

УДК [(582.263 + 582.232):547.29]:001.891

П. Д. Клоченко¹, В. А. Медведь¹, Т. А. Васильчук¹,
О. В. Василенко²

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ НА РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Исследовали реакцию планктонных водорослей из разнотипных водных объектов на воздействие гуминовых кислот, выделенных из воды Каневского водохранилища (Украина). Концентрация гуминовых кислот, которые вносили в образцы природной воды, составляла 2,0 и 5,0 мг/л. О влиянии гумусовых веществ на развитие фитопланктона судили по изменению его численности и биомассы, которую определяли общепринятым осадочным методом. Обнаружены особенности воздействия исследуемых веществ на развитие синезеленых, зеленых и диатомовых водорослей.

Ключевые слова: гумусовые вещества, гуминовые кислоты, фитопланктон.

Одним из главных путей управления водными экосистемами является познание механизмов их функционирования. Поскольку водоросли — это основной продуцент органического вещества в водоемах, то раскрытие механизмов, обуславливающих формирование альгосообществ — одна из наиболее актуальных задач гидроэкологии.

К числу основных экологических факторов, которые определяют структурно-функциональные характеристики сообществ водорослей, относится, в первую очередь, химический состав воды. Его важнейшими компонентами, влияющими на развитие гидробионтов, являются биогенные элементы [1, 4, 11]. В то же время, целостная оценка направленности процессов, формирующих качество воды и оказывающих влияние на количественный и качественный состав альгосообществ, невозможна без установления взаимосвязи между развитием водных организмов и содержанием растворенного органического вещества (РОВ). Наибольшую его часть в водных экосистемах составляют гумусовые вещества (ГВ) [7, 8]. Они служат основным резервом органического углерода в его глобальном круговороте, являются питательными веществами для растений и микроорганизмов, а также играют важную роль в циклах таких элементов как азот и фосфор [8, 16].

© Клоченко П. Д., Медведь В. А., Васильчук Т. А., Василенко О. В., 2010

Известно, что РОВ днепровских водохранилищ на 65—90% представлено гумусовыми веществами, а именно фульво- и гуминовыми кислотами, причем содержание фульвокислот в 20—40 раз выше, чем гуминовых, количество которых колеблется в пределах 0,2—3,5 мг/л [6, 7].

При повышенной концентрации в воде ГВ могут оказывать отрицательное воздействие на гидробионтов. Влияние ГВ на биоту может быть как непосредственным, так и опосредованным. Последнее связывают, в основном, с изменениями условий окружающей среды, биодоступностью питательных веществ и солевым балансом, тогда как непосредственное заключается в нарушении темпов прироста биомассы, изменении синтеза биополимеров и др. [17].

Необходимо подчеркнуть, что на фоне многих исследований, демонстрирующих роль минерального питания в формировании альгосообществ, практически не изученным остался вопрос о влиянии ГВ на развитие водорослей. В литературе имеются лишь отдельные данные, указывающие на то, что в водоемах с высокой цветностью наблюдается замедленное развитие фитопланктона [5]. Оно может быть обусловлено уменьшением прозрачности воды и снижением интенсивности фотосинтеза [5], а также связыванием азота и фосфора в бионедоступные формы [16]. Нами ранее показано, что между биомассой, количеством видов и концентрацией фульвокислот в некоторых притоках Днепра существует обратная зависимость [2]. Имеются сведения и о том, что гумусовые вещества в высокой концентрации могут оказывать тормозящее действие на развитие водорослей, а в низкой — стимулирующее [3, 8, 9, 14, 19]. Однако несмотря на имеющиеся данные о влиянии ГВ на растительные организмы, механизм их действия остается до конца не выясненным.

Целью настоящего исследования было изучение особенностей влияния гуминовых кислот (ГК) на развитие планктонных водорослей из разнотипных водных объектов.

