

КОРЕЛЯЦІЙНІ ЗВ'ЯЗКИ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЗМІНИ ЯКОСТІ ВОДИ ДНІПРОВСЬКОГО КАСКАДУ ТА ЗАХОДИ ПО ВИРІШЕННЮ ПРОБЛЕМИ

Висвітлюються проблеми споруд водопостачання, що спричиняються цвітінням поверхневих вод в літній період. Визначається вплив низки факторів на активізацію нарощення маси фітопланктону як фактору можливих змін якості води з метою прогнозування вимог до очисних споруд водопроводів в умовах кліматичних змін. Проаналізовано зв'язок біомаси фітопланктону з температурою води, вмістом біогенних елементів, інтенсивністю загальної сонячної радіації, кількістю опадів.

Ключові слова: Фітопланктон; проблеми водопостачання; якість води; водозабірні споруди; цвітіння води; кореляція; температура; фосфати; нітрати; нітрیتی; кисень; водопостачання; рН; мутність; кольоровість.

Рассматриваются проблемы сооружений водоснабжения, вызываемых цветением поверхностных вод в летний период. Определяется влияние ряда факторов на активизацию наращивания массы фитопланктона как фактора возможных изменений качества воды с целью прогнозирования требований к очистным сооружениям водопроводов в условиях климатических изменений. Проанализирована связь биомассы фитопланктона с температурой воды, содержанием биогенных элементов, интенсивностью общей солнечной радиации, количеством осадков.

Ключевые слова: фитопланктон, проблемы водоснабжения; качество воды; водозаборные сооружения; цветения воды; корреляция; температура; фосфаты; нитраты; нитриты; кислород; водоснабжение; рН; мутность; цветность.

Highlights the existence of problems in water supply facilities caused algal surface water in the summer. Determine the impact of some factors on the activation Building Mass phytoplankton as a factor in possible changes in water quality during the active growing season to predict requirements for sewage water pipes in terms of climate change. Analyzed the relationship of phytoplankton biomass with water temperature, content of nutrients, the total intensity of solar radiation, rainfall.

Keywords: phytoplankton; water supply; quality of water; water intakes; green water; correlation; temperature; phosphates; nitrates; nitrites; oxygen; water supply; pH; turbidity; chromaticity.

Україна вважається однією з найменш забезпечених водними ресурсами країн Європи (тут формується тільки 0,3% світових водних ресурсів). Інтенсивність водокористування в Україні досягла рівня, який перевищує екологічну ємність ресурсу водного потенціалу. В окремі роки відбирається 30 і більше відсотків мінімального стоку. В той же час, використання поверхневих вод в структурі систем водопостачання є найбільшим і становить близько 74...80% від загального забору води.

Дніпро забезпечує водою 2/3 території України, зокрема, 30 млн.чол., 50 великих міст і промислових центрів, до 10 тис. підприємств, 2,2 тис. сільських і понад 1 тис. комунальних господарств, 50 великих зрошувальних систем і 4 атомні електростанції. Водостік Дніпра регулюється каскадом з 6 великих водосховищ сумарною площею водного дзеркала близько 7,0 тис.км² із загальним об'ємом 44 км³, корисним – 18 км³. У дніпровських водосховищах акумульовано майже 70% водних ресурсів країни [1, 2].

За аналізом (рис. 1) динаміки забору прісної води по території Київської області в межах басейну р. Дніпра (на 97% загальної площі) [3], основна перевага надається водовідбору за рахунок поверхневих водозаборів.

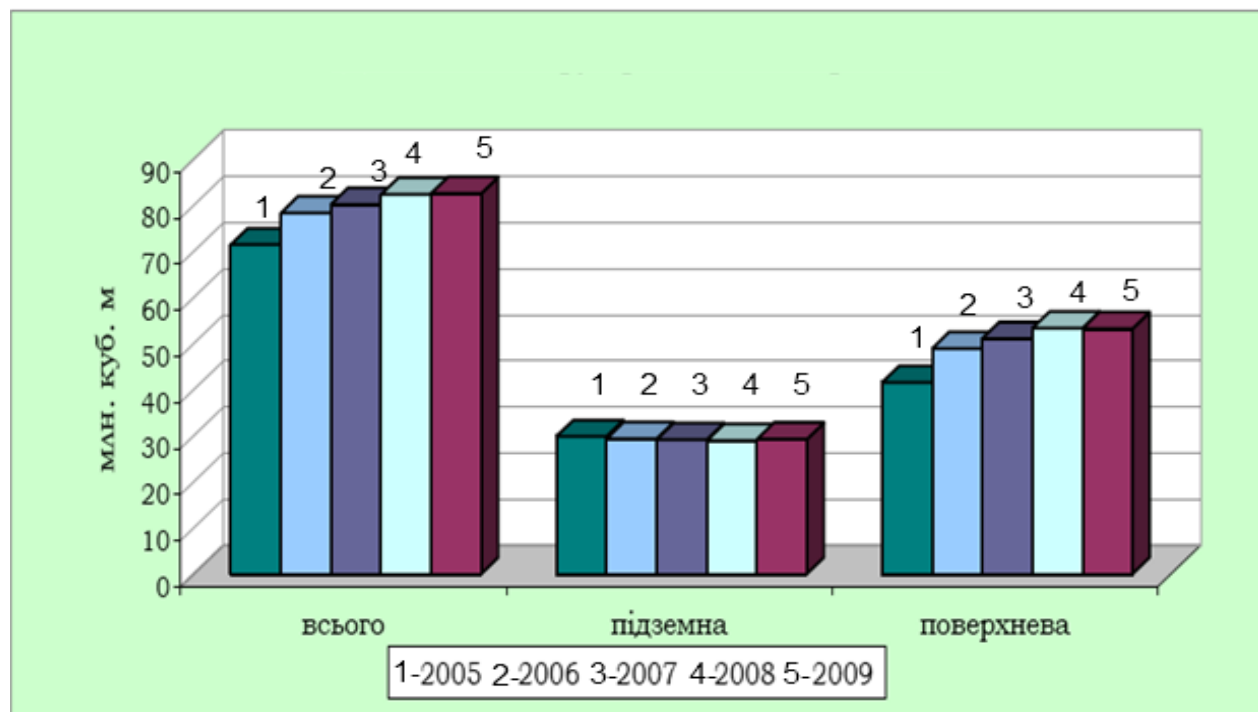


Рис.1. Динаміка забору прісних вод Київської області за роками

За багаторічними даними вміст фосфатів у воді водосховищ, починаючи з 2003 року, почав збільшуватись, що свідчить про підвищення антропогенного навантаження на водні ресурси Дніпра [4].

