

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

*П. Д. Клоченко, Т. А. Васильчук, О. В. Василенко,  
С. В. Хоменко, Т. В. Витовецкая*

### **ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ФУЛЬВОКИСЛОТ НА РАЗВИТИЕ ПЛАНКТОННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ**

Изучали реакцию планктонных водорослей из разнотипных водных объектов на воздействие фульвокислот, выделенных из воды Каневского водохранилища (Украина). Концентрация исследуемых веществ, которые вносили в образцы природной воды, составляла 30,0 и 80,0 мг/л. О влиянии фульвокислот на вегетацию фитопланктона судили по изменению его численности и биомассы. Обнаружены некоторые особенности воздействия исследуемых органических веществ на развитие представителей Cyanophyta, Chlorophyta, Euglenophyta, Bacillariophyta и Dinophyta.

*Ключевые слова:* гумусовые вещества, фульвокислоты, фитопланктон.

Общеизвестно, что среди основных экологических факторов, которые существенно влияют на развитие фитопланктона, одно из важных мест принадлежит химическому составу воды. Его наиболее важными компонентами являются биогенные элементы и органические вещества. Среди последних основную часть (65—90%) составляют гумусовые вещества, в первую очередь фульво- и гуминовые кислоты [5—7]. При этом следует отметить, что концентрация фульвокислот (ФК) в воде значительно выше, чем гуминовых кислот (ГК). Так, например, содержание фульвокислот на отдельных участках Киевского водохранилища в летне-осенний период находилось в пределах 13,6—79,3 мг/л, а гуминовых кислот — колебалось от 0,3 до 6,2 мг/л [2].

Гуминовые и фульвокислоты, по сравнению с белковоподобными веществами и углеводами, являются более стойкими с биохимической точки зрения, поэтому их концентрация в меньшей степени зависит от интенсивности внутриводоемных биологических процессов [3]. От наличия гумусовых веществ в воде существенно зависит ее рН и состояние кислородного режима водных объектов, они также регулируют окислительно-восстановительные свойства воды, в значительной мере влияют на циклы биогенных элементов и стойкость карбонатно-кальциевого равновесия [8]. Кроме того, гумусовые вещества прямо или опосредованно влияют на развитие гидробионтов, регулируя их метаболизм [9, 11—13]. Нами ранее показано, что ГК в

© Клоченко П. Д., Васильчук Т. А., Василенко О. В., Хоменко С. В.,  
Витовецкая Т. В., 2012

разных концентрациях стимулируют или угнетают развитие представителей определенных групп планктонных водорослей [4].

В то же время практически не изученным остался вопрос о влиянии фульвокислот на фитопланктон. В связи с этим, целью нашей работы было исследование особенностей воздействия одного из важных компонентов растворенного органического вещества — фульвокислот на развитие водорослей, вегетирующих в толще воды разнотипных водных объектов г. Киева.

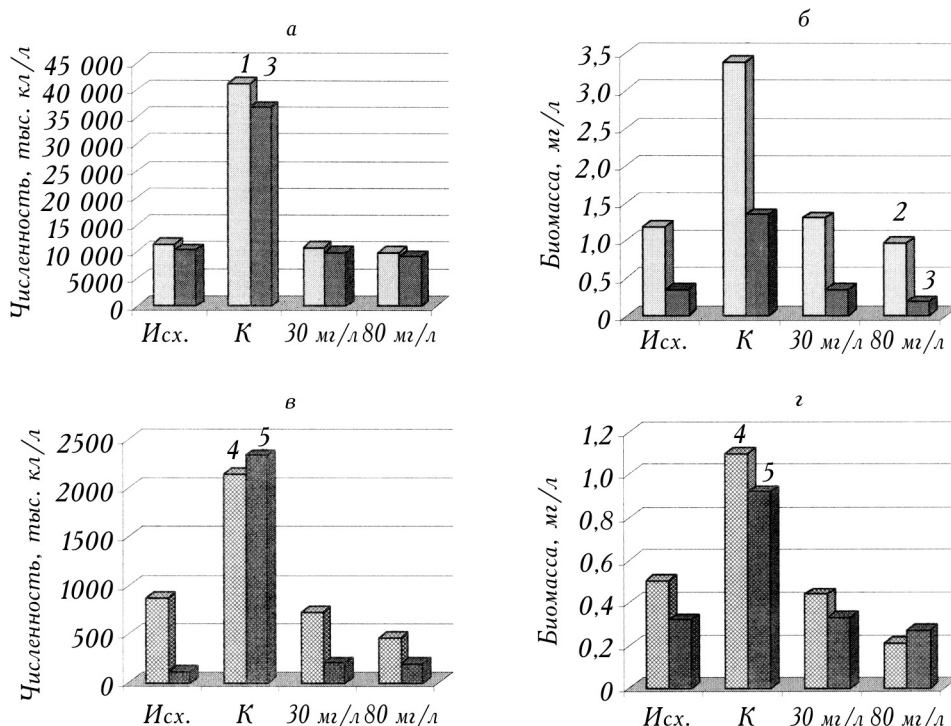
**Материал и методика исследований.** Объектом наших исследований служил фитопланктон зал. Оболонь (Каневское водохранилище) и Ореховатского пруда № 2. Отобранную воду экспонировали в течение 5—8 сут в стеклянных сосудах в условиях природного освещения. В опытах использовали ФК, выделенные из воды верхнего участка Каневского водохранилища. Концентрация ФК, которые вносили в воду, составляла 30,0 и 80,0 мг/л. Контролем служили образцы фитопланктона без добавок ФК. О влиянии ФК на развитие планктонных водорослей судили по изменению их численности и биомассы, которую определяли общепринятым осадочным методом [10].