Материал и методика исследования. Объектом наших исследований служил фитопланктон зал. Оболонь (Каневское водохранилище), оз. Вербного (г. Киев) и р. Десны (район г. Чернигова). Отобранную воду экспонировали в течение 5—8 сут в стеклянных сосудах в условиях действия природного света. В опытах использовали ГК, выделенные из воды верхнего участка Каневского водохранилища. Концентрация ГК, которые вносили в воду, составляла 2,0 и 5,0 мг/л. Контролем служили образцы фитопланктона без добавок ГК. О влиянии ГК на развитие планктонных водорослей судили по изменению их численности и биомассы, которую определяли общепринятым осадочным методом [13].

Результаты исследований и их обсуждение

Фитопланктон. Состав планктонных водорослей в каждом из исследованных водных объектов характеризовался определенными чертами. Отличительной особенностью развития фитопланктона зал. Оболонь было доминирование в нем и по численности, и по биомассе синезеленых водорослей,

прежде всего за счет вегетации *Anabaena flos-aquae* (Lyngb.) Bréb. Субдоминантом при этом выступал *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk. Основу видового состава фитопланктона формировали диатомовые (11 видов) и зеленые (8 видов) водоросли. Среди Cyanophyta кроме вышеупомянутых видов отмечены *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend. Elenhk. и *Merismopedia tenuissima* Lemm.

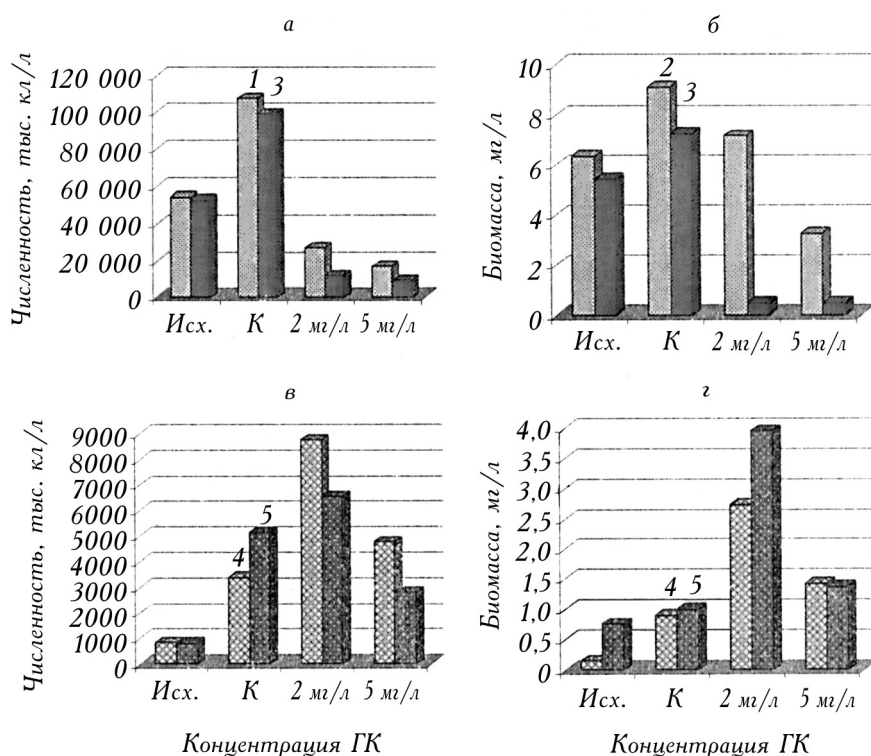
В планктоне оз. Вербного наиболее разнообразно представлены зеленые водоросли, которые составляли 44,4% общего видового списка. Количественные показатели озерного фитопланктона определяли: численность — представители Cyanophyta (74,6 % общего количества клеток), а биомассу — эвгленовые (33,8 %) и зеленые (33,2 %) водоросли. Среди доминирующих видов можно отметить: *Microcystis pulverea*, *Lyngbya limnetica* Lemm., *Anabaena macropsora* Kleb., *Michonastes homosphaera* Skuja, *Monoraphidium contortum* (Turp.) Kom.-Legn. и *Euglena* sp.