Потепління клімату призводить до значного підвищення у літній пік температурного режиму водосховищ, що в сукупності з підвищеним вмістом біогенних елементів у воді значно інтенсифікує процеси життєдіяльності ціанобактерій – основних складових "цвітіння" води Дніпровського каскаду.

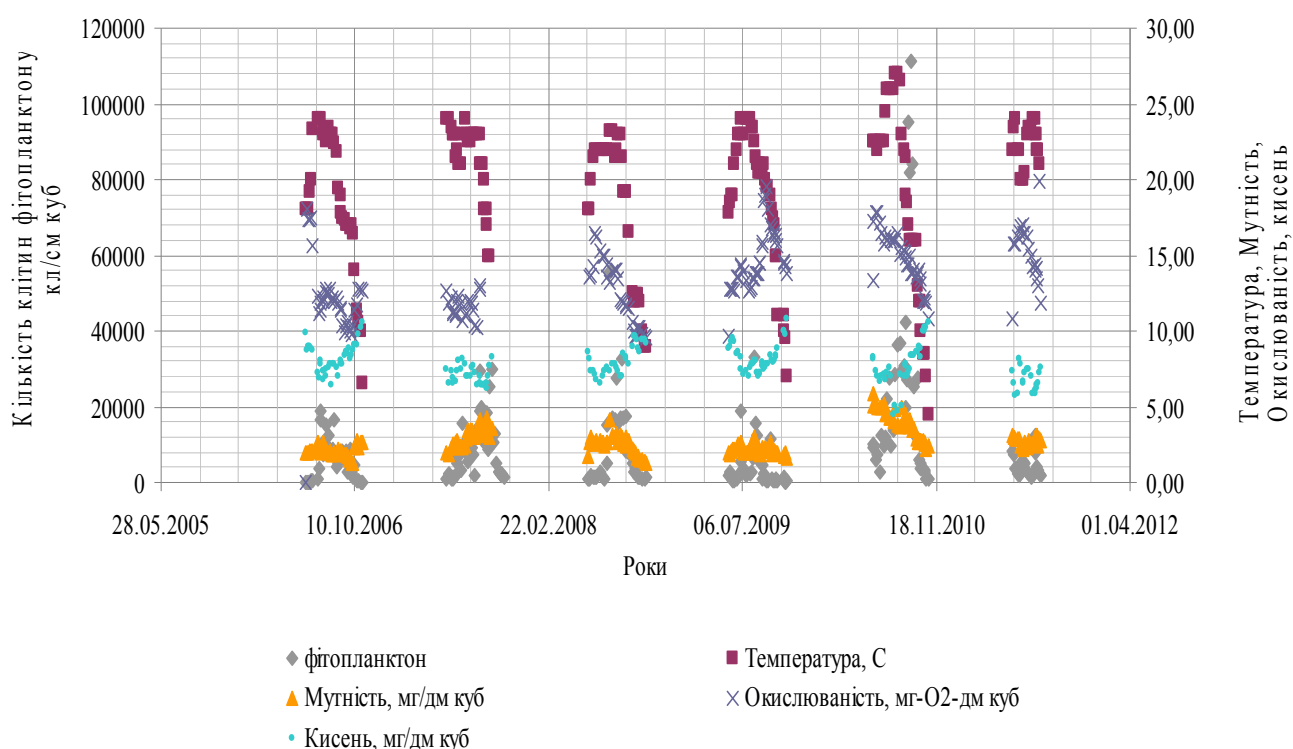


Рис. 2. Показники фітопланктону, температури, мутності, окислюваності, кисню за вегетаційні періоди

В різних екологічних умовах "цвітіння" обумовлено розвитком окремих родів фітопланктонних водоростей. Найчастіше всього особливо в водосховищах різних річок Європи це водорості трьох окремих родів синьо-зелених водоростей – *Microcystis*, *Aphanizomenon*, і *Anabenna*. Їх масовий розвиток наносить значну шкоду господарству і спричиняє порушення режиму

водопостачання населених пунктів, виникнення заморів риби, погіршення якості води, надає характерну зміну смаку і запаху води [5], призводить до забруднення місць для відпочинку.

