

**А. В. ЯЦИШИН**, д-р техн. наук, с. н. с., Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ;

**О. О. ПОПОВ**, канд. техн. наук, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України», Київ;

**В. О. АРТЕМЧУК**, канд. техн. наук, Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, Київ

## **МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАВКОЛИШНЬОГО ПРИРОДНОГО СЕРЕДОВИЩА**

В статті виконано аналіз кількісних методів вимірювання параметрів навколишнього природного середовища, до яких відносяться хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні методи. Здійснено класифікацію кожного із зазначених методів кількісного аналізу. Визначені умови та межі застосування даних методів. Показано їх основні переваги та недоліки.

**Ключові слова:** кількісний аналіз, метод вимірювання, параметри, навколишнє природне середовище.

**Вступ.** В Україні та інших розвинутих країнах світу для комплексної оцінки стану навколишнього природного середовища (НПС) під впливом природних процесів і людської діяльності використовуються системи моніторингу довкілля.

Моніторинг здійснюється з метою вивчення та прогнозування змін НПС і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо прийняття управлінських рішень з питань екологічної безпеки, запобігання виникнення аварій та катастроф, захисту населення і територій у разі надзвичайних ситуацій природного та антропогенного (техногенного) походження, збереження якості природного середовища та вирішення задач раціонального природокористування [1, 2].

Прогрес у дослідженнях НПС пов'язаний з рівнем розвитку сучасних методів та засобів вимірювань його параметрів. На сьогоднішній день для дослідження довкілля використовуються різні сучасні методи.

Метою роботи є порівняльний аналіз найбільш відомих сучасних кількісних методів дослідження довкілля, які використовуються для вимірювання параметрів НПС, а також здійснення їх класифікації та визначення умов та меж застосування.

**Класифікація і характеристика основних методів спостереження.** Методи дослідження поділяють на якісні і кількісні. Завданням якісного аналізу є виявлення певного хімічного елемента або сполуки чи встановлення складу досліджуваної речовини, кількісного – визначення кількісного вмісту речовини в досліджуваній пробі або встановлення кількісних співвідношень між складовими частинами речовини. Якісний аналіз зазвичай передуює кількісним визначенням.

На основі вимірюваних параметрів методи кількісного аналізу поділяють на хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні. На рис. 1 представлена більш детальна класифікація методів кількісного аналізу [3, 4].