Фитопланктон р. Десны характеризовался наличием представителей пяти отделов водорослей, а именно: синезеленых, зеленых, динофитовых, эвгленовых и диатомовых. Наибольшее видовое разнообразие было отмечено для Chlorophyta (37 видов, или 57,6% общего числа видов). Среди особенностей количественного развития речного фитопланктона следует подчеркнуть, что основу его численности составляли представители Cyanophyta (61,0%) и Chlorophyta (36,5%). Первое место по биомассе принадлежало зеленым водорослям (40,9%), второе занимали эвгленовые (24,6%), третье — диатомовые (16,3%). В формирование численности существенный вклад вносили *Microcystis pulverea* и *Pandorina morum* (O. Müll.) Vogt, а биомассы — *Chlamydomonas* sp., *P. morum*, *Coelastrum astroideum* De-Not, *Euglena* sp. и *Synedra ulna* (Nitzsch) Ehr.

Гуминовые кислоты и развитие планктонных водорослей. Проведенные нами исследования свидетельствуют о том, что ГК проявляют определенную биологическую активность по отношению к планктонным водорослям, которая, в зависимости от концентрации ГК в воде, выражается в угнетении или стимулировании развития отдельных групп фитопланктона.

Анализируя особенности влияния ГК на фитопланктон зал. Оболонь, можно видеть, что на 5-е сутки опыта планктонные водоросли продолжали активно функционировать в контрольном варианте. Так, их численность и биомасса возросли по сравнению с исходными значениями соответственно в 2,0 и 1,4 раза (рис. 1). Внесение в воду ГК в количестве 2,0 и 5,0 мг/л приводило к заметному угнетению вегетации фитопланктона. Это явление имело место, прежде всего, за счет торможения развития представителей Cyanophyta. Так, при концентрации ГК 2,0 мг/л их численность по сравнению с контрольным вариантом снизилась в 8,6 раза, а при 5,0 мг/л — в 10,6 раза. Еще более резким было уменьшение их биомассы — в 15,4 раза при концентрации ГК в воде 2,0 мг/л, и в 15,2 раза при содержании ГК 5,0 мг/л.

Несколько иначе выглядела картина по влиянию ГК на вегетацию водорослей других систематических групп. Внесение в воду 2,0 мг/л ГК приводило к заметному стимулированию развития зеленых и диатомовых водорос-

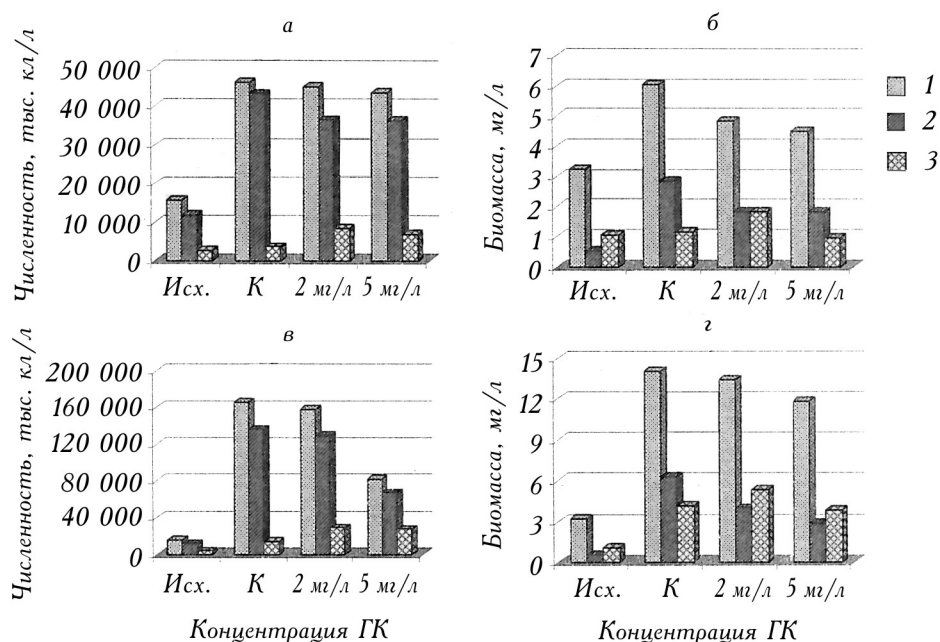


1. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей зал. Оболонь под влиянием гуминовых кислот на 5-е сутки опыта: 1 — общая численность; 2 — общая биомасса; 3 — Суанорфита; 4 — Chlorophyta; 5 — Bacillariophyta. Здесь и на рис. 2—4: исх. — исходная, к — контроль.