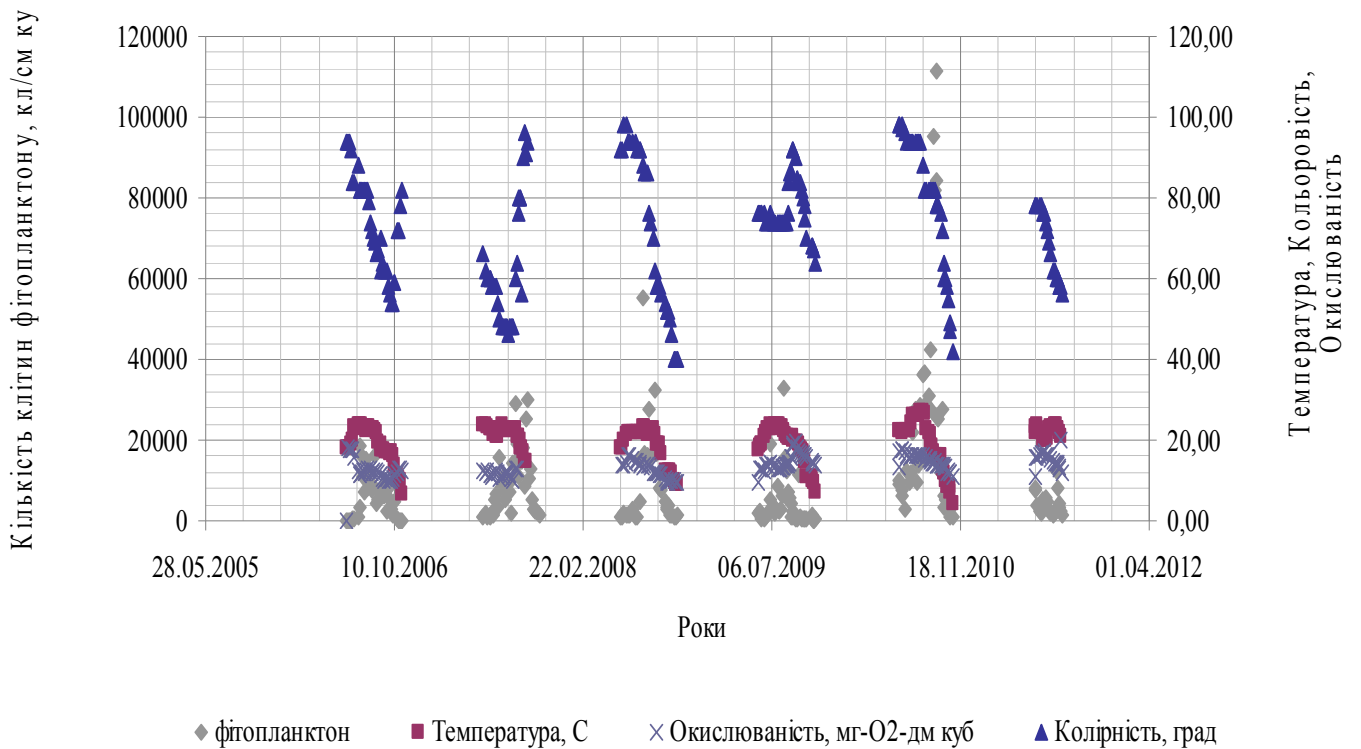


Рис. 3. Показники фітопланктону, температури, колірності, окислюваності за 2006-2012 рр.

У період "цвітіння" біомаса ціанобактерій досягає $1,5 \dots 2,0 \text{ кг/м}^3$, а у місцях їх накопичень – $5 \dots 7 \text{ кг/м}^3$. У штильову погоду ціанобактерії збираються у верхньому шарі води, у так званих плямах "цвітіння", де їх біомаса досягає $40 \dots 50 \text{ кг/м}^3$. Фітопланктон, відмираючи, вже в перші години анаеробного руйнування триптофану, яке відбувається як у водоймах, так і в

системах водопідготовки, утворюється до 3 мг/дм³ індолу, близько 2 мг/дм³ скатолу [6,7]. У зв'язку з цим в елюатах фільтрувальних матеріалів префільтрів та основного фільтра виявлено у воді 50...80 мг/дм³ індолу, 70 мг/дм³ скатолу в період "цвітіння". Погіршується показник кольоровості води (40...50 градусів), запах сягає 4...5 балів, підвищується вміст аміаку та марганцю, індекс лактопозитивних кишкових паличок (ЛКП) сягає 70 тис/дм³.

Інтенсивний розвиток водоростей, їх розповсюдженість, потенційна можливість утворюватись у різних середовищах довкілля в природних умовах у великих кількостях, висока токсичність та невідворотність контакту людини з цими токсикантами з наступним проникненням в організм, часто обумовлюють високий розвиток масових гострих та хронічних отруєнь. Захворювання людей, викликаних впливом токсинів, що містяться в водоростях, частіше виявляються як алергічні і запальні процеси шкіри та кишкові захворювання [8], що спричиняють додаткові затрати у водокористувачів.

Можна стверджувати, що надходження марганцю у воду водосховищ Дніпровського каскаду відбувається з донних відкладень і викликано анаеробними умовами які виникають при надшвидкому розвитку ціанобактерій. Такий тип розвитку викликаний аномальним літнім температурним режимом та постійним підвищенням об'ємів як антропогенних, так і природних (гумінових) біогенних елементів, головним чином фосforo- та азотовмісних сполук.

Визначення факторів, що сприяють погіршенню якості вод поверхневих джерел є важливим завданням для захисту систем водопостачання України в умовах прискореної зміни клімату, обумовленої глобальним потеплінням.

Для вирішення поставленої задачі, нами проведенні аналізи зміни якості води Дніпровського водозабору м.Києва. Вибірка проб робилася за активний вегетаційний період фітопланктону з червня по жовтень з 2006 по 2012 роки. Аналіз проводився на базі програмного забезпечення за ліцензією GNU, для проведення аналізу використовувалися Gnumeric, SciDAVis та PSPP – відкритий аналог SPSS [9 –13].

Аналізувався як період в цілому так і по роках (з червня по жовтень), а також період найбільших теплових аномалій у 2010 році за період активної вегетації.

Визначалося чи відповідає закон розподілу даних у змінних нормальному закону розподілу Далі визначались кореляційні матриці по Пірсону та Спірмену. Кореляції значимі при $p < 0,05000$. Аналізувався зв'язок кількості фітопланктону–температури–біогенних елементів–опадів–загальної сонячної радіації.

Отримані результати кореляційних зв'язків наведені у табл. 1,2.

Таблиця 1

Кореляція фітопланктону з іншими факторами по Пірсону, роки розташовані за зменшенням середньої кількості фітопланктону.

Роки	2010	2007	2008	2012	2006	2009	2011
Середня кількість фітопланктону, кл/см ³	2195 5	8360	8070	6404	5071	4282	3642
Фітопланктон, кл/см ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Синьо-зелені, кл/см ³	0,99	0,99	1,00	0,82	0,82	0,98	0,48
Діатомові, кл/см ³	0,04	-0,14	0,52	0,27	0,53	0,51	0,36
Зелені, кл/см ³	-0,33	-0,14	-0,29	0,87	0,63	0,23	0,58
Температура, град С	-0,03	-0,30	0,43	0,71	0,53	0,39	0,26
Мутність, мг/дм ³	-0,54	0,70	0,66	0,52	-0,10	0,74	0,24
Кисень, мг/дм ³	-0,19	-0,41	-0,29	-0,65	-0,67	-0,38	-0,19
Колірність, град	-0,72	0,40	-0,22	-0,29	-0,46	0,05	0,12
Окисляємість, мг-О ₂ / дм ³	-0,78	-0,67	0,04	-0,02	-0,18	0,07	0,22
Залізо, мг/дм ³	0,01	-0,56	-0,56	-0,39	-0,32	-0,50	-0,21
pH	0,57	-0,26	0,69	0,64	0,60	-0,17	0,32
Аміак, мг/дм ³	-0,73	-0,25	-0,49	0,18	-0,35	0,37	0,00
Нітрити, мг/дм ³	0,27	0,50	-0,66	0,27	0,03	-0,13	0,22
Нітрати, мг/дм ³	0,30	0,57	-0,61	-0,17	-0,67	0,14	-0,17
Марганець, мг/дм ³	0,55	-0,27	0,19	0,17	-0,52	-0,29	-0,28
Фосфати, мг/дм ³	0,83	0,78	0,57	0,30	-0,49	0,43	0,01
Фтор, мг/дм ³	-0,58	-0,55	0,67	0,54	0,58	0,35	0,06
Опади, мм	0,02	-0,41	-0,11	-0,01	-0,14	-0,02	0,20
Сонячна радіація, Дж/м ²	-0,55	-0,53	0,07	0,02	-0,11	-0,05	-0,05