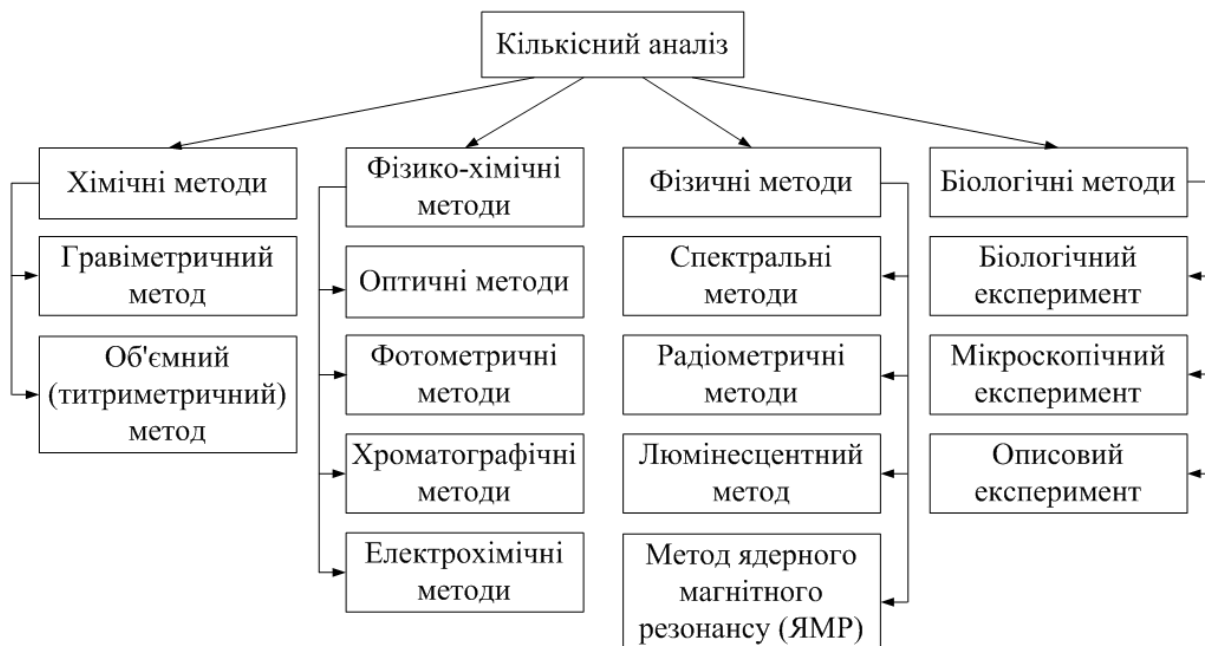


Рис. 1–Класифікація методів кількісного аналізу

**Хімічні методи** ґрунтуються на використанні хімічних реакцій для визначення складу системи. Так, використовуючи реакцію, характерну для певного іона з утворенням пофарбованого комплексу, осаду, малодисоційованої сполуки, можна провести якісний і кількісний хімічний аналіз.

Кількісне визначення речовини хімічними методами складається з трьох етапів.

*Перший етап* – відмірювання певної кількості речовини для аналізу. Для цього речовину зважують або вимірюють об'єм її розчину.

*Другий етап* – проведення хімічної реакції, у результаті якої компонент, що його визначають, перетворюється на сполуку з певними хімічними та фізичними властивостями.

*Третій етап* – вимірювання показника якоїсь фізичної властивості, за значенням якого роблять висновок про кількість визначуваного компонента.

У табл. 1 наведено характеристики основних методів кількісного аналізу [5-7].

**Гравіметричний (ваговий) метод.** Метод ґрунтується на кількісному переведенні визначуваного компонента в малорозчинну сполуку і зважуванні продукту після виділення, промивання, висушування чи прожарювання. Гравіметричний аналіз є найбільш точним з хімічних методів аналізу. Царина його використання дуже широка, оскільки кожен елемент (за одиничними винятками) утворює ті чи інші важкорозчинні сполуки, у вигляді яких він може бути кількісно визначений ваговим методом. Однак цей метод має також дуже істотний недолік, який полягає в значній тривалості вагових визначень. Результати аналізу отримуються при ньому в кращому разі через кілька годин, найчастіше ж аналіз завершується лише наступного дня. Таке повільне виконання аналізів часто не відповідає потребам практики.

**Об'ємний (титриметричний) метод.** Цей метод аналізу ґрунтується на вимірюванні об'єму розчину реагенту відомої концентрації, витраченого на

взаємодію з аналізованою речовиною за умови, що речовини вступають у реакцію у стехіометричних кількостях.