лей, тогда как при концентрации ГК 5,0 мг/л происходило снижение интенсивности вегетации этих групп организмов (см. рис. 1). В частности, их биомасса была практически одинаковой — соответственно 1,413 и 1,365 мг/л.

Изменение численности и биомассы фитопланктона оз. Вербного под влиянием ГК показано на рисунке 2. Внесение в воду 2,0 и 5,0 мг/л ГК приводило к некоторому подавлению развития синезеленых водорослей, хотя и менее выраженному, чем в предыдущем опыте. Так, на 5-е сутки опыта их численность уменьшилась по сравнению с контролем в 1,2, а биомасса — в 1,5 и 1,6 раза соответственно при 2,0 и 5,0 мг/л ГК. Подавление развития представителей Суанорфита под воздействием ГК отмечено и на 8-е сутки опыта.

Анализ особенностей вегетации водорослей других систематических групп показал, что в наших опытах имела место стимуляция развития зеленых водорослей при содержании в воде 2,0 мг/л ГК, тогда как при концентрации ГК 5,0 мг/л интенсивность развития этих организмов уменьшалась (см. рис. 2). Такая картина наблюдалась как на 5-е сутки опыта, так и на 8-е, и была характерной как для численности, так и для биомассы зеленых водорослей. Практически то же отмечено и в развитии диатомовых водорослей: ГК в концентрации 2,0 мг/л оказывали стимулирующее влияние на разви-



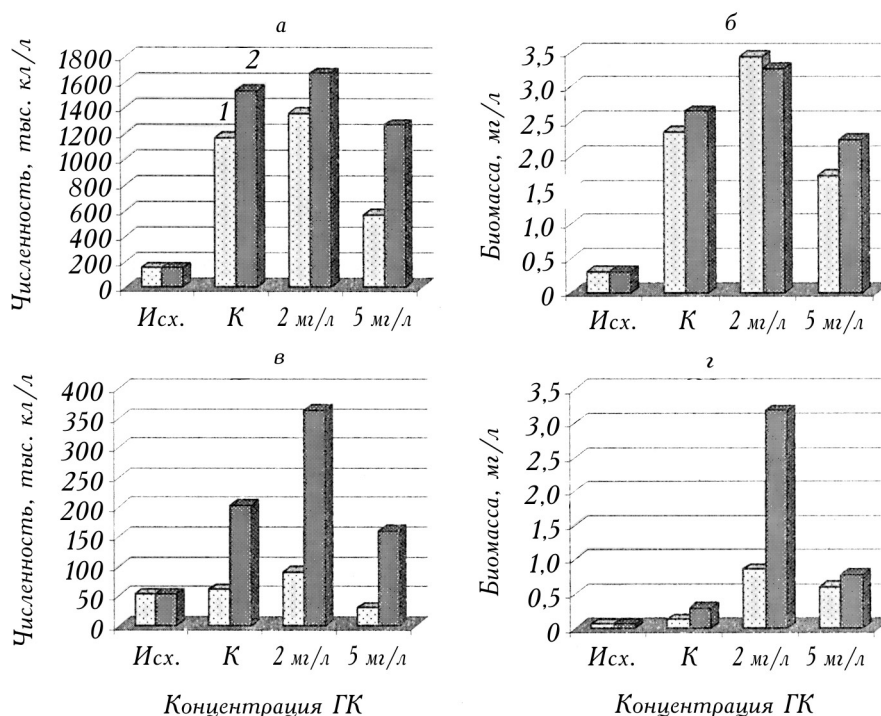
2. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей оз. Вербного под влиянием гуминовых кислот на 5-е (а, б) и 8-е (в, г) сутки опыта: 1 — общая; 2 — Cyanophyta; 3 — Chlorophyta.