Таблиця 2

**Кореляція фітопланктону з іншими факторами по Спірмену, роки
розташовані за зменшенням середньої кількості фітопланктону**

Роки	2010	2007	2008	2012	2006	2009	2011
Середня кількість фітопланктону, кл/см ³	21955	8360	8070	6404	5071	4282	3642
Фітопланктон, кл/см ³	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Синьо-зелені, кл/см ³	0,93	0,95	0,98	0,72	0,83	0,83	0,25
Діатомові, кл/см ³	-0,32	-0,06	0,42	0,54	0,49	0,34	0,39
Зелені, кл/см ³	-0,45	-0,15	-0,06	0,78	0,89	0,43	0,50
Температура, град С	0,29	-0,12	0,66	0,73	0,50	0,47	0,30
Мутність, мг/дм ³	-0,68	0,74	0,87	0,58	-0,09	0,59	0,14
Кисень, мг/дм ³	-0,35	-0,48	-0,38	-0,75	-0,74	-0,57	-0,43
Колірність, град	-0,83	0,00	-0,22	-0,38	-0,64	0,05	0,23
Окислюємість, мг-О ₂ / дм ³	-0,82	-0,74	0,01	0,10	-0,09	0,11	0,32
Залізо, мг/дм ³	-0,26	-0,75	-0,45	-0,53	-0,44	-0,51	-0,34
pH	0,86	-0,05	0,64	0,60	0,48	0,29	0,26
Аміак, мг/дм ³	-0,84	-0,45	-0,47	0,40	-0,36	0,20	0,01
Нітрити, мг/дм ³	0,58	0,69	-0,69	0,46	0,05	0,19	0,23
Нітрати, мг/дм ³	0,16	0,23	-0,76	-0,46	-0,63	-0,11	-0,32
Марганець, мг/дм ³	0,55	-0,38	0,12	0,39	-0,60	-0,19	-0,19
Фосфати, мг/дм ³	0,82	0,81	0,39	0,43	-0,31	0,14	-0,29
Фтор, мг/дм ³	-0,67	-0,17	0,81	-0,09	0,68	0,14	-0,01
Опади мм	-0,02	-0,29	0,00	0,02	-0,13	-0,11	0,20
Сонячна радіація, Дж/м ²	-0,26	-0,37	-0,03	-0,21	-0,15	0,04	0,00

Динаміка зміни температури води за період активної вегетації за роками наведена на рис. 4.