### Результаты исследований и их обсуждение

Фитопланктон залива Оболонь характеризовался наличием представителей пяти отделов водорослей, а именно: синезеленых, зеленых, диатомовых, эвгленовых и динофитовых водорослей. Наибольшее видовое богатство отмечено для Chlorophyta (47 видов, или 49,5% общего числа видов). Второе и третье место принадлежало отделам Bacillariophyta и Cyanophyta — соответственно 27,3 и 17,9% общего числа обнаруженных планктонных водорослей. Среди особенностей развития фитопланктона зал. Оболонь следует подчеркнуть и то, что основу его численности составляли представители Cyanophyta (91,3%), тогда как первое место по биомассе принадлежало Chlorophyta (42,3%), второе — Cyanophyta (29,4%) и третье — Bacillariophyta (26,9%). В формирование численности фитопланктона наиболее существенный вклад вносили *Microcystis pulverea* (Wood) Forti emend. Elenk. и *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., а биомассы — *Coelastrum astroideum* De-Not, *M. pulverea*, *M. aeruginosa* и *Melosira varians* C. Agardh.

В планктоне Ореховатского пруда № 2 наиболее разнообразно были представлены зеленые водоросли, которые составляли 42,7% общего видового списка. Заметный вклад в видовое богатство фитопланктона пруда вносили также Bacillariophyta (26,0%), Cyanophyta (11,6%) и Euglenophyta (10,4%). Количественные показатели развития планктонных водорослей определяли: численность — представители Chlorophyta (53,5%) и Cyanophyta (27,6%), а биомассу — Dinophyta (46,3%) и Chlorophyta (25,0%). Среди доминирующих видов можно отметить *Crucigeniella apiculata* (Lemmerm.) Komarek., *Peridinium aciculiferum* Lemmerm. и *Ceratium hirundinella* (O. Müll.) Bergh.

**Фульвокислоты и развитие планктонных водорослей.** Оценивая особенности влияния исследуемых гумусовых веществ на вегетацию фитопланктона, необходимо обратить внимание, прежде всего, на то, что планктонные

