

А.О. ВИВЕРЕЦЬ

Г.Г. ТРОХИМЕНКО, кандидат біологічних наук

Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, м.Миколаїв

М.Д. ГОМЕЛЯ, доктор технічних наук

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім.І.Сикорського»

## **АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОРОШКУ НАСІННЯ MORINGA OLEIFERA ТА ШЛАМУ ВІД ВИРОБНИЦТВА ГЛИНОЗЕМУ ЯК КОАГУЛЯНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ**

*Представлено результати досліджень 2 типів коагулянтів: порошку з насіння Moringa Oleifera та синтетичного коагулянту зі шламу від виробництва глинозему. Проведені бактеріологічні дослідження та порівняльний аналіз ступеня очищення води при використанні природного коагулянту, акватону, сульфату алюмінію та коагулянту, синтезованого з відходів виробництва глинозему із визначенням хімічних показників.*

**Ключові слова:** очищення води, коагулянти, насіння Moringa Oleifera, шлам, сульфат алюмінію, акватон, мікробне число, коагулятивно-флокулятивні властивості, бактерицидні властивості.

*Представлены результаты исследований 2 типов коагулянтов: порошка семян Moringa Oleifera и синтетического коагулянта из шлама производства глинозема. Проведены бактериологические исследования и сравнительный анализ степени очистки воды при использовании природного коагулянта, акватона, сульфата алюминия и коагулянта, синтезированного из отходов производства глинозема с определением химических показателей.*

**Ключові слова:** очистка воды, коагулянты, семена Moringa Oleifera, шлам, сульфат алюминия, акватон, микробное число, коагулятивно-флокулятивные свойства, бактерицидные свойства.

*The results of research coagulants 2 types: Moringa Oleifera seeds powder and synthetic coagulant from sludge of alumina production. The bacteriological research and the comparative analysis of water treatment efficiency using natural coagulant, aquatone, aluminum sulphate and coagulant from the sludge of alumina production with chemical parameters determination was completed.*

**Key words:** water treatment, coagulants, Moringa Oleifera seeds, sludge, aluminum sulphate, aquatone, bacterial count, coagulation-flocculation processes, bactericidal properties.

## Вступ

Коагуляцію використовують для очищення природних та промислових стічних вод в основному від забруднюючих речовин, які знаходяться в колоїдному завислому стані. Оскільки коагулянти – це солі сильних кислот та слабких лугів, вони гідролізуються з утворенням золів гідроксидів, які мають розвинену поверхню й добре сорбують різні домішки. При цьому частинки коагулюють разом з колоїдними й завислими речовинами. Сьогодні у світі найчастіше використовують алюмінієві, залізні і змішані алюмосалізні коагулянти, які є сумішами солей алюмінію та заліза. Однак, можливе використання і солей інших багатовалентних катіонів – магнію, титану.

Із сполук алюмінію, які використовують як коагулянти, можна виділити: сульфат алюмінію, гідроксосульфат алюмінію, хлорид алюмінію, гідроксохлориди алюмінію, алюмінат натрію.

В Україні, найчастіше використовують сульфат алюмінію  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ . Даний реагент містить всього 15%  $Al_2O_3$ , тобто вміст активного компонента невисокий. Перевагою цього реагенту є його доступність і невисока вартість. До недоліків відносять низьку ефективність, особливо при низьких температурах води, можливість підкислення води із низькою лужністю внаслідок гідролізу коагулянту.

### Постановка проблеми, мета роботи

При обробці природних вод традиційними мінеральними коагулянтами (сульфатом алюмінію, хлоридом заліза (III) і солями інших металів) утворюються пластівці, що мають пухку сітчасту структуру й доволі розвинену внутрішню поверхню. Ці пластівці гідроксиду металу покривають поверхню більш великих часток суспензії й сліпаються один з одним у ланцюжки, утворюючи просторові решітки, у середині яких перебуває захоплена вода. На зовнішній і внутрішній поверхнях пластівців сорбуються колоїдні домішки, які збільшують їх вагу та прискорюють седиментацію [1, 203]. Осади, що утворюються у значному об'ємі від усіх цих процесів є гідрофільними і створюють проблеми при їх захороненні.