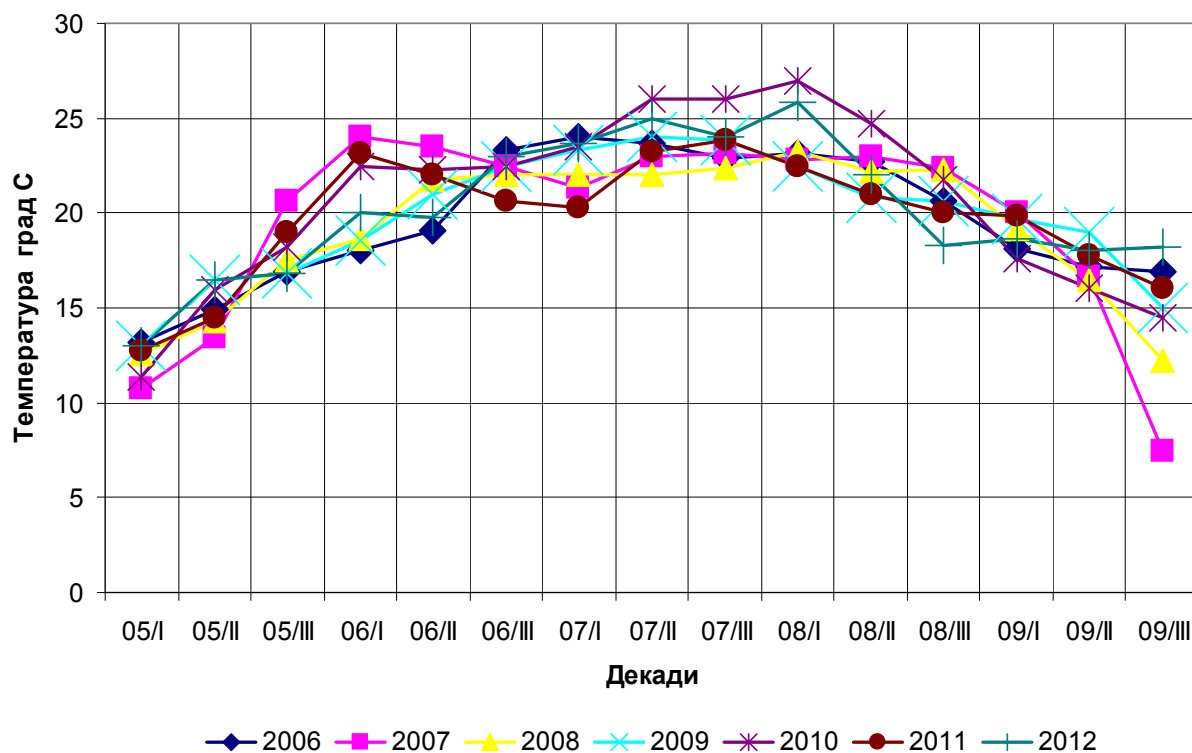


Рис. 4. Динаміка змін температури води за період активної вегетації по декадах

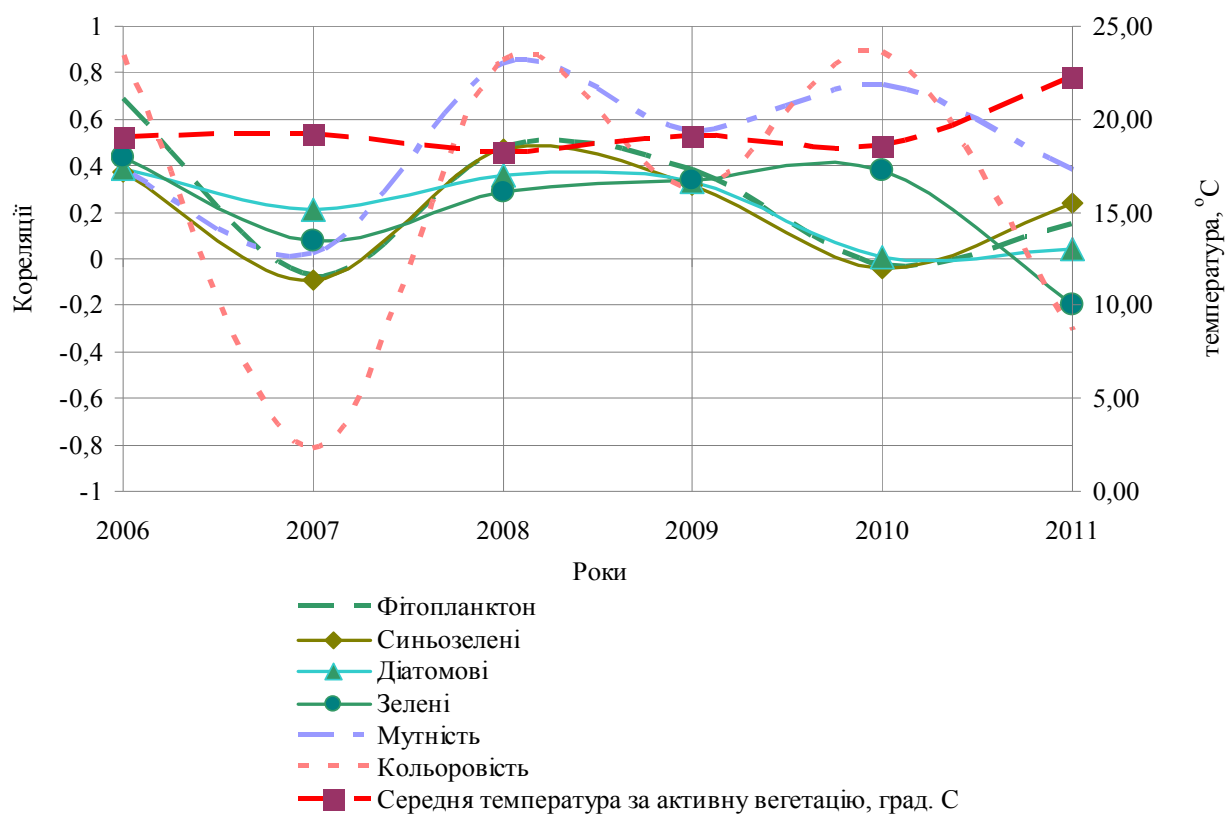


Рис. 5. Кореляційні зв'язки та середня за вегетація температури за 2006–2011 роки

Закономірність розподілу всіх оброблених даних не відповідає нормальному закону розподілу. Для ілюстрації характеру впливу на інтенсивність нарощення маси фітопланктону і пов'язаних з цим змін якості води наведені показники за роки з найбільшим розвитком фітопланктону та найбільшою температурою за період досліджень за чинниками з найбільшою кореляцією. Вони наведені на рис. 6-8.