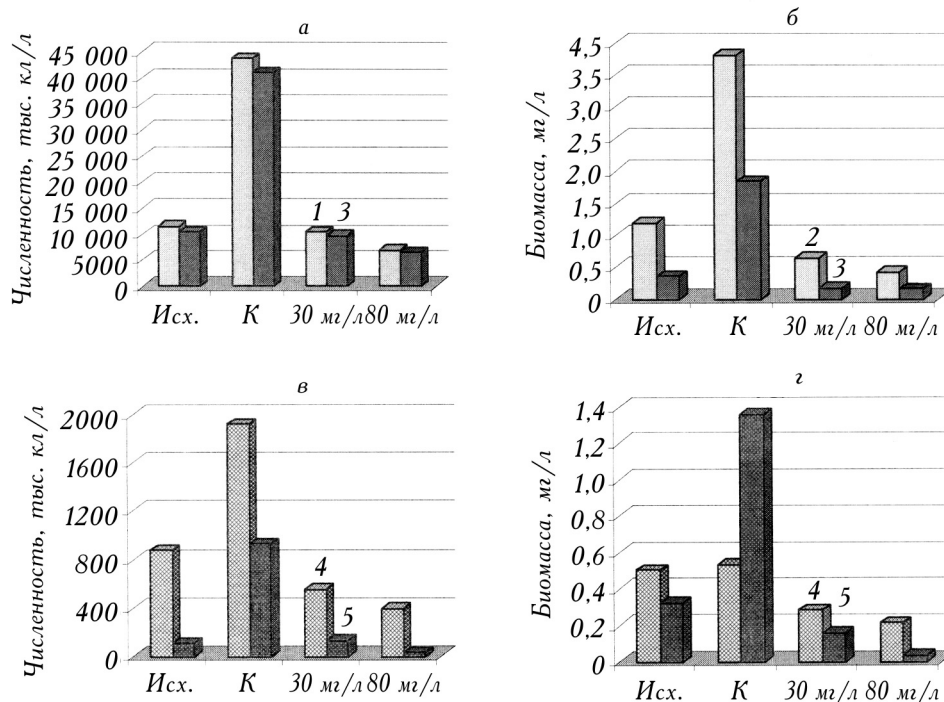


1. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей зал. Оболонь под влиянием фульвокислот на на 5-е сутки опыта: 1 — общая численность; 2 — общая биомасса; 3 — Суапорхита; 4 — Chlorophyta; 5 — Bacillariophyta. Здесь и на рис. 2—5: исх. — исходная, к — контроль.

водоросли продолжали активно функционировать в контрольном варианте опыта. Это касается как растительного планктона зал. Оболонь, так и Ореховатского пруда № 2. Так, например, численность фитопланктона из Каневского водохранилища на 5-е сутки составляла в контроле 41 190 тыс. кл/л, а биомасса — 3,383 мг/л, что соответственно в 3,6 и 2,8 раза больше, чем в исходной пробе (рис. 1). Похожую картину мы наблюдали и на 8-е сутки опыта: если в исходной пробе количество клеток планктонных водорослей равнялось 11 424 тыс. кл/л, а биомасса составляла 1,188 мг/л, то в контрольном варианте эти величины были соответственно 43 850 тыс. кл/л и 3,806 мг/л (рис. 2).

Для планктонных водорослей из Ореховатского пруда № 2 характерна аналогичная тенденция. Так, в частности, количественные показатели их развития, а именно численность и биомасса, на 5-е сутки опыта увеличились в контроле по сравнению с исходными соответственно в 1,6 и 1,5 раза, а на 8-е сутки — в 2,0 и 1,7 раза (рис. 3, 4).

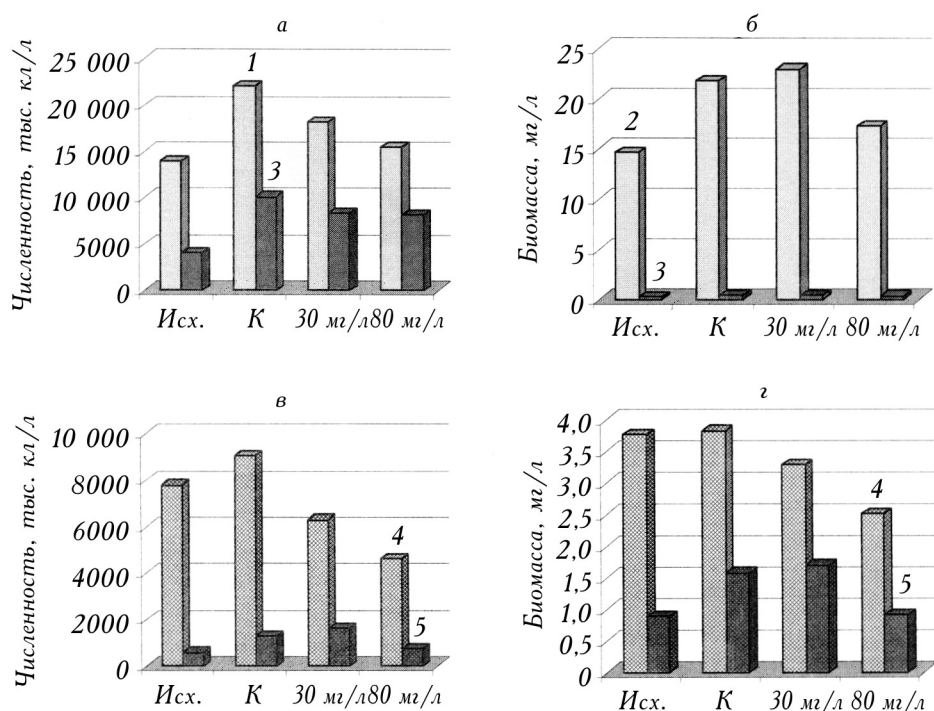
Внесение в воду ФК в количестве 30,0 и 80,0 мг/л приводило к заметному изменению вегетации планктонных водорослей. Так, например, эти соединения в указанных концентрациях угнетали развитие представителей Суапорхита как на 5-е, так и на 8-е сутки опыта. Это явление наблюдалось как в



2. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей залива Оболонь под влиянием фульвокислот на 8-е сутки опыта: 1 — общая численность; 2 — общая биомасса; 3 — Cyanophyta; 4 — Chlorophyta; 5 — Bacillariophyta.

сосудах с фитопланктоном зал. Оболонь, так и в экспериментах с планктонными водорослями Ореховатского пруда № 2. В частности, при концентрации ФК в воде 30,0 мг/л численность клеток синезеленых водорослей в первом опыте на 5-е сутки составляла 9888 тыс. кл/л, а при 80,0 мг/л — 9160 тыс. кл/л, что соответственно в 3,7 и 4,0 раза ниже, чем в контрольном варианте. Динамика изменений биомассы при этом носила аналогичный характер: если в контрольном сосуде биомасса синезеленых водорослей на 5-е сутки достигала значений 1,349 мг/л, то в сосудах, где концентрация ФК составляла 30,0 мг/л, она снижалась до 0,349 мг/л, а при концентрации ФК 80,0 мг/л — до 0,183 мг/л (см. рис. 1).

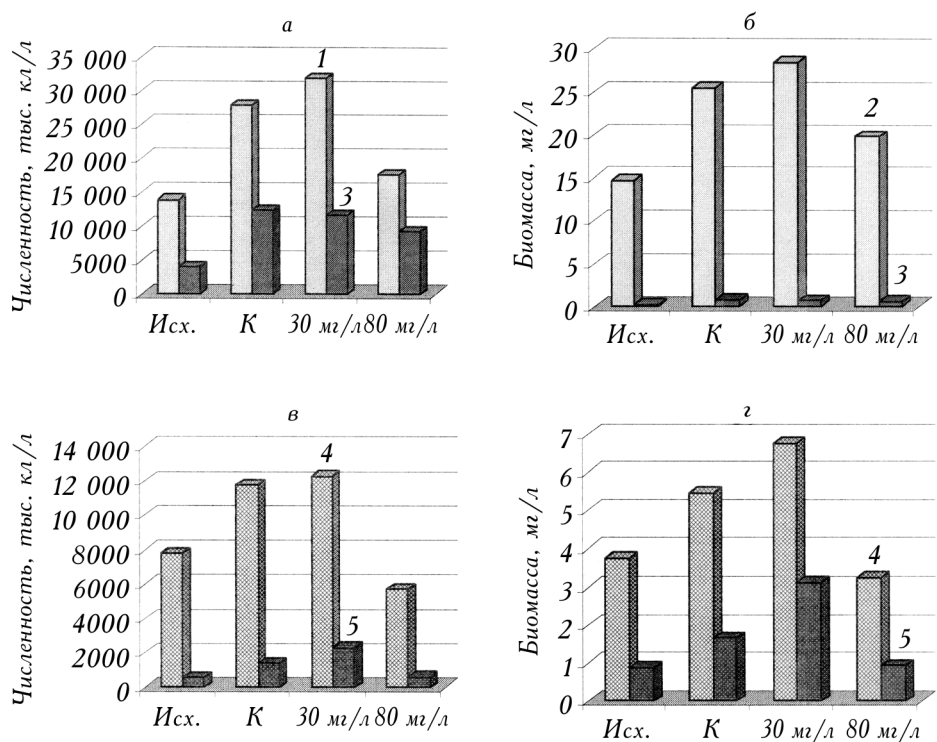
Подобную закономерность мы наблюдали и на 8-е сутки опытов с фитопланктоном зал. Оболонь. Так, если в контрольном варианте численность представителей Cyanophyta составляла 40 975 тыс. кл/л, то при концентрации ФК 30,0 мг/л она снижалась до 9663 тыс. кл/л, а при 80,0 мг/л — до 6483 тыс. кл/л. Что же касается изменений биомассы данной группы водорослей при внесении в воду исследуемых гумусовых веществ, то ее величины были следующими: в контроле — 1,840 мг/л, при концентрации ФК 30,0 мг/л — 0,173 мг/л, а при концентрации ФК 80,0 мг/л — 0,152 мг/л (см. рис. 2).



3. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей Ореховатского пруда № 2 под влиянием фульвокислот на 5-е сутки опыта: 1 — общая численность; 2 — общая биомасса; 3 — Cyanophyta; 4 — Chlorophyta; 5 — Bacillariophyta.

Изменение численности и биомассы синезеленых водорослей, вегетирующих в сосудах с образцами воды Ореховатского пруда № 2 показано на рисунках 3 и 4. Как видим, внесение в воду фульвокислот, как и в предыдущем опыте, приводило к подавлению развития представителей Cyanophyta, хотя и менее выраженному, чем для зал. Оболонь. Так, на 5-е сутки эксперимента их численность уменьшилась по сравнению с контролем в 1,2, а биомасса — в 1,1 и 1,2 раза соответственно при 30,0 и 80,0 мг/л ФК. Подавление развития синезеленых водорослей под воздействием ФК отмечено и на 8-е сутки опыта: если в контрольном варианте численность и биомасса этих организмов составляли 12 354 тыс. кл/л и 0,798 мг/л, то при концентрации ФК в воде 30,0 мг/л — 11 748 тыс. кл/л и 0,699 мг/л, а при 80,0 мг/л — 9267 тыс. кл/л и 0,552 мг/л.

Анализ особенностей вегетации водорослей других систематических групп показал, что уже на 5-е сутки опыта с фитопланктоном Ореховатского пруда № 2 фульвокислоты в концентрации 30,0 мг/л оказывали стимулирующее воздействие на развитие диатомовых водорослей, что было особенно заметно в конце опыта. Так, например, если в контрольном варианте опыта численность представителей Bacillariophyta составляла на 5-е и 8-е сутки соответственно 1310 и 1395 тыс. кл/л, то в опытном варианте она достигала 1630 и 2294 тыс. кл/л. Такая же картина, только более выраженная, наблюдалась нами и для биомассы указанной группы водорослей. Так, например,

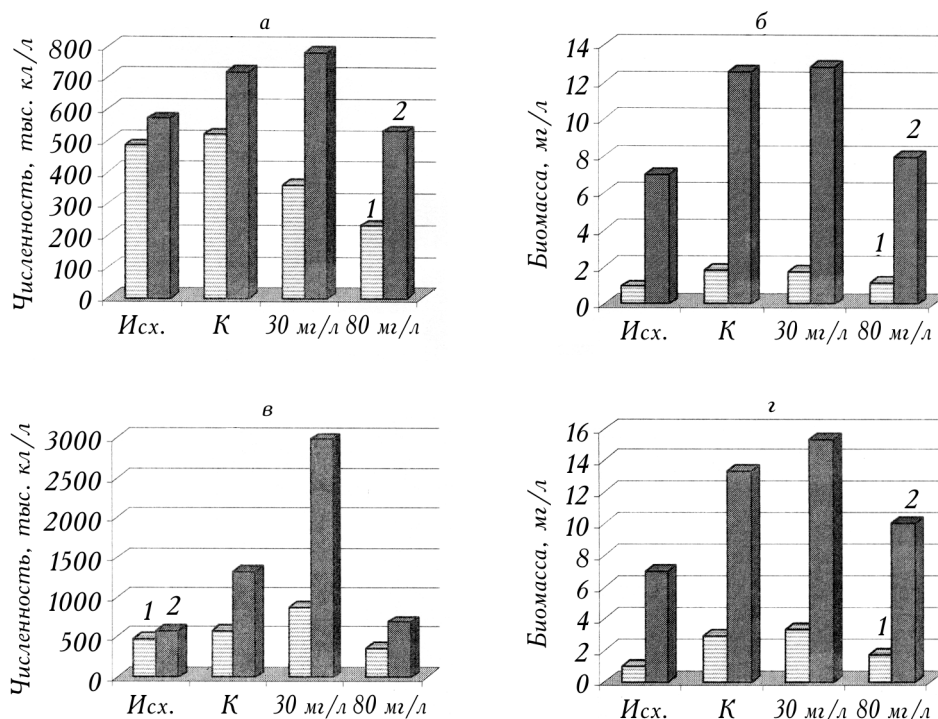


4. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей Ореховатского пруда № 2 под влиянием фульвокислот на 8-е сутки опыта: 1 — общая численность; 2 — общая биомасса; 3 — Cyanophyta; 4 — Chlorophyta; 5 — Bacillariophyta.