На даний час в Україні використовуються традиційні реагенти для підготовки питної води, а саме сульфат алюмінію, який є малоефективним, та реагенти на основі активного хлору, які використовують в якості знезаражуючих агентів. Основним недоліком активного хлору є утворення при обробці води канцерогенних хлорорганічних сполук. Останнім часом частіше почали застосовувати фізичні методи оброблення, які також мають недоліки у використанні. Тому при підготовці води постає проблема щодо ефективних та безпечних для здоров'я людини реагентів [2,45; 3,52-87; 4, 204].

Гостро стоїть проблема очищення води і в місцях, де відсутнє централізоване водопостачання, особливо в зонах бойових дій. Необхідною умовою вирішення цієї проблеми є застосування більш дешевого та доступного способу очистки води без спеціальних складних технологій та недешевих синтетичних коагулянтів, які потребують попередньої підготовки та чіткого дозування.

Метою даної роботи було визначення ефективності очищення води природним коагулянтном з насіння *Moringa oleifera* та синтетичного коагулянту зі шламу виробництва глинозему, визначення їх оптимальних доз для видалення забруднюючих речовин, а також дослідження бактерицидних властивостей порошку з насіння і доцільність його застосування для очищення питної води.

### **Аналіз останніх досліджень**

Згідно з дослідженнями ефективності очищення води від бактерій із застосуванням традиційних синтетичних коагулянтів, було встановлено, що гідроксохлориди алюмінію є дорогими та дефіцитними реагентами, а сульфат алюмінію (СА) – малоефективний коагулянт по відношенню до фізико-хімічних і мікробіологічних показників. При використанні основного сульфату алюмінію (ОСА) та дигідрокосульфату алюмінію (ДГСА) спостерігається покращення фізико-хімічних показників води та підвищується ефективність видалення бактерій, але не досягається повне їх видалення [5,134].

Вчені Ансельм Ендабідженгесер та Сабба Нарісай досліджували коагулятивно-флокулятивні властивості насіння *Moringa oleifera* на моделі проточної води з лабораторії університету Шербрук, Канада. У своїх дослідженнях вони виявили, що насіння цього дерева дійсно мають значні коагулятивно-флокулятивні властивості, а осад, що утворюється не є токсичним для навколишнього середовища [6,781].

Інші дослідження ефективності застосування коагулянтів показали, що при використанні композиції ДГСА+полідиалілдиметиламоній хлорид (поліДАДМАХ) видалення бактерій становило 99,96% (3,4 порядку з 5), що відповідало вимогам до питної води, а саме, в 1 см<sup>3</sup> води менше 100 клітин *E.coli*. Щодо композицій СА+поліДАДМАХ та оксихлорид алюмінію (ОХА)+поліДАДМАХ, то їх концентрації ще потрібно було збільшувати, оскільки межа 100 мікроорганізмів в 1 см<sup>3</sup> не була досягнута. Для першої композиції вона перевищувала в три рази, а для другої майже вдвічі, хоча ефективність видалення бактерій була досить високою 99,78% і 99,87%, відповідно. Таким чином, ступінь видалення бактерій *Escherichia coli* 1257 при застосуванні коагулянтів була досить ефективною і становить від 98,0 до 99,2% [7, 129-135].

### **Методика експерименту**

В процесі досліджень використовували зразки неочищеної води з річки Інгул.

Як реагенти використовувались сульфат алюмінію в дозах 10 мг/л, 20 мг/л, 30 мг/л, 50 мг/л, порошок з насіння *Moringa oleifera* в дозах 20 мг/л, 50 мг/л, коагулянт зі шламу від виробництва алюмінію – 10 мг/л, 20 мг/л, 30 мг/л, 50 мг/л, а також традиційний акватон у дозуванні 10 та 50 мг/л.

Синтетичний коагулянт було отримано зі шламу від виробництва глинозему, попередньо визначивши в ньому співвідношення заліза та алюмінію, а потім додаючи сульфатну кислоту. Цей розчин витримували близько 8 годин, а потім використовували як готовий коагулянт.

Бактеріологічний аналіз для визначення загального мікробного числа при кімнатній температурі та при температурі 37°C, індексу БГКП (бактерії групи кишкової палички) , патогенних ентеробактерій, було проведено за методикою згідно з СанПіН 2.1.4.559-96.

