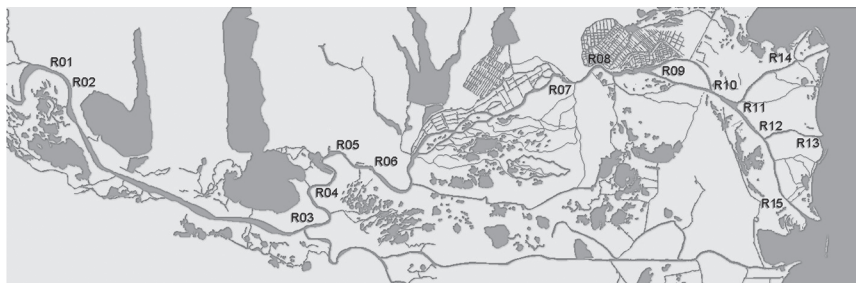
Общеизвестно, что отклик биотических сообществ является интегральной характеристикой всего комплекса условий среды обитания, сформировавшегося под воздействием как природных, так и антропогенных факторов. В этом отношении представляет интерес изучение в пределах дельты Дуная фитопланктона как одного из наиболее динамичных компонентов водной биоты.

Фитопланктон Дуная и его дельты изучался на протяжении значительного периода времени многими исследователями. В качестве примера можно привести работы [1-3]. Однако во многих источниках большая часть информации относится к другим участкам Дуная, дельта же рассматривается не столь подробно. Кроме того, условия в дельтах рек весьма быстро меняются. Исходя из этого, возникла необходимость в подробном изучении современного состояния фитопланктона украинского участка дельты Дуная, а также в оценке влияния на этот компонент гидроэкосистемы природных и антропогенных факторов, особенно могущих иметь отношение к проводящимся дноуглубительным работам.

**Цель работы** — сравнительный анализ структурных и функциональных характеристик фитопланктона украинского участка дельты Дуная в связи с учетом специфики влияния комплекса природных и антропогенных факторов.

**Объекты и методы.** Исследования проводились в рамках выполнявшихся УкрНИИЭП мониторинговых наблюдений в связи с контролем влияния дноуглубительных работ при восстановлении глубоководного судового хода Дунай — Черное море. Пробы отбирались на украинском участке дельты Дуная (0-131 км) в разные сезоны 2007, 2008, 2010 и 2011 годов на ряде постоянных пунктов наблюдения (рис. 1):

- р. Дунай — выше г. Рени, 131 км (R01); выше ответвления рукава Тульчинский, 116 км (R03);
- рук. Килийский — ниже г. Измаил, 89 км (R06); выше г. Килии, 49 км (R07); ниже г. Килии, 32 км (R09); выше г. Вилково, 21 км (R10);
- рук. Очаковский — 17 км (R11), 6 км (R14);



**Рис. 1. Сеть пунктов наблюдения.**

- рук. Старостамбульский — 11 км (R12), 4 км (R15/1);
- рук. Быстрый — 2 км (R13/2), 1 км (R13/1); 0 км (R13/0).

В рамках целей данной работы, для анализа полученной информации пункты наблюдения сгруппированы следующим образом:

- верхняя часть, речной участок (131-116 км, выше ответвления рук. Тульчинский);
- средняя часть, дельта (89-4 км, Килийский рукав Дуная и его разветвления);
- нижняя часть, переход к авандельте (2-0 км, рук. Быстрый).

Гидрохимические пробы отбирались с поверхностного и придонного горизонтов батометром Руттнера или Молчанова; пробы фитопланктона — с поверхностного горизонта. Пробы донных отложений отбирались дночерпателем Петерсена.

Анализ химического состава воды проводился по стандартным методикам; состав фитопланктона анализировался согласно общепринятым методам, изложенным в работах [4, 5 и др.]; содержание растительных пигментов в фитопланктоне определялось стандартным трихроматическим методом [6], а в донных отложениях — по модифицированному методу Штойбинга [7]. Содержание феопигментов определялось по методу Лоренцена [6].