Таблиця 1– Характеристика основних методів кількісного аналізу

№	Метод	Межа відкриття	Визначенні інгредієнти об'єктів природного навколишнього середовища		
			Ґрунти, донний мул	Природні води	Повітря
1.	Гравіметричний	$10^{-4}$	Вологість, мінеральні залишки, $\text{SiO}_2$ , $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , вуглеводні	$\text{SO}_4^{-2}$ , нафтопродукти, мінеральний залишок, завислі частинки	Вміст пилу
2.	Об'ємний (титрометричний)	$10^{-3}$	$\text{CO}_3^{-2}$ , $\text{HCO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , Ca, Mg	Кисень, $\text{CO}_2$ , $\text{CO}_3^{-2}$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{Cl}^-$ , $\text{NH}_4^+$ , твердість води	Кислоти та кислотні оксиди
3.	Фотометричний	$10^{-6}$	$\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{F}^-$ , $\text{PO}_4^{3-}$ , Al, Hg, Cu, $\text{NH}_4^+$	Кольоровість, органічні речовини, $\text{H}_2\text{S}$ , $\text{NO}_2^-$ , $\text{NO}_3^-$ , P, Al, Cu, Fe	$\text{CO}$ , $\text{CS}_2$ , $\text{SO}_2$ , HCl, $\text{HNO}_3$ , Al, Fe, Pb, пестициди, деякі органічні сполуки
4.	Спектральний				
4.1	Полум'яний	$10^{-10}$	Na, K	Li, Na, K, Ca	Li, Cs, K
4.2	Електроскопія видів	$10^{-10}$	Метали, мікроелементи, бор	Li, Na, K, Ca, Sr, Ba, Cu, Pb, Al, Fe	Be
4.3	Атомно-поглинаюча спектроскопія	$10^{-10}$	Cu, Ni, Zn, Hg, Pb, Cr	Ca, Mg, Cu, Pb, Hg	Hg, Cd, Sr, Cu, Pb
5.	Потенціометричний	$10^{-10}$	pH, $\text{F}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , K, Ca	pH, $\text{F}^-$ , $\text{NO}_3^-$ , $\text{Cl}^-$ , Cu, Ca, K, окисно-відновний потенціал	HF, ненасичені органічні сполуки
6.	Люмінесцентний	$10^{-10}$	Нафтопродукти	Нафтопродукти, хлорорганічні ароматичні сполуки, спирти, ацетон	Смоліві речовини, ароматичні вуглеводні
7.	Хроматографічний	$10^{-11}$	Нафтопродукти, хлорорганічні сполуки, вуглеводні, пестициди	Na, K, $\text{NH}_4^+$ , Mg, Ca, $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , органічні сполуки	$\text{CO}$ , $\text{CO}_2$ , $\text{Cl}_2$ , $\text{SO}_2$ , $\text{CCl}_4$ , Cu, Al, органічні сполуки
8.	Радіоізотопний	$10^{-15}$	Sr-90, Cs-137, U-238	Sr-90, Cs-137, U-238, Pu-239	Sr-90, Cs-137

За швидкістю виконання об'ємний аналіз має значну перевагу перед ваговим аналізом. Зіставлення об'ємного аналізу із гравіметричним показує, що замість тривалих і кропітких операцій: осадження (з подальшим дозріванням осаду),

фільтрування, промивання, прожарювання пустого тигля й тигля з осадом тощо за об'ємного аналізу проводять лише одну операцію – титрування. Точність об'ємних визначень зазвичай дещо менша, ніж точність гравіметричних, оскільки зважування на аналітичних вагах дещо точніше, аніж точне вимірювання об'ємів бюреткою.

За своїм характером реакції, які використовують в об'ємному аналізі, належать до різних типів. З огляду на це, об'ємні визначення можна поділити на такі основні методи: метод нейтралізації, методи окиснення-відновлення, методи осадження й комплексутворення [6–8].

**Фізико-хімічні методи.** Фізико-хімічні методи ґрунтуються на залежності фізичної властивості від хімічного складу аналізованого середовища.

Фізичні й фізико-хімічні методи об'єднує спільна назва інструментальні методи аналізу. Методика проведення фізико-хімічних аналізів переважно однакова і зводиться до такого:

- залежно від аналізованої системи обирається необхідний метод аналізу;
- готується ряд стандартних розчинів (серій);
- вимірюються фізичні властивості розчинів на відповідному приладі;
- за отриманими даними будується калібрувальний графік у координатах склад – властивість;
- вимірюється фізична властивість аналізованого зразка й за графіком визначається його склад.

Залежно від використовуваного фізичного явища фізико-хімічні методи аналізу поділяються на оптичні, фотометричні, електрохімічні, хроматографічні (табл. 2). Чутливість фізико-хімічних методів визначається двома факторами: інтенсивністю вимірюваної фізичної властивості і чутливістю детекторів сигналу в приладі [1, 5–7].

**Оптичні методи.** В основі оптичних методів аналізу лежить зв'язок між оптичними властивостями системи та її складом. До оптичних методів аналізу належать рефрактометрія, інтерферометрія та поляриметрія.

**Фотометричні методи.** Фотометричний аналіз ґрунтується на переведенні визначуваного елемента в забарвлену сполуку й вимірюванні оптичної густини отриманого розчину. Точність методу й частково чутливість та специфічність залежать від способу вимірювання.

Залежно від способу вимірювання розрізняють такі методи фотометричного аналізу: спектрофотометрія, фотоколометрія, фотонелометрія, фототурбидиметрія, нефелометричний та турбидиметричний методи.