Воду при перемішуванні обробляли розрахованими дозами коагулянтів і відстоювали протягом 40 хвилин. Утворений осад відділяли за допомогою фільтру (як фільтр використовувався паперовий фільтр марки Ф 75 г/м<sup>3</sup> з розміром пор 4...12 мкм), а в фільтраті визначали кольоровість, каламутність, хлориди, карбонати, гідрокарбонати, хімічне споживання кисню (ХСК), рН, фосфати. Такі показники як рН, кольоровість та каламутність води визначалися і до фільтрування після внесення коагулянтів в розчин.

Показник рН визначався інструментальним методом, кольоровість, каламутність, фосфати – фотометричним методом, хлориди, ХСК, карбонати, гідрокарбонати – титрометричним методом.

Аналіз проводився при температурі +22 °С.

### Результати дослідів та їх обговорення

У табл. 1 показано результати бактеріологічного аналізу до та після додавання до розчину порошку з насіння. Згідно з цими даними початкове значення загальної кількості бактерій було 20 КУО/см<sup>3</sup> та 50 КУО/см<sup>3</sup> при кімнатній температурі та при 37°C відповідно.

Таблиця 1

### Результати бактеріологічного дослідів із застосування порошку з насіння *Moringa oleifera*

№ зразка дослідів	Характеристика зразка води, період часу відбору	Загальне бактеріологічне число, КУО/см <sup>3</sup>		Індекс БГКП	Патогенні бактерії
		Кімнатна температура	37°C		
1	Без додавання насіння, проба була відібрана одразу	20	50	< 500	Не виявлено
2	+ насіння, після 2,5 годин після зразку №1	10	10	< 500	Не виявлено
3	+ насіння, після 2,5 годин після зразку №2	10	10	< 500	Не виявлено
4	+ насіння, після 2,5 годин після зразку №3	10	10	< 500 при 37°C 10 <sup>-1</sup> см <sup>3</sup> г/л (к)	Не виявлено
5	+ насіння, після 2,5 годин після зразку №4	10	10	< 500	Не виявлено
6	+ насіння, після 2,5 годин після зразку №4	10	10	< 500	Не виявлено

Істотні бактерицидні властивості порошку з насіння *Moringa Oleifera* пояснюються вмістом в них амінокислот гуанідинової групи, що мають здатність до знезараження.

Після додавання порошку з насіння до розчину ми бачимо, що загальне мікробне число знизилось зі значення 50 КУО/см<sup>3</sup> до 10 КУО/см<sup>3</sup>. Ці данні підтверджують ефективні бактерицидні властивості насіння *Moringa Oleifera*.

Всі показники неочищеної води, що були встановлені як контрольні для порівняння з ефективністю застосування досліджуваних коагулянтів, а саме порошку з насіння *Moringa Oleifera* та синтетичного коагулянту зі шламу від виробництва глинозему наведені в табл. 2.

Таблиця 2

**Показники води до очищення**

Показник	К.р-н
pH	7,96
Кольоровість до фільтрування, градуси ПКШ	157°
Кольоровість після фільтрування, градуси ПКШ	96,3°
Каламутність до фільтрування, мг/дм <sup>3</sup>	76
Каламутність після фільтрування, мг/дм <sup>3</sup>	20,5
ХСК, мг/дм <sup>3</sup>	8
Cl <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	1780
CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	150
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	419
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,428

Для зменшення витрати реагентів було застосовано коагулянти в різних дозах, щоб у подальшому визначити ефективному дозу їх застосування. Залежність зміни каламутності води від додавання коагулянту на рис. 1, а залежність зміни кольоровості води від дози коагулянту – на рис. 2.

Як видно з рис.1, до фільтрування найбільш ефективним виявився аквадон з дозою 10 мг/л. Порошок з насіння та коагулянт зі шламу навпаки підвищили значення каламутності. Ефективним також виявився сульфат алюмінію при 30 мг/л.

На рис. 2 показана залежність кольоровості води від дози коагулянту застосування фільтрування. Отже, найбільш ефективним у зниженні показника кольоровості до фільтрування є сульфат алюмінію з дозою 30 мг/л. Порошок з насіння та коагулянт зі шламу підвищують цей показник, особливо коагулянт зі шламу, який в 4,5 рази збільшує значення кольоровості до фільтрування.