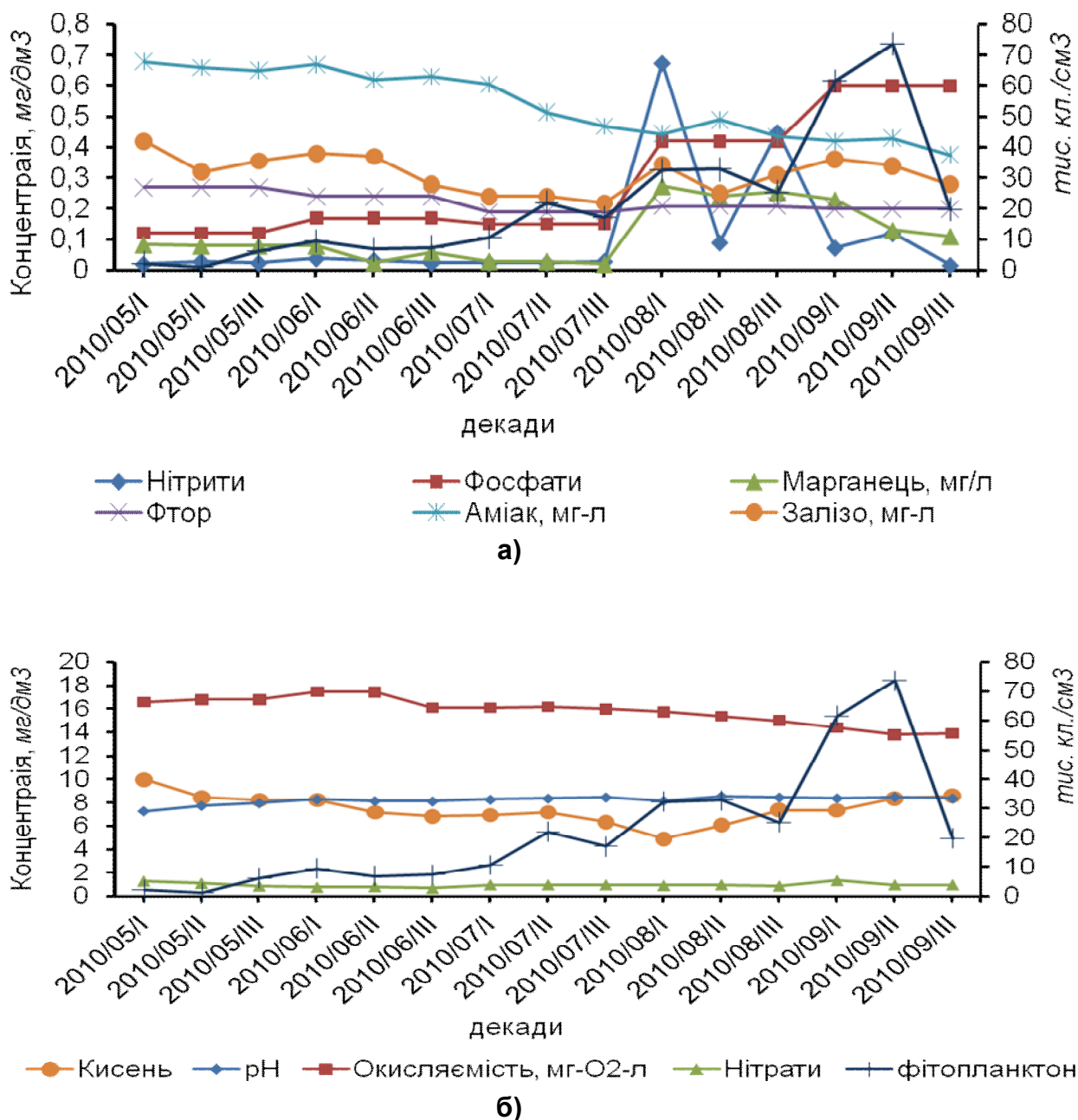
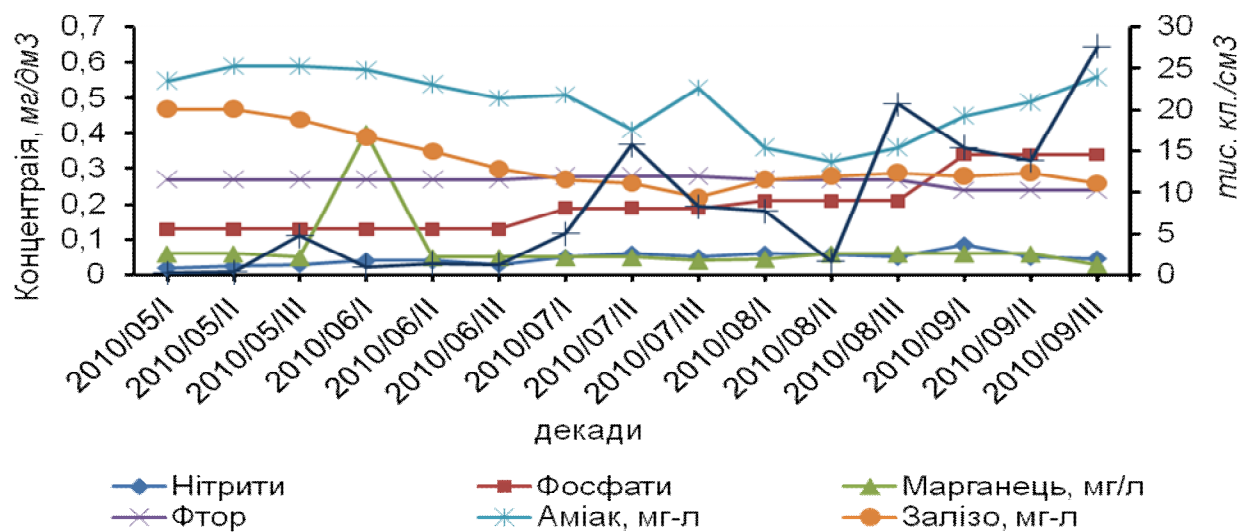
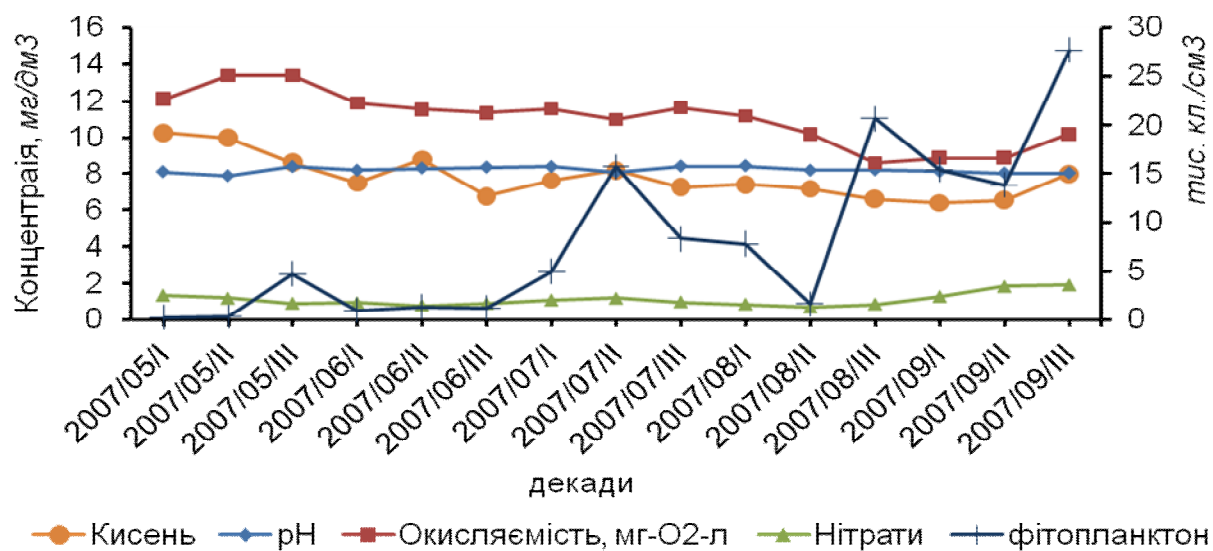


Рис. 6. Динаміка змін найбільш кореляційно пов'язаних факторів:
 (а) – нітрити, фосфати, марганець, фтор, аміак, залізо, фітопланктон;
 (б) – кисень, рН, окисляємість, нітрати, фітопланктон,
 за активний вегетаційний період 2010 р.



а)



б)

Рис. 7. Динаміка змін найбільш кореляційно пов'язаних факторів:
(а) – нітрити, фосфати, марганець, фтор, залізо, аміак, фітопланктон;
(б) – кисень, рН, окисляємість, нітрати, фітопланктон, за активний
вегетаційний період 2007 р.