**Результаты и их обсуждение. Гидрохимические условия.** Содержание взвешенных веществ в поверхностных слоях воды колебалось от 9,6 до 150 мг/дм<sup>3</sup>, средние же величины находились в пределах от 37,8 мг/дм<sup>3</sup> в средней части дельты до 47,7 мг/дм<sup>3</sup> вблизи морского края; в верховьях этот показатель составил 44,6 мг/дм<sup>3</sup>. Таким образом, средние концентрации взвешенных веществ, по классифика-

**1. Содержание хлоридов в поверхностном  
и придонном слоях воды, мг/дм<sup>3</sup>**

Расстояние от морского края дельты		0 км*	1-2 км*	4 км**	6 км***	11 км****
Поверхностный слой	минимально	22,9	22,9	23,4	21,4	22,9
	максимально	863,0	642,0	35,1	33,2	37,1
	в среднем	176,1		27,4	27,7	29,3
Придонный слой	минимально	28,0	24,4	24,4	21,4	22,9
	максимально	8050,0	5684,0	28,0	33,2	37,1
	в среднем	2041,4		26,5	27,3	29,0

\* — рук. Быстрый,

\*\* — рук. Старостамбульский,

\*\*\* — рук. Очаковский,

\*\*\*\* — разветвление рук. Быстрый и рук. Старостамбульский.

ции [8], характерны для вод III класса, 5 категории, т. е. могут считаться довольно высокими. При этом прозрачность воды была низкой (от 0,3 до 1 м, в среднем 0,63 м). Такие величины этих двух показателей позволяют предположить весьма существенное влияние фактора затенения на развитие микроводорослей.

Влияние поступления морской воды оценивалось по содержанию хлоридов в поверхностных и придонных слоях (табл. 1). Из этих цифр видно, что пункты, расположенные на 4, 6 и 11 км, при значениях содержания хлоридов, в целом соответствующих границе 2 и 3 категорий II класса, характеризовались средним уровнем колебаний этого показателя как по времени, так и по горизонтам. Напротив, для пунктов на расстоянии 0-2 км, при высоких уровнях содержания хлоридов, характерно также существенное непостоянство состава воды по этому показателю, особенно в придонных слоях. Влияние морских вод для этих пунктов можно считать крайне существенным фактором, причем не только по абсолютным величинам, но и по амплитуде колебаний.

Среднее содержание кислорода как в поверхностных, так и в придонных слоях незначительно снижалось по мере приближения к морскому краю дельты (от 9,1 мг/дм<sup>3</sup> у поверхности и 8,6 у дна в верховье до 8,1 и 7,6 мг/дм<sup>3</sup> соответственно у морского края).

Величины БПК<sub>5</sub> в поверхностном слое воды в среднем были невысокими, и наблюдалась тенденция к их снижению по мере приближения к морскому краю дельты (от 2,02 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> в верховье до 1,50 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup> у морского края).

В среднем, согласно классификации [8], воды украинского участка дельты Дуная можно было отнести: по содержанию фосфатов — к границе 4 и 5 категорий (слабо-умеренно загрязненные); по содержанию аммонийного азота — ко 2 категории (чистые); нитритного азота — к 4 категории (слабозагрязненные); нитратного азота — к 5 категории (умеренно загрязненные). Содержание минеральных форм как азота, так и фосфора было максимальным в средней части дельты, относительно высоким в верховьях и существенно снижалось к морскому краю. Отношение «азот : фосфор» колебалось в очень широких пределах (от 1,2 до 47,6), при этом средние величины снижались в направлении течения: 14,8 в верховье, 11,0 в средней части, 9,8 у морского края.

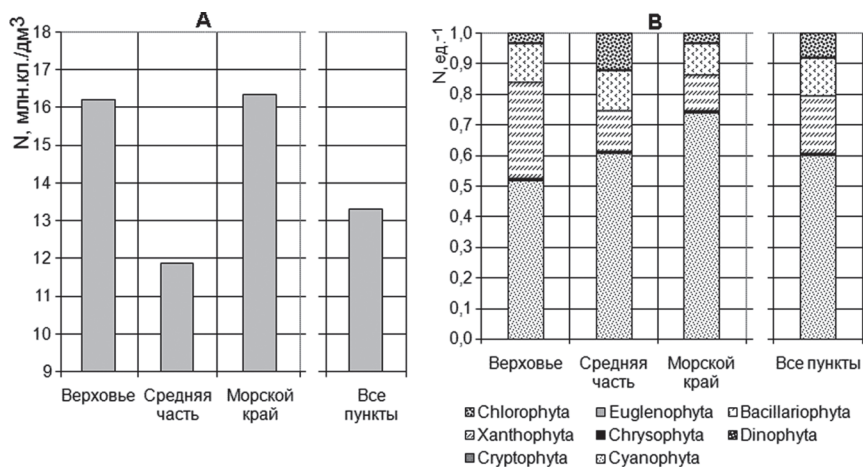
**Структурная характеристика фитопланктона.** По числу видов в составе фитопланктона доминировали диатомовые. Наибольшее число видов принадлежало отделам *Bacillariophyta*, *Chlorophyta* и *Cyanophyta* (по убывающей); незначительное число *Euglenophyta*, *Xanthophyta* и *Chrysophyta* (также по убывающей); *Cryptophyta* и *Dinophyta* — единичные.