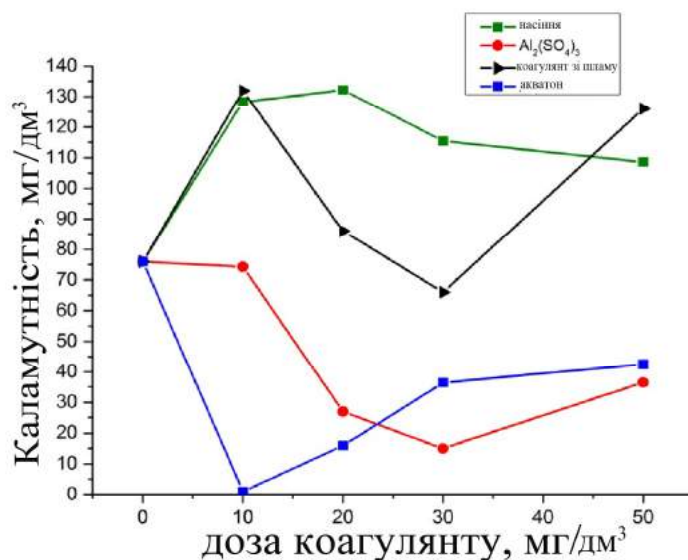


Рис. 1. Залежність зміни каламутності води від дози коагулянту до фільтрування

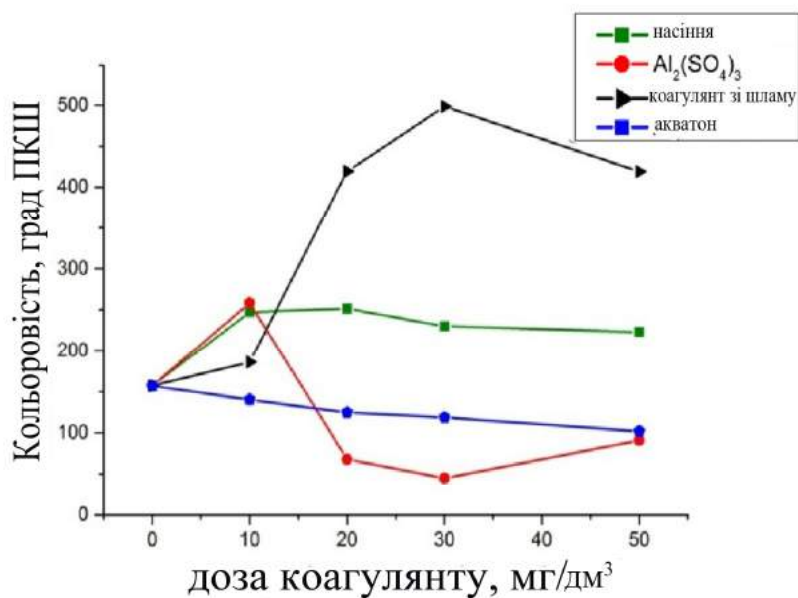


Рис. 2. Залежність зміни кольоровості води від дози коагулянту до фільтрування

Рис. 3, 4 показують залежність показників каламутності та кольоровості від дози коагулянтів після фільтрування. Згідно з рис. 3 порошок з насіння та коагулянт зі шламу знижують каламутність, при чому ефективнішим з цих двох виявився синтетичний коагулянт при концентрації 20 мг/л. Аналогічний результат показав сульфат алюмінію. Рис. 4 показує, що всі коагулянти знизили показник кольоровості води. Коагулянт зі шламу знизив в 10 разів цей показник при дозі 20 мг/л.