их биомасса на 5-е и 8-е сутки опыта при концентрации ФК в воде 30,0 мг/л увеличилась по сравнению с контролем соответственно в 1,1 и 1,9 раза (см. рис. 3, 4).

В то же время, ФК в концентрации 80,0 мг/л угнетали развитие упомянутой группы планктонных организмов. Так, в частности, количество клеток диатомовых водорослей при этом уменьшилось, по сравнению с контролем на 5-е и 8-е сутки опыта соответственно в 1,8 и 2,3 раза. Что касается изменений биомассы представителей отдела Bacillariophyta, можно отметить следующее: если в контрольном варианте опыта биомасса диатомовых водорослей составляла на 5-е сутки 1,574 мг/л, а на 8-е — 1,652, то после внесения в среду ФК в концентрации 80,0 мг/л эти величины были соответственно 0,914 и 0,939 мг/л (см. рис. 3, 4).

Характеризуя особенности развития динофитовых водорослей в образцах воды из Ореховатского пруда № 2 при наличии в воде ФК в указанных концентрациях, можно отметить, что при этом наблюдалась определенная аналогия с представителями отдела Bacillariophyta. Так, на 5-е сутки опыта численность клеток и биомасса динофитовых водорослей при концентрации ФК 30,0 мг/л составляла: в контроле — 720 тыс. кл/л и 12,565 мг/л, а в опыте — 780 тыс. кл/л и 12,825 мг/л (рис. 5).



5. Изменение численности (а, в) и биомассы (б, г) планктонных водорослей Ореховатского пруда № 2 под влиянием фульвокислот на 5-е (а, б) и 8-е (в, г) сутки опыта: 1 — Euglenophyta; 2 — Dinophyta.

На 8-е сутки опыта эффект стимулирования развития динофитовых водорослей был более выраженным. Так, внесение в воду ФК в концентрации 30,0 мг/л сопровождалось увеличением численности клеток этих водорослей в 2,3 раза, а биомассы — в 1,2 раза по сравнению с контролем.

Необходимо отметить и то обстоятельство, что ФК в концентрации 80,0 мг/л оказывали угнетающее воздействие на развитие динофитовых водорослей. Так, например, на 5-е сутки опыта численность клеток и биомасса представителей Dinophyta были соответственно в 1,4 и 1,6 раз ниже, чем в контрольном варианте.

Более резкое уменьшение количественных показателей развития динофитовых водорослей под воздействием указанной концентрации ФК мы наблюдали на 8-е сутки опыта: если в контрольном варианте численность и биомасса представителей Dinophyta, составляли, соответственно 1320 тыс. кл./л и 13,316 мг/л, то в опытных образцах воды, отобранных из Ореховатского пруда № 2 — только 687 тыс. кл./л и 9,968 мг/л.

Касаясь особенностей влияния исследуемых органических соединений на вегетацию зеленых и эвгленовых водорослей, можно отметить, что стимуляция их развития имела место на 8-е сутки в опытах с фитопланктоном Ореховатского пруда № 2 и только при концентрации ФК 30,0 мг/л, тогда как при концентрации ФК 80,0 мг/л наблюдалось угнетение развития как

представителей отдела Chlorophyta, так и Euglenophyta. Так, например, численность клеток и биомасса зеленых водорослей в контрольном варианте опыта в этот период составляла 11 781 тыс. кл/л и 5,468 мг/л, тогда как при концентрации ФК 30,0 мг/л — 12 288 тыс. кл/л и 6,773 мг/л, а при концентрации ФК 80,0 мг/л — 5723 тыс. кл/л и 3,262 мг/л (см. рис. 4).