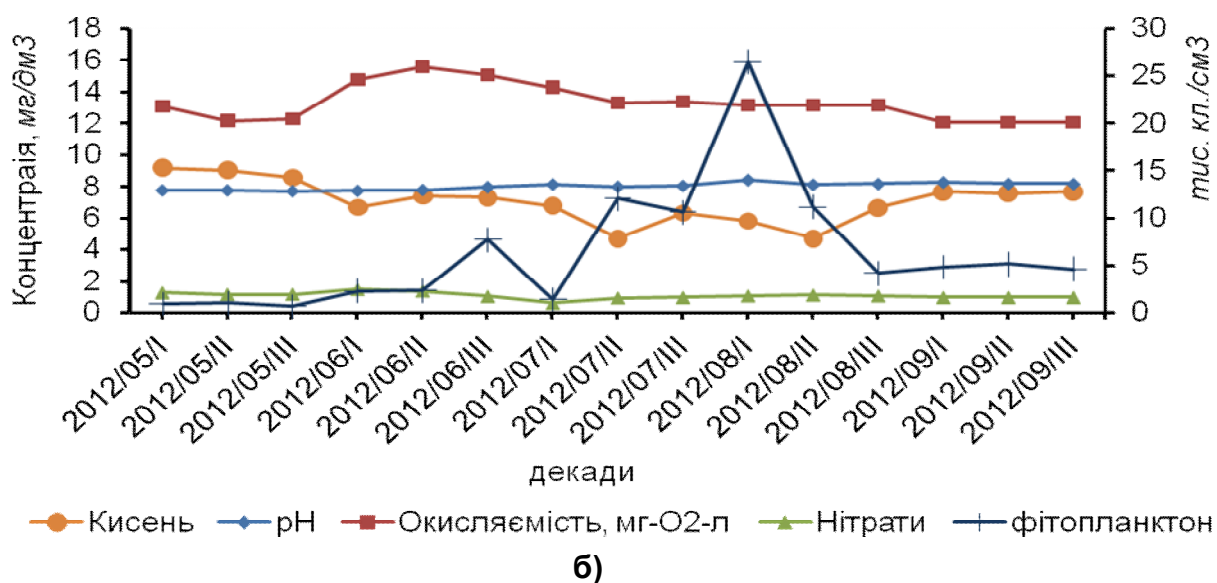
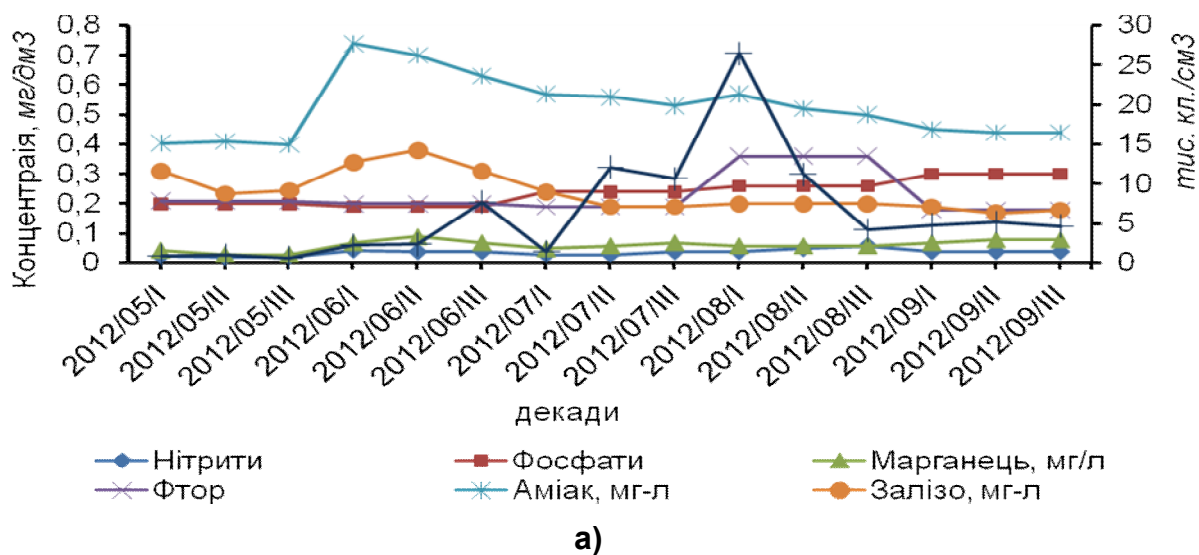


Рис. 8. Динаміка змін найбільш кореляційно пов'язаних факторів:
 (а) – нітрити, фосфати, марганець, фтор, аміак, залізо, фітопланктон;
 (б) – кисень, рН, окисляємість, нітрати, фітопланктон, за активний
 вегетаційний період 2012 р.

Значення кореляції між температурою і фітопланктоном коливається в межах 0,03...0,71 в залежності від вибірки та методики визначення. Виявлена стійка кореляції між фосфатами та нітратами і бурхливим розмноженням фітопланктону при одночасно слабкому чи помірному зв'язку цього явища з температурою води. Виявлено прямий зв'язок між бурхливим збільшенням маси фітопланктону і підвищенням вмісту марганцю. Це особливо проявилось під час температурної аномалії 2010 року, коли вміст марганцю перевищив у понад три рази нормативні вимоги. В той же період бурхливий розвиток фітопланктону обумовив підвищення вмісту кисню за рахунок інтенсивного процесу фотосинтезу [14–18]. При менш активному розмноженні фітопланктону він навпаки обумовлює зниження вмісту кисню. Вочевидь це відбувається за рахунок превалювання процесів розпаду відмерлих клітин фітопланктону над утворенням живих клітин-продуцентів кисню. Так само є значною зрозуміла кореляція між кількістю фітопланктону і каламутністю.