тие представителей Bacillariophyta как на 5-е, так и на 8-е сутки опыта, а в концентрации 5,0 мг/л тормозили вегетацию диатомовых водорослей (рис. 3).

Исследование влияния ГК на развитие речного фитопланктона (на примере р. Десны) показало, что содержание в воде ГК 2,0 и 5,0 мг/л приводило к явному подавлению интенсивности вегетации синезеленых водорослей. Так, на 5-е сутки опыта численность представителей Cyanophyta уменьшилась по сравнению с контрольным вариантом при концентрации ГК в воде 2,0 мг/л в 3,0, а при 5,0 мг/л — в 4,0 раза (рис. 4). Та же тенденция имела место и в динамике биомассы, которая уменьшилась в соответственно 1,4 и 2,0 раза.

Необходимо также отметить, что выявленные нами особенности развития синезеленых водорослей под влиянием ГК можно было наблюдать и на 8-е сутки опыта. Такая специфичность вегетации этих организмов в присутствии ГК отражалась и на общей численности и биомассе речного фитопланктона (см. рис. 4).

Анализ развития планктонных водорослей других систематических групп в присутствии ГК показал, что ГК в концентрации 2,0 мг/л положительно влияли на вегетацию зеленых водорослей, что подтверждалось увеличением их численности и биомассы на 5-е сутки опыта по сравнению с контрольным вариантом соответственно в 1,5 и 1,7 раза. Однако в дальнейшем (на 8-е сутки экспозиции), количественные показатели развития представи-

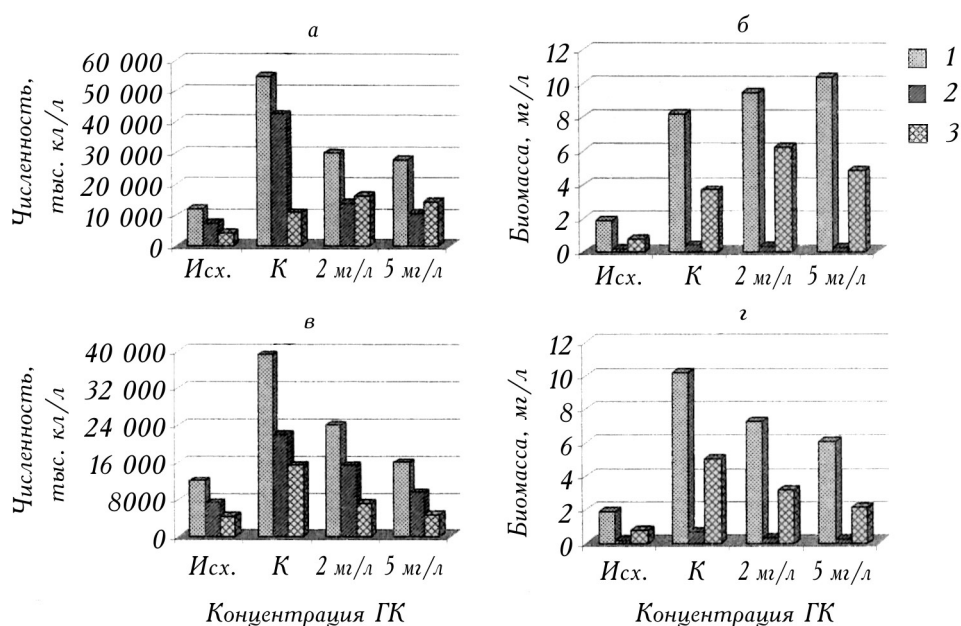


3. Изменение численности и биомассы диатомовых водорослей в планктоне р. Десны (а, б) и озера Вербного (в, г) под влиянием гуминовых кислот: 1 — 5-е сутки опыта; 2 — 8-е сутки опыта.