Распределение средней численности фитопланктона (рис. 2А) характеризовалось минимальным значением на среднем участке и значительно более высокими — в верховье и у морского края дельты.

При этом, хотя в среднем по численности везде доминировали синезеленые, вклад разных отделов водорослей на всех трех участках существенно различался (рис. 2В). Так, если в верховьях была относительно высокой численность желтозеленых водорослей, то в среднем течении — зеленых. Относительно постоянным был лишь вклад диатомовых водорослей; их средняя численность в верховье составила 2,5, в среднем течении 2,0, а вблизи морского края 2,2 млн кл./дм<sup>3</sup>.

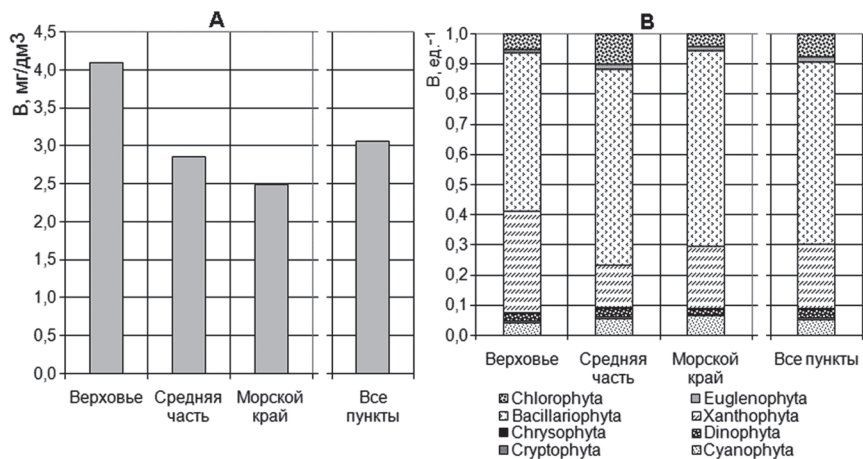
Биомасса фитопланктона снижалась по мере приближения к морскому краю дельты (рис. 3А), в целом находясь на уровне от 2,5

до 4 мг/дм<sup>3</sup>, что по классификации [8] соответствует евтрофным водам. По биомассе (рис. 3В) доминировали диатомовые водоросли (2,15, 1,91 и 1,85 мг/дм<sup>3</sup> в верховьях, средней части и у морского края дельты).



**Рис. 2. Показатели численности фитопланктона:**

*А* — общая численность; *Б* — соотношение отделов по численности.

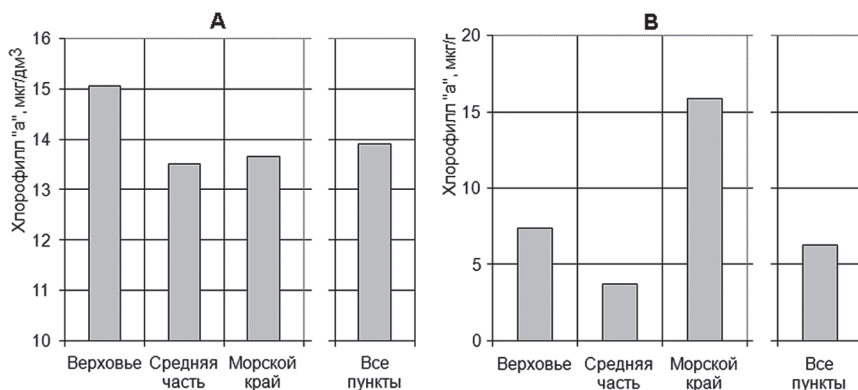


**Рис. 3. Показатели биомассы фитопланктона:**

*А* — общая биомасса; *Б* — соотношение отделов по биомассе.