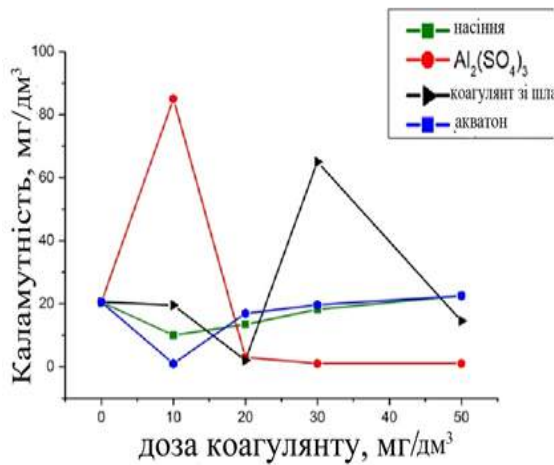


Рис. 3. Залежність зміни каламутності після фільтрування від дози коагулянту

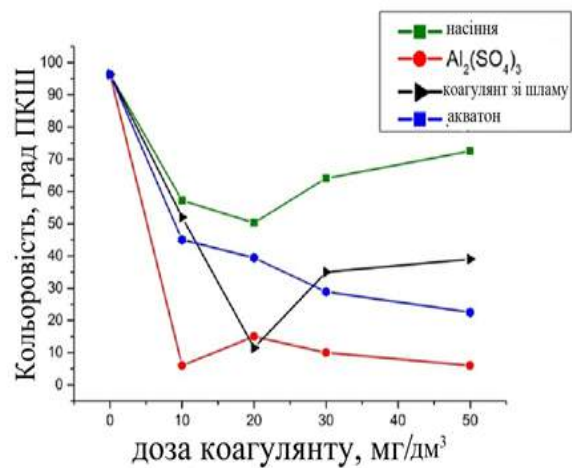


Рис. 4. Залежність зміни кольоровості після фільтрування від дози коагулянту

Рис. 5 а, б, в, г, д показують ефективність очищення води коагулянтами від фосфатів, хлоридів, карбонатів та гідрокарбонатів, а також значення водневого показника. Як видно з графіків, найефективніше видаляє фосфати коагулянт зі шламу (доза 10 мг/л), а порошок з насіння через свій хімічний склад підвищує цей показник (доза 50 мг/л). Найменша концентрація хлоридів при дозі 50 мг/л порошку з насіння, але при певних дозах (10...30мг/л) підвищують значення карбонатів та гідрокарбонатів, тому доцільною є доза в 50 мг/л. Порошок з насіння не має суттєвого впливу на рН, коагулянт знижує його до 6,27 при максимальній дозі.

### Висновки

У ході проведених експериментальних досліджень виявлена ефективність очищення води природним коагулянтом з насіння *Moringa oleifera* та синтетичного коагулянту зі шламу виробництва глинозему, визначено їх оптимальні дози для видалення забруднюючих речовин, а також показані бактерицидні властивості порошку з насіння і доцільність його застосування для очищення питної води.

Показано, що природний коагулянт з порошку з насіння *Moringa oleifera* завдяки своєму хімічному складу здатен знижувати загальну кількість бактерій у 5 разів, а також очищувати воду від забруднюючих речовин. Недоліком є підвищення значення ХСК та фосфатів після його додавання до розчину, що свідчить про високий вміст фосфатів у самому насінні. Важливо, що цей коагулянт не має значного впливу на показник рН.

Коагулянт зі шламу можна застосувати, щоб компенсувати недолік застосування природного коагулянту. Він виявився найбільш ефективним в зниженні показників каламутності та кольоровості води, оптимальною дозі для зниження концентрації карбонатів та гідрокарбонатів виявилась 30 мг/л.

Застосовуючи цей синтетичний коагулянт, можна вирішити 2 проблеми одночасно: перша – проблема утилізації токсичних відходів від виробництва глинозему, друга – проблема забруднення води.