телей Chlorophyta были несколько ниже контрольных значений как при концентрации ГК 2,0 мг/л, так и при 5,0 мг/л.

Характеризуя особенности влияния ГК на диатомовые водоросли, которые развивались в речном планктоне, можно отметить, что исследуемые соединения в концентрации 2,0 мг/л положительно влияли на их вегетацию, тогда как при повышении содержания ГК до 5,0 мг/л наблюдалось угнетение развития этой группы организмов. Необходимо подчеркнуть, что указанное явление имело место как на 5-е, так и на 8-е сутки опыта.

Безусловно, наблюдаемые нами эффекты влияния ГК на исследуемые водоросли для выяснения механизма их действия требуют дальнейшего более глубокого изучения. Проведенные ранее нами опыты с альгологически чистыми культурами синезеленых и зеленых водорослей показали, что ГК влияют на их метаболизм, в частности на активность ферментов энергетического (сукцинатдегидрогеназа), азотного (НАДН-глутаматдегидрогеназа) и фосфорного (щелочная фосфатаза) обмена [12]. Установлено, что сукцинатдегидрогеназа имеет более высокую активность при концентрации ГК 2,0 мг/л, чем при 5,0 мг/л. Активность щелочной фосфатазы у исследуемых видов водорослей в большинстве случаев была выше при концентрации 2,0 мг/л ГК, а НАДН-глутаматдегидрогеназы — при 5,0 мг/л ГК. Известно, что низкомолекулярные фракции ГК (<1000 Да) ингибируют скорость роста



4. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей р. Десны под влиянием гуминовых кислот на 5-е (а, б) и 8-е (в, г) сутки опыта: 1 — общая; 2 — Cyanophyta; 3 — Chlorophyta.

водорослей, а соединения с более высокой молекулярной массой, наоборот, её стимулируют [18]. Кроме того, физиологическое действие свойственно только истинным растворам ГК [15].

Если учесть тот факт, что изучение влияния ГК на планктонные водоросли проводили с природной водой, которая уже содержит определенные количества гуминовых и фульвокислот, то наблюдаемые нами эффекты как стимулирования, так и ингибирования развития водорослей являются результатом многогранных химических и биологических процессов, происходящих в природных водоемах.

Заключение

Гуминовые кислоты, являясь важным компонентом растворенного органического вещества, могут оказывать определенное влияние на вегетацию планктонных водорослей. Изученные соединения при концентрации 2,0 и 5,0 мг/л в краткосрочных опытах (5—8 сут) угнетали развитие синезеленых водорослей из разнотипных водных объектов. Наличие в воде 2,0 мг/л гуминовых кислот в большинстве случаев положительно влияло на развитие зеленых и диатомовых водорослей, тогда как при концентрации 5,0 мг/л ГК отмечалось снижение интенсивности их вегетации. Следовательно, гумусовые вещества, в частности гуминовые кислоты, могут выступать одним из важных факторов, регулирующих развитие пресноводного фитопланктона.

**

Досліджували реакцію планктонних водоростей із різнотипних водних об'єктів на дію гумінових кислот, виділених з води Канівського водосховища (Україна). Вплив гумінових кислот на розвиток фітопланктону оцінювали згідно змін його чисельності та біомаси. Встановлено ефекти стимуляції та пригнічення розвитку синьо-зелених, зелених і діатомових водоростей за дії гумінових кислот у різних концентраціях (2,0 і 5,0 мг/л).

**

The response of planktonic algae from different water bodies on effect of humic acids isolated from the Kaniv reservoir (Ukraine) was investigated. The influence of humic acids on the phytoplankton growth was estimated according to the changes in their biomass and numerical density. The inhibition and stimulation of blue-green, green and diatomic algae growth under influence of different concentrations of humic acids (2,0 and 5,0 mg/l) were established.