**Електрохімічні методи.** Електрохімічні методи аналізу ґрунтуються на взаємозв'язку електрохімічних властивостей системи з її складом. Електрохімічні методи базуються на взаємодії речовини з електричним струмом і навпаки. До електрохімічних методів належать: електроваговий аналіз, потенціометричний аналіз, кондуктометричний аналіз, полярографічний метод, амперометричне титрування, кулонометричний метод.

Таблиця 2 – Класифікація основних фізико-хімічних методів аналізу

№	Методи аналізу	Вимірюване фізичне явище	Вимірювана фізична величина
1.	Оптичні		
1.1	Рефрактометрія	Заломлення світла	Показник заломлення
1.2	Інтерферометрія	Інтерференція світла	Різниця показників заломлення
1.3	Поляриметрія	Обертання площини поляризації світла речовиною	Питоме обертання
2.	Фотометричні		
2.1	Спектрофотометрія	Поглинання молекулами та іонами, які містяться в розчині монохроматичного випромінювання	Інтенсивність світлового потоку, що пройшов крізь розчин
2.2	Фотоколориметрія	Поглинання розчином забарвленої речовини поліхроматичного випромінювання	Інтенсивність світлового потоку, що пройшов крізь розчин
2.3	Фотонейлометрія	Розсіювання і відбивання світлового потоку суспензією або колоїдним розчином	Інтенсивність світлового потоку, розсіяного суспензією речовини
2.4	Фототурбидиметрія	Розсіювання і відбивання світлового потоку суспензією або колоїдним розчином	Інтенсивність світлового потоку, що пройшов крізь шар суспензії
3.	Електрохімічні		
3.1	Потенціометрія	Вимірювання електродних потенціалів системи у процесі хімічної реакції	Електродний потенціал
3.2	Кондуктометрія	Вимірювання електропровідності розчину у процесі хімічної реакції	Електропровідність, електроопір
3.3	Полярографія	Поляризація електроду	Сила струму, напруга
3.4	Кулонометрія	Вимірювання кількості струму, що затрачається на електродну реакцію	Кількість струму
4.	Хроматографічні		
4.1	Газова	Вибіркова адсорбція	Показник розподілу речовин (хроматографічний пік)
4.2	Розподільча	Вибіркова адсорбція	Коефіцієнт розділення речовин
4.3	Тонкошарова	Вибіркова адсорбція	Коефіцієнт розділення речовин

**Хроматографічні методи.** Хроматографічний аналіз – метод розподілу, якісного виявлення та кількісного визначення компонентів рідких і газоподібних сумішей, що ґрунтується на різному їхньому розподілі між рухомою і нерухомою фазами.

Залежно від фізико-хімічної природи взаємодії речовин, котрі розділяються, між рухомою і нерухомою фазами, розрізняють такі найважливіші види хроматографії: іонообмінна, адсорбційна, розподільча, осадочна, гель-хроматографія, лігандна (ліганднеобмінна).

Перелічені види хроматографії належать до рідинної хроматографії (рухома фаза – рідина). Крім цього, існує газова хроматографія, в якій рухомою фазою є газова, а нерухома фаза може бути твердою або рідкою.

**Фізичні методи.** Фізичними методами визначається властивість, що безпосередньо залежить від природи атомів та їхньої концентрації в системі, наприклад інтенсивність радіоактивного випромінювання [4, 6].

При застосуванні фізичних методів аналізу якісне виявлення або кількісне визначення складових частин речовини проводять спостереженням або вимірюванням певних показників її фізичних властивостей. У фізичних методах хімічних реакцій немає або ж вони мають другорядне значення. Спільним для фізичних і фізико-хімічних методів аналізу є використання більш-менш складної апаратури для вимірювання оптичних, електричних або інших властивостей речовини. Залежно від досліджуваного фізичного явища і вимірюваної фізичної властивості ці методи аналізу поділяються: на спектральний, радіометричний, рентгеноспектральний, люмінесцентний аналіз, метод ядерного магнітного резонансу.

**Спектральний аналіз.** Спектральний аналіз – це метод аналізу, який ґрунтується на вивченні складу та будови речовини за її спектром, який випромінюється збудженими атомами й молекулами.