**Функциональная характеристика фитопланктона.** По содержанию хлорофилла «а» фитопланктона воды украинского участка дельты Дуная, согласно классификации [9], можно было отнести к мезо-евтрофным. В работе [10], при анализе распределения концентраций по отдельным пунктам наблюдения, нами была отмечена общая тенденция к снижению содержания хлорофилла «а» фитопланктона по мере приближения к морскому краю дельты, хотя в разовых отборах эта тенденция прослеживалась не всегда. При этом, однако, наиболее близкие к морю пункты характеризовались концентрациями хотя и ниже среднего по всему исследовавшемуся участку уровня, но довольно высокими, так что, рассматривая их отдельно, можно заметить, что они несколько выше, чем в целом по среднему участку, хотя и значительно ниже, чем в верховьях дельты (рис. 4А).

Учитывая низкую прозрачность воды и значительные глубины отбора проб, в основном существенно превышающие глубину фотического слоя, а также то, что растительные остатки в пробах встречались довольно редко, можно предположить, что присутствие фотосинтетических пигментов в донных отложениях обусловлено в основном осевшим фитопланктоном. Концентрации растительных пигментов в донных отложениях дельты Дуная в основном были невысокими. По крайней мере, в аналогичных исследованиях, проведенных на Днепре [11] и Северском Донце [12], при соответствующих



**Рис. 4. Содержание хлорофилла «а» микроводорослей:**  
 А — фитопланктон; В — донные отложения.

концентрациях пигментов в фитопланктоне их содержание в донных отложениях, как правило, было выше. Возможно, это влияние специфики гидрологических факторов, характерных для дельты в части процессов седиментации взвесей и перераспределения микроводорослей между фитопланктоном и донными наносами.

Касательно пространственного распределения пигментов следует заметить, что донные отложения существенно различались по типу (от промытых и слабо заиленных песков до песчанистых и даже глинистых илов), причем илы встречались несколько чаще вблизи морского края дельты, а пески — в верховье; средний же участок в этом отношении был ближе к верховью, хотя илы здесь и встречались немного чаще. Поскольку удельная площадь поверхности, сорбционная и аккумулирующая емкость илов значительно выше, чем песков, а накапливаются они на участках, где гидрологические условия в большей мере благоприятствуют процессам осаждения, закономерно, что и содержание хлорофилла в илах было значительно выше, нежели в песках (табл. 2). Сходную ситуацию наблюдали и в других исследованиях растительных пигментов в донных отложениях, в том числе и в дельте реки [13]. Тем не менее, усредненные за период наблюдений концентрации хлорофилла «а» в донных отложениях в верховье украинского участка дельты Дуная были выше, чем в средней части (рис. 4В). Это может быть объяснено снижением биомассы фитопланктона и концентраций хлорофилла «а» в воде на этом участке при наличии связи между микроводорослями фитопланктона и донных отложений (скорее всего, главным образом оседанием фитопланктона). В то же время заметно, что в донных отложениях вблизи морского края дельты среднее содержание хлорофилла было значительно большим, чем на вышерасположенных участках.

Относительное содержание желтых пигментов (каротиноидов) зависит как от того, водоросли какого отдела доминируют в сообществе [14], так и от того, каково их физиологическое состояние и насколько благоприятны условия их существования [15]. В качестве показателя относительного содержания желтых пигментов используются, как правило, пигментные индексы (отношение оптических плотностей экстрактов на длинах волн, характерных для хлорофилла