Изменение численности и биомассы эвгленовых водорослей под воздействием ФК показано на рисунке 5. На 5-е сутки опыта происходило подавление развития представителей отдела Euglenophyta при обеих исследованных концентрациях ФК в воде, тогда как на 8-е сутки мы наблюдали эффект стимулирования вегетации этой группы водорослей. Однако необходимо отметить, что это имело место только при концентрации ФК 30,0 мг/л. Так, например, если в контрольном сосуде численность клеток и биомасса эвгленовых водорослей составляли 580 тыс. кл/л и 2,899 мг/л, то в опытном — 868 тыс. кл/л и 3,267 мг/л.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что фульвокислоты, в зависимости от их концентрации в воде, могут угнетать или стимулировать развитие отдельных групп планктонных водорослей. Среди вероятных механизмов воздействия гумусовых веществ на эти организмы может быть их избирательное влияние на ферментные системы водорослей, как это показано нами на примере представителей Cyanoprocarota, Chlorophyta и Euglenophyta [1, 9].

### Заключение

Фульвокислоты, являясь важным компонентом растворенного органического вещества, могут оказывать определенное влияние на развитие фитопланктона. Изученные гумусовые вещества при концентрации 30,0 и 80,0 мг/л в краткосрочных опытах угнетали развитие синезеленых водорослей из разнотипных водных объектов. Наличие в воде 30,0 мг/л фульвокислот положительно, а 80,0 мг/л — отрицательно влияло на развитие диатомовых и динофитовых водорослей, отобранных из толщи воды Ореховатского пруда № 2. Стимуляция развития зеленых и эвгленовых водорослей под влиянием исследуемых органических соединений имела место при концентрации фульвокислот 30,0 мг/л и только в конце опыта. Следовательно, фульвокислоты, в зависимости от их концентрации в воде, могут регулировать развитие пресноводного фитопланктона.

\*\*

*Вивчали реакцію планктонних водоростей із різнотипних водних об'єктів на дію фульвокислот, які було виділено із води Канівського водосховища (Україна). Вплив фульвокислот на розвиток фітопланктону оцінювали згідно змін його чисельності та біомаси. Встановлено ефекти стимуляції та пригнічення розвитку синьозелених, зелених, евгленових, діатомових і динофітових водоростей за дії фульвокислот у різних концентраціях (30,0 і 80,0 мг/л).*

\*\*

*The response of planktonic algae from different water bodies on effect of fulvic acids isolated from the Kaniv reservoir (Ukraine) was investigated. The influence of fulvic 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, euglenic, diatomic and dinofitic algae growth under of different concentrations of fulvic acids (30,0 and 80,0 mg/l) were established.

\*\*

1. Василенко О.В., Клоченко П.Д., Васильчук Т.А. Влияние гуминовых кислот на метаболизм *Euglena gracilis* // Актуальные проблемы современной альгологии: Тез. докл. IV Междунар. конф., Киев, 22—25 мая 2012 г. — Киев, 2012. — С. 50—51.
2. Васильчук Т.А., Осипенко В.П., Евтух Т.В. Особенности миграции и распределения основных групп органических веществ в воде Киевского водохранилища в зависимости от кислородного режима // Гидробиол. журн. — 2010. — Т. 46, № 6. — С. 105—115.
3. Дзюбан А.Н., Бикбулатов Э.С., Бикбулатова Е.М., Кузнецова И.А. Бактериальное соокисление природных гумусовых веществ в присутствии глюкозы // Там же. — 2003. — Т. 39, № 5. — С. 68—75.
4. Клоченко П.Д., Мегведь В.А., Васильчук Т.А., Василенко О.В. Особенности влияния гуминовых кислот на развитие планктонных водорослей // Там же. — 2010. — Т. 46, № 5. — С. 102—110.
5. Линник П.Н., Васильчук Т.А. Роль гумусовых веществ в процессах комплексообразования и детоксикации (на примере водохранилищ Днепра) // Там же. — 2001. — Т. 37, № 5. — С. 98—112.
6. Линник П.Н., Васильчук Т.А., Болелая Н.В. Гумусовые вещества в воде днепровских водохранилищ // Там же. — 1995. — Т. 31, № 2. — С. 74—81.
7. 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.
8. Осагча Н.М. Закономірності міграції гумусових речовин у поверхневих водах України: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. — К., 2011. — 32 с.
9. 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.
10. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. — Киев: Вища шк., 1984. — 334 с.
11. 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.
12. Müller-Wegener U. Interaction humic substances with biota. — John Wiley & Sons Limited, 1988. — P. 403—412.
13. Prakash A., Rashid M.A., Jensen A., Subba R.D. Influence of humic substances on the growth of marine phytoplankton: Diatoms // Limnol. Oceanogr. — 1973. — Vol. 18, N 4. — P. 516—524.