Найважливішими особливостями спектрального аналізу є висока чутливість визначення деяких елементів: швидкість, об'єктивність, універсальність. Недоліками спектрального аналізу є вплив структури і хімічної неоднорідності аналізованих матеріалів на результати визначення; відсутність стабільних джерел збудження спектрів, а також важкість еталонування.

**Люмінесцентний аналіз** ґрунтується на здатності речовин випромінювати світло під дією різних збудників.

Залежно від способу збудження люмінесценцію поділяють на: фотолюмінесценцію (збудження за допомогою ультрафіолетового випромінювання або видимого світла), катодолюмінесценцію (збереження за допомогою катодних променів) та хемілюмінесценцію (збереження за рахунок енергії хімічної реакції).

Люмінесцентним методом аналізують природні і стічні води, повітря, ґрунт, продукти, визначають нафтопродукти – до 0,005 мг/л, феноли – 0,0005 мг/л, кадмій – 0,0005 мг/л, мідь – 0,05 мг/л, у питній воді – свинець до концентрації 0,005 мг/л, бензпірен – 0,00002 мг/л [1, 5].

**Радіометричний аналіз.** Ґрунтується на виявленні й вимірюванні як природної, так і штучної радіації [4].

Використовуючи природну радіоактивність, кількісно визначають понад 20 хімічних елементів, зокрема уран, торій, радій, актиній. Калій можна визначити у воді в концентрації 0,05 моль/л.

Радіонукліди використовують для виявлення пошкоджень у газопроводах, місць витікання води з магістральних колекторів стічних каналізаційних вод.

Метод ізотопного розбавлення полягає у введенні ізотопу визначуваного елемента в аналізований розчин, що набуває активності, потім цей елемент переводять в осад (екстрагують, хроматографують) і визначають активність

розчину після його видалення. За різницею визначають активність осаду (екстракту, елюату) й обчислюють вміст компонента в зразку.

Рентгеноспектральний аналіз ґрунтується на послабленні інтенсивності рентгенівського випромінювання під час проходження крізь пробу. У рентген-флуоресцентному аналізі на пробу діє первинне рентгенівське випромінювання, під впливом якого виникає вторинне рентгенівське випромінювання проби, характер якого залежить від якісного та кількісного складу аналізованої речовини.

**Метод ядерного магнітного резонансу (ЯМР)** відображає взаємодію магнітного моменту ядра молекули речовини із зовнішнім магнітним полем. Метод дає змогу працювати в широкому діапазоні концентрацій, зокрема визначати вміст різних форм алюмінію та інших металів у природних водах.

**Біологічні методи.** Основу біологічних та біохімічних методів дослідження становлять реакції рослин, тварин і мікроорганізмів на дію певного чинника. Зміни можуть відбуватися на різному рівні.

Біоіндикація – це оцінка стану довкілля за реакцією живих організмів.

Біоіндикатори – живі організми, за наявністю, станом і поведінкою яких можна робити висновки про ступінь зміни довкілля, у тому числі про наявність забруднювальних речовин. Живі індикатори мають істотні переваги, вони підсумовують усі без винятку біологічно важливі дані про забруднення, вказують швидкість змін, що відбуваються, шляхи і місця накопичень в екосистемах різних токсикантів дозволяють судити про ступінь шкідливості певних речовин для живої природи й людини [6, 8].

Як біоіндикатори використовують тварин, рослини, бактерії, віруси.

Особливо чутливими індикаторами забруднення повітря є лишайники і мохи, ураховуючи особливості їхньої біології та фізіології.

З декоративних рослин найбільш достовірними індикаторами антропогенного забруднення атмосферного повітря є гладіолус, тюльпан, нарцис, конвалія. Гарними індикаторами на озон слугують найбільш чутливі сорти тютюну, томати цитрусові.

Для виявлення забруднень повітряного середовища і ґрунту видом-індикатором може також слугувати сосна. У корі, деревині і хвої можуть накопичуватися забруднювальні речовини, які впливають на ріст і життєдіяльність дерева.

Для визначення забруднення різних водоймищ як рослини-індикатори використовують різні рослини родини ряскових. Ряскові плавають на поверхні води або ледь занурені у воду і мають високу чутливість до забруднення водного середовища.