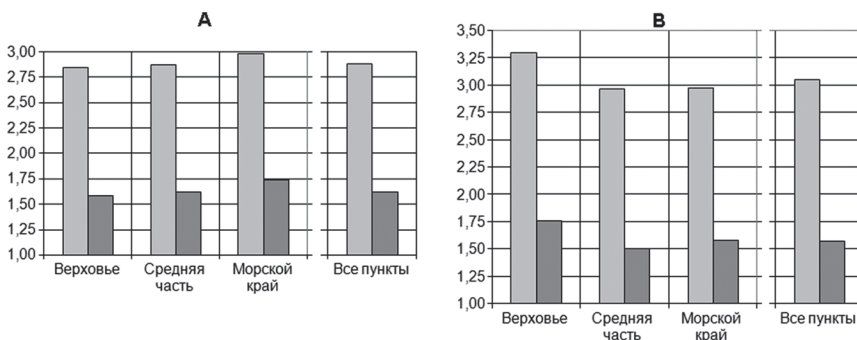
## 2. Содержание хлорофилла в разнотипных донных отложениях дельты Дуная

Типы донных отложений	Хлорофилл «а» (трихроматический метод ЮНЕСКО), мкг / г с. в.	Сумма хлорофилла и феофитина (метод Лоренцена), мкг / г с. в.
Пески промытые и слабо заиленные	1,80	6,89
Пески сильно заиленные	5,26	10,64
Илы	14,49	20,77

и каротиноидов), поскольку прямое определение содержания каротиноидов либо довольно сложно, либо неточно.

Как отмечалось нами ранее в работе [10], по мере приближения к морскому краю дельты относительное содержание желтых пигментов фитопланктона несколько увеличивалось, что может свидетельствовать о снижении физиологической активности микроводорослей. В этом отношении пункты, находящиеся в непосредственной близости от морского края дельты (рис. 5А) не представляли исключения из общей тенденции (хотя в некоторых разовых отборах эта тенденция и не прослеживалась).

Величины пигментных индексов в донных отложениях были в целом несколько выше, чем в фитопланктоне (рис. 5В), что можно объяснить тем, что пигментный фонд донных отложений составляют уже осевшие, т. е. наименее активные водоросли. Вместе с тем, наибольшие величины пигментных индексов в донных отложениях



**Рис. 5. Пигментные индексы:** А — фитопланктон; В — донные отложения.

отмечены в верховье исследованного участка дельты. При этом доля феофитина в общем объеме феофитина и хлорофилла в донных отложениях верховьев составила 0,67, средней части 0,65, а в пунктах, расположенных у морского края, 0,57. Следует отметить также общую тенденцию к снижению этой величины по отдельным пунктам по мере приближения к морю ( $R^2 = 0,58$ ). Можно предположить, что это объясняется высокой скоростью осаждения водорослей (хлорофилл не успевает разложиться). Интересно отметить, что по мере приближения к морскому краю дельты снижалось отношение содержания хлорофилла «а» к биомассе фитопланктона, что также может говорить о понижении активности функционирования микроводорослей.

Также следует отметить снижение по мере приближения к морскому краю дельты величин отношений биомассы фитопланктона к БПК<sub>5</sub> и к содержанию взвешенных веществ.

## **Выводы**

Обобщение информации, полученной в ходе натуральных исследований, показывает следующее:

- По содержанию хлорофилла «а» фитопланктона воды украинского участка дельты Дуная можно отнести к мезо-евтрофным, а по биомассе фитопланктона — к евтрофным.
- Как состав, так и количественные показатели развития фитопланктона дельты Дуная существенно меняются по мере приближения к морскому краю дельты. Отмечен ряд общих тенденций пространственного распределения показателей фитопланктона.
- Обращает на себя внимание совпадение тенденций снижения биомассы планктонных водорослей и соотношения минеральных форм «азот : фосфор» в воде.
- Исходя из имеющейся информации, можно предположить, что на рассмотренном участке дельты преобладают процессы оседания, а не развития фитопланктона, а также наблюдается перестройка структуры фитопланктонных сообществ под влиянием существенного изменения среды обитания.