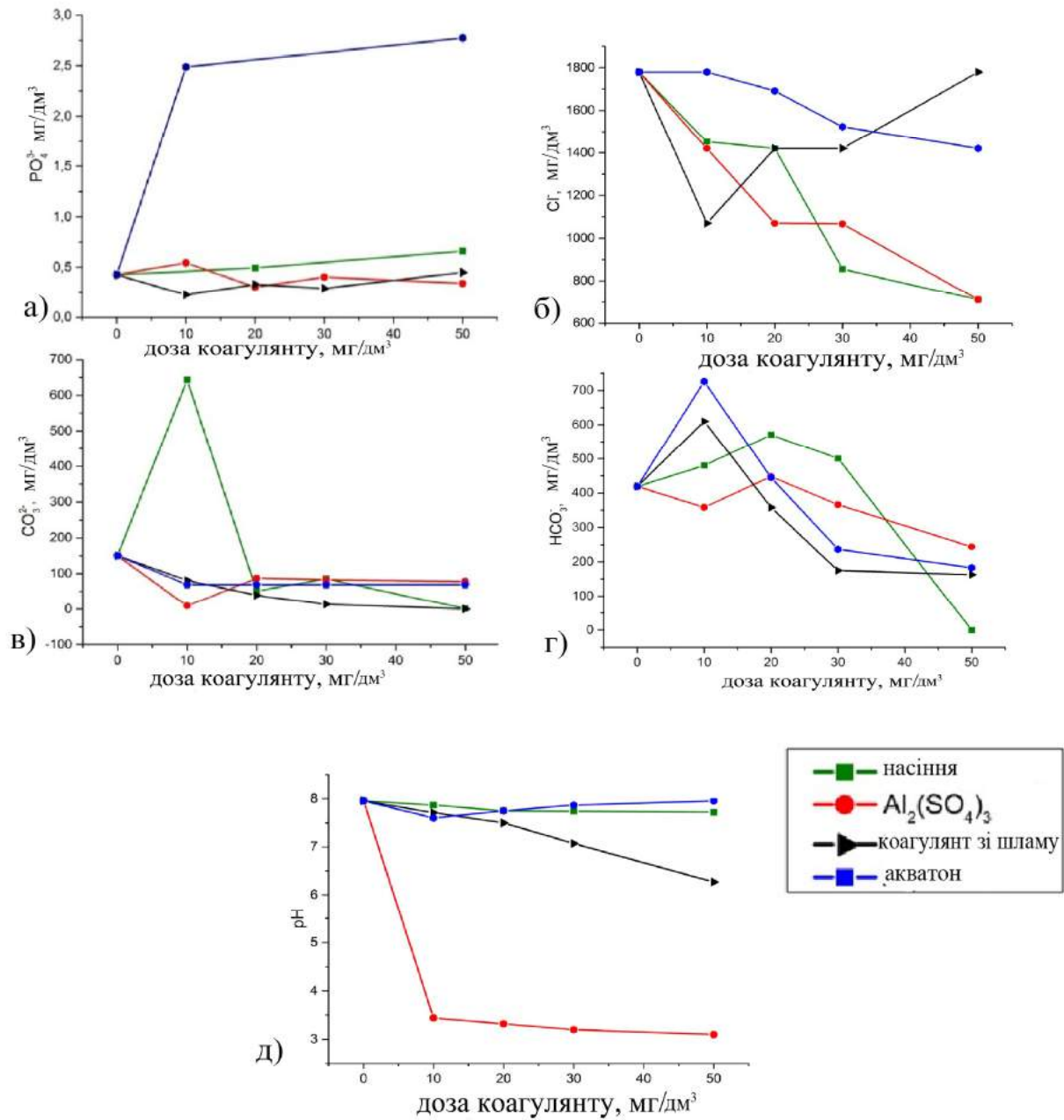


Рис. 5. Залежність ступеня очищення води від дози коагулянтів:  
 а) фосфати; б) хлориди; в) карбонати; г) гідрокарбонати; д) рН

Застосування цих типів коагулянтів є економічно та екологічно вигідним, бо їх показники в деяких випадках навіть кращі за показники при застосування сульфату алюмінію, осад якого після очищення є токсичним, на відмінну від застосування порошку з насіння та коагулянту зі шламу.



### Список літератури

1. *Запольский А.К., Баран А.А.* Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение. Л.: Химия, 1987. 203 с.
2. *Душкин С.С.* Способ подготовки воды с использованием в качестве коагулянта соли алюминия. Харьков, 2001. 45 с.;
3. *Гончарук В.В.* Коллоидно-химические аспекты использования основных солей алюминия в водоочистке // Химия и технология воды, 1999. Т. 21, № 1. С. 52-87;
4. *Запольский А.К.* Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды. Л.: Химия, 1987. 204 с.
5. *Хижняк О.О.* Використання коагулянтів для очищення води від бактерій // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки, 2014. №1(65) С. 134;
6. *A. Ndabigengesere, K.S. Narasiah.* Quality of water treated by coagulation using *Moringa oleifera* seeds, *Water Res.* 32, 1998. 781 p.;
7. *Хижняк, О. О.* Знезаражування води для харчової промисловості // Наукові вісті НТУУ «КПІ», 2007. №5 С. 129-135.

*Надійшло до редакції 18.11.2016*