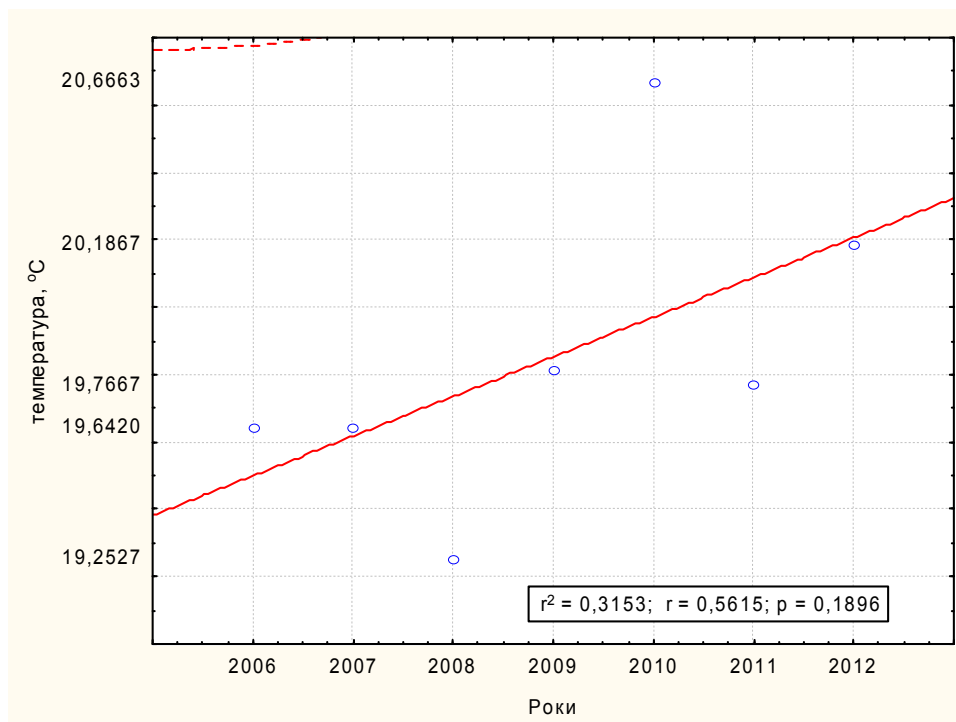


Рис. 9. Діаграма розсіювання середніх показників температури води за активний період вегетації по роках та можливий тренд з незначною ймовірністю.

Отже, відповідно до розглянутих даних, ми можемо стверджувати, що бурхливе зростання фітопланктону не спричинюється підвищенням температури води, тоді як у поєднанні з фосфатами концентрацією понад $0,3 \text{ мг/дм}^3$ бурхливий розвиток може відбутися в звичайному температурному діапазоні $21 \dots 23^\circ\text{C}$.

Відповідно до цих спостережень і загальних температурних тенденцій слід зазначити, що більшість водопровідних очисних споруд не готові до таких сезонно-пікових навантажень. Подібні піки органічних забруднень і пов'язаних з ними труднощів раніше були характерні для сезону весняного танення снігів. За останнє десятиріччя такі ж технологічні навантаження стали звичайними для кінця літа. Так затримання фітопланктону перед швидкими фільтрами існуючими технологічними рішеннями не ефективно, а на самих фільтрах вкрай затратне. Бар'єрна здатність за марганцем і кольоровістю також низька і забезпечується підвищеними дозами реагентів, що у свою чергу обумовлює підвищений вміст залишкового алюмінію та хлору в очищеній воді.

Рішенням цієї проблеми міг би стати наступний комплекс споруд:

- фільтруючі водозабори, здатні затримувати більшу частину фітопланктону безпосередньо у річці;
- комбіновані фільтри-відстійники з шаром завислого осаду;
- системи мікрофільтрації здатні затримати як фульватні сполуки так і зародки колоїдів гідроксиду марганцю.

Такий набір споруд здатен витримати пікові навантаження фактично за безреагентною схемою. У випадку із значними концентраціями органічних сполук чи небезпечними розчинними органічними сполуками (феноли, нафтопродукти, то що) необхідно поєднати системи мікрофільтрації та біосорбції.

Список літератури

1. Яцик А. В. Наукові і організаційні засади екологічно безпечного водокористування в Україні // Водозабезпечення та водне господарство. – 2004. – №1. – С.4-8
2. А. В. Яцик, В. Я. Шевчук. Енциклопедія водного господарства, природокористування, природовідтворення, сталого розвитку – К.: Генеза, 2006. – 1000 с.
3. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання у 2009 році. – К., 2010.
4. Інформаційна довідка стосовно реалізації Національної програми екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води у 2005 році.
5. Кузьмич І.С. Характеристики фітопланктону при технології забору і очистки води. // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки. – К., 2012. – Вип. 20. – С. 53-65.
6. Гавриленко М.Я., Сиренко Л.А. Цветение воды и эвтрофирование. – К.: Наукова думка, 1978. – 232 с.
7. Разумов А.С., Аренштейн А.И. Инструкция по учету микронаселения в водопроводной воде. – М.: ВНИИВОДГЕО, 1956. – 87 с.
8. Moravkova V. Biologické hidrocení koagulace rae. – Vodní Hospodárství, 1985. – Vol. B, N. 12. – S.317-328.
9. Загрязнение цианотоксинами эвтрофных водоемов Санкт-Петербурга //Экологические и гидрометеорологические проблемы в больших городах и промышленных зон Экогидромет IV международная научная конференция 2-4 июля 2012г. – С. 9-12
10. Вагнер Е. В. Влияние технологических параметров и качества природной воды на образование галогенуксусных кислот в составе продуктов дезинфекции воды хлором //Автореферат дис. к.х.н. М., 2012.
11. И.А. Хахаев Gnumeric: Электронная таблица для всех. – М., ALT Linux 2011. – 192 с.
12. Пащиорковский В.В., Пащиорковская В.В. SPSS для социологов. Учебное пособие. – М.: ИСПЭН РАН, 2005. – 433 с.
13. Lambert M. Surhone, Miriam T.Timplendon, Susan F. – Marseken PSPP, 2010. – 148 с.
14. PSPP - Summary // <http://savannah.gnu.org/projects/pspp/>
15. Костин В.С., Корнюхин Ю.Г. Построение обобщенной классификации // Информационные технологии в гуманитарных исследованиях: Сб. тр. – Новосибирск, 2003. – Вып. 6. – С. 65-72.
16. Протасов А.А., Сергеева О.А., Кошелева С.И. и др. Гидробиология водоемов-охладителей тепловых и атомных электростанций Украины. – К.:

Наук. думка, 1991. – 192 с.

17. *Мостова Н.М.* Особливості температурного і кисневого режимів водойм в умовах теплового навантаження // Наук. праці УкрНДГМІ, 2006. – Вип. 255. – С. 117-126.

18. *Чарний Д.В.* Вплив температурних аномалій на кисневий баланс головних річкових басейнів України як джерел питного водопостачання України // Водне господарство України 2011. – Вип.1. – С 41-48.

Надійшло до редакції 18.03.2014