З метою контролю стану поверхневих природних вод використовують також численні методи біотестування: зміну статичного стану п'явки медичної на динамічний; виживання та плодючість дафній магна; біолюмінесценцію окремих видів бактерій тощо.

**Висновки.** Для управління екологічною безпекою на техногенно-навантажених територіях в усіх розвинутих країнах світу функціонують системи моніторингу довкілля різного рівня. Основою прийняття управлінського рішення є початкові дані моніторингу – параметри стану навколишнього природного

середовища, які отримують за допомогою різних методів.

В статті виконано аналіз хімічних, фізико-хімічних, фізичних та біологічних методів вимірювання параметрів навколишнього природного середовища. Представлена їх класифікація та показано їх основні переваги та недоліки.

**Список літератури:** 1. *Баженов, В. А.* Інженерна екологія: Підручник з теорії і практики сталого розвитку [Текст] / *В. А. Баженов, В. М. Ісаєнко, Ю. М. Саталкін та ін.* – К. : НАУ, 2006. – 492 с. 2. *Бондар, О. І.* Моніторинг навколишнього середовища [Текст] : навч. пос. / *О. І. Бондар, І. В. Корінько, В. М. Ткач, О. І. Федоренко.* – К.; Х.: ДЕІ-ГТІ, 2005. – 126 с. 3. *Израэль Ю.А.* Экология и контроль состояния природной среды [Текст] / *А.Ю. Израэль.* – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 560 с. 4. *Коваленко Г.Д.* Основи радіоекології [Текст] : навч. посіб. / *Г.Д. Коваленко, В.С. Волошин.* – Маріуполь : Вид. ПДТУ, 2003. – 138 с. 5. *Масікевич Ю.Г.* Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища [Текст] / *Ю.Г. Масікевич, С.О. Гринь, Г.М. Герещун та ін.* – Чернівці, Зелена Буковина, 2005. – 341 с. 6. *Ісаєнко В.М.* Моніторинг і методи вимірювання параметрів навколишнього середовища [Текст] : навч. посібник / *В.М. Ісаєнко, Г.В. Лисиченко, Т.В. Дудар та ін.* – К. : Вид-во Нац. авіа. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 312 с. 7. *Посудін Ю.І.* Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища [Текст] / *Ю.І. Посудін.* – К. : Світ, 2003. – 288 с. 8. *Франчук Г.М.* Урбоекологія і техноекологія [Текст] : навч.-метод. посіб. / *Г.М. Франчук, В.М. Ісаєнко, О.І. Запорожжєць.* – К. : НАУ, 2004. – 200 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Bazhenov, V. A., Isaenko, V. M., Satalkin, Yu. M.* (2006). *Inzhenerna ekologiya: Pidruchnik z teorii i praktiki stalogo rozvitku.* Kiev: NAU, 492. 2. *Bondar, O. I., KorInko, I. V., Tkach, V. M., Fedorenko, O. I.* (2005). *MonItoring navkolishnogo seredovischa.* Kiev; Kharkov: DEI-GTI, 126. 3. *Izrael, Yu. A.* (1984). *Ekologiya i kontrol sostoyaniya prirodnoy sredyi.* Leningrad: Gidrometeorizdat, 560. 4. *Kovalenko, G. D.* (2003). *Osnovi radioekologiyi: Navch. posib.* Mariupol: Vid. PDTU, 138. 5. *MasIkevich, Yu. G., Grin, S. O., Geretsun, G. M. ta in.* (2005). *Metodi vimiryuvannya parametriv navkolishnogo seredovischa.* ChernIvtsI: Zelena Bukovina, 341. 6. *Isaenko, V. M., Lisichenko, G. V., Dudar, T. V. ta in.* (2009). *Monitoring i metodi vimiryuvannya parametriv navkolishnogo seredovischa : navch. posibnik.* Kiev: Vid-vo Nats. avia. un-tu «NAU-druk», 312. 7. *Posudin, Yu. I.* (2003). *Metodi vimiryuvannya parametriv navkolishnogo seredovischa.* Kiev: Svit, 288. 8. *Franchuk, G.M., Isaenko V. M., Zaporozhets, O.I.* (2004). *Urboekologiya i tehnoekologiya: Navch.-metod. posib.* Kiev: NAU, 200.

*Надійшла (received) 20.09.2014*