1. Иванов А. И. Фитопланктон советского участка Дуная и заливов переднего края его Килийской дельты / А. И. Иванов // Гидробиологические исследования Дуная и придунайских водоёмов : сб. науч. тр. — К.: Наукова думка, 1987. — С. 44-57.
2. Ecological state of the river Danube ecosystems in 1995 / Gomoiu M-T, Dan Scrieru, G. Oaie et al // GEO-ECO MARINA. — 1998. — № 3. — P. 37-88.
3. Composition and dynamics of microeukaryote communities in the River Danube / Katalin É. Szabó-Taylor, Keve T. Kiss, Ramiro Logares et al. // Fottea. — 2010. — 10(1). — P. 99-113.
4. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений. — Л.: Гидрометеиздат, 1983. — 240 с.
5. Визначник прісноводних водоростей Української РСР. — К.: Наукова думка. — Вип. 1-12.
6. ГОСТ 17.1.04.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла «а». — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 14 с.
7. Хазиев Ф. Х. Количественные методы почвенно-альгологических исследований. / Ф. Х. Хазиев, Р. Р. Кабиров. — Уфа: Институт биологии БФ АН СССР, 1986. — 172 с.
8. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко, В. М. Жукинський, О. П. Оксіюк та ін.; відп. ред. В. Я. Шевчук. — К.: Символ-Т, 1998. — 28 с.
9. Оксіюк О. П. Оценка состояния водных объектов Украины по гидробиологическим показателям. I Планктон. / О. П. Оксіюк, Г. А. Жданова, С. Л. Гусынская, Т. В. Головка // Гидробиол. журн. — 1994. — Т. 30. — № 3. — С. 26-31.
10. Васенко О. Г. Просторовий розподіл показників розвитку фітопланктону української ділянки дельти Дунаю / О. Г. Васенко, Д. Ю. Верниченко-Цветков, М. Л. Лунгу // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення: VIII Міжнар. наук. -практ. конфер., 12-16 вересня 2012 р., Алушта: зб. наук. ст. Т. 1. — Х.: Райдер, 2012. — С. 229-232.
11. Верниченко-Цветков Д. Ю. Динамика биохимических показателей состояния водной среды и донных отложений Днепра ниже г. Кременчуг / Д. Ю. Верниченко-Цветков, Т. А. Тырин // Вісник ХІСП., Екологія, техногенна безпека і соціальний прогрес. — Х.: ХІСП, 2002. — Вип. 1(2). — С. 21-29.
12. Васенко О. Г. Порівняння пігментних показників фітопланктону і донних відкладів Сіверського Дінця у різні сезони / О. Г. Васенко, Д. Ю. Верниченко-Цветков, А. В. Колісник, Г. В. Коробкова // Зб. доп. нац. екол. форуму «Екологія промислового регіону», 23-24 травня 2012. — Донецьк: Донецький екологічний інститут, 2012. — Т. 2. — С. 34-35.

13. Alber M. Settleable and Non-Settleable Suspended Sediments in the Ogeechee River Estuary, Georgia, USA // Estuarine Coastal and Shelf Science. — 2000, Vol. 50, Iss 6. - P. 805-816.
14. Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов / В. В. Бульон. — Л.: Наука, 1983. — 150 с.
15. Мисюра А. В. Фитопланктон прудов-накопителей шахтных вод Западного Донбасса как биологический индикатор их экологического состояния / А. В. Мисюра // Экология. — 1992. — № 6. — С. 67-70.

**Васенко О. Г., Верниченко-Цветков Д. Ю., Лунгу М. Л., Міланіч Г. Ю., Прістінська А. С. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ФІТОПЛАНКТОНУ ВЕРХІВ'Я ТА ПРИБЕРЕЖНОЇ ДІЛЯНКИ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ ДЕЛЬТИ ДУНАЮ**

*У статті розглянуто комплекс біологічних, хімічних та біохімічних показників, пов'язаних із розвитком фітопланктону та чинниками, що на нього впливають в умовах дельти Дунаю. Проведено порівняння районів верхньої, середньої та нижньої течії української ділянки дельти Дунаю за усередненими рівнями вказаних показників.*

**Ключові слова:** *фітопланктон, структурні характеристики, хлорофіл, гідрохімічні умови, дельта Дунаю.*

**Vasenko A. G., Vernyuchenko-Tsvetkov D. Yu., Lungu M. L., Milanich G. Yu., Pristin'ska A. S. COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF PHYTOPLANKTON HEADWATERS OF COASTAL AREA AND UKRAINIAN DANUBE DELTA**

*In the article the complex biological, chemical and biochemical indicators linking the development of phytoplankton and the factors that influence the conditions in the Danube delta. Comparison of the Upper, middle and lower reaches of the Ukrainian section of the Danube Delta averaged levels for these indicators.*

**Key words:** *phytoplankton, structural characteristics, chlorophyll hydrochemical conditions Danube delta.*