**

1. Васильчук Т.А., Клоченко П.Д. Динамика содержания биогенных и органических веществ в некоторых притоках Днепра и ее связь с развитием фитопланктона // Гидробиол. журн. — 2001. — Т. 37, № 1. — С. 36—47.
2. Васильчук Т.А., Клоченко П.Д. Компонентный состав растворенных органических веществ некоторых притоков р. Днепр и его взаимосвязь с развитием планктонных водорослей // Там же. — 2003. — Т. 39, № 5. — С. 101—114.
3. Гусева К.А. Мутность и цветность воды Рыбинского водохранилища как химические факторы в развитии фитопланктона // Растительность волжских водохранилищ. — Л.: Наука, 1966. — С. 64—76.
4. Денисова А.И. Формирование гидрохимического режима водохранилищ Днепра и методы его прогнозирования. — Киев: Наук. думка, 1979. — 290 с.
5. Киевское водохранилище: Гидрохимия, биология, продуктивность. — Киев: Наук. думка, 1972. — 460 с.
6. Линник П.Н., Васильчук Т.А. Роль гумусовых веществ в процессах комплексообразования и детоксикации (на примере водохранилищ Днепра) // Гидробиол. журн. — 2001. — Т. 37, № 5. — С. 98—112.
7. Линник П.Н., Васильчук Т.А., Болелая Н.В. Гумусовые вещества в воде днепровских водохранилищ // Там же. — 1995. — Т. 31, № 2. — С. 74—81.
8. Линник П.Н., Васильчук Т.А., Линник Р.П. Гумусовые вещества природных вод и их значение для водных экосистем (Обзор) // Там же. — 2004. — Т. 40, № 1. — С. 81—107.
9. Приймаченко А.Д. Фитопланктон и первичная продукция Днепра и днепровских водохранилищ. — Киев: Наук. думка, 1981. — 278 с.
10. Приймаченко А.Д., Литвинова М.А. Распределение и динамика синезеленых водорослей в днепровских водохранилищах // «Цветение» воды. — Киев: Наук. думка, 1968. — С. 42—67.
11. Сиренко Л.А. Физиологические основы размножения синезеленых водорослей в водохранилищах. — Киев: Наук. думка, 1972. — 203 с.

12. *Синюк О.В., Грубинко В.В., Клоченко П.Д., Васильчук Т.А.* Особенности энергетического, азотного и фосфорного обмена у синезеленых и зеленых водорослей при действии гуминовых кислот // Гидробиол. журн. — 2008. — Т. 44, № 4. — С. 78—87.
13. *Топачевский А.В., Масюк Н.П.* Пресноводные водоросли Украинской ССР. — Киев: Вища шк., 1984. — 334 с.
14. *Харкевич Н.С.* Некоторые данные о влиянии гуминовых веществ на развитие фитопланктона // Тр. Карел. фил. АН СССР. — 1958. — С. 42—45.
15. *Христева Л.А.* Роль гуминовых кислот в питании растений // Тр. Почв. ин-та АН СССР. — 1951. — Т. 38. — 256 с.
16. *Belzile N., Joly H.A., Li H.* Characterization of humic substances extracted from Canadian lake sediments // *Canad. J. Chem.* — 1997. — Vol. 75, N 1. — P. 14—27.
17. *Kulikova N.A., Stepanova E.V., Koroleva O.V.* Mitigating activity of humic substances: direct influence on biota // *Use of humic substances to remediate polluted environments: from theory to practice* / Ed. by I.V. Perminova, K. Hatfield and N. Hertkorn. — NATO Sci. Ser. IV: Earth and Environ. Sci. — Dordrecht: Springer, 2005. — Vol. 52. — P. 285—309.
18. *Müller-Wegener U.* Interaction humic substances with biota. — John Wiley & Sons Limited, 1988. — P. 403—412.
19. *Prakash A., Rashid M.A., Jensen A., Subba R.D.* Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: Diatoms // *Limnol. and Oceanogr.* — 1973. — Vol. 18, N 4. — P. 516—524.

¹ Институт гидробиологии НАН Украины, Киев

² Тернопольский национальный педагогический университет

Поступила 17.11.09