

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ХІМІЯ ВОДИ І МІКРОБІОЛОГІЯ

Методичні вказівки до лабораторних робіт
для бакалаврів водних ресурсів 6.092601
"Водопостачання та водовідведення",
та бакалаврів-будівельників 6.092109
"Споруди та обладнання водопостачання
і водовідведення" денної форми навчання

Київ 2003

УДК 628.1
ББК 38.761+51.21
Х46

Укладачі: В.Ф. Накорчевська, канд. техн. наук, професор,
Т.В. Аргатенко, канд. техн. наук, асистент

Рецензент В.Ф.Малько, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск А.М.Тугай, д-р техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри водопостачання, протокол №10
від 03.03.2003р.*

Видається в авторській редакції.

Хімія води і мікробіологія: Методичні вказівки до лабораторних робіт.
Х46 / Уклад.: В.Ф. Накорчевська, Т.В. Аргатенко. – К.: КНУБА, 2003. – 40 с.

Подано методики виконання деяких видів хімічного, технологічного та санітарно-бактеріологічного аналізу природних і стічних вод.

Призначено для бакалаврів водних ресурсів ” 6.092601 “Водопостачання та водовідведення бакалаврів-будівельників 6.092109 “Споруди та обладнання водопостачання і водовідведення” денної форми навчання.

ЗМІСТ

Загальні положення.....	3
1. Види аналізів води.....	6
1.1. Хімічний аналіз води.....	6
1.2. Бактеріологічний аналіз води.....	9
1.3. Технологічний аналіз води.....	10
2. Визначення фізичних показників якості води.....	11
Лабораторна робота №1. Температура води.....	11
Лабораторна робота №2. Вміст завислих речовин.....	11
Лабораторна робота №3. Забарвлення води.....	15
Лабораторна робота №4. Запах води.....	17
Лабораторна робота №5. Смак води.....	18
3. Визначення хімічних показників якості води.....	19
Лабораторна робота №6. Активна реакція води(pH).....	19
Лабораторна робота №7. Жорсткість води.....	21
Лабораторна робота №8. Лужність води.....	23
Лабораторна робота №9. Окиснюваність води.....	24
Лабораторна робота №10. Залізо у природних водах.....	27
Лабораторна робота №11. Визначення силікатів.....	29
4. Технологічний аналіз води.....	30
Лабораторна робота №12. Визначення оптимальної дози коагулянту.....	30
Лабораторна робота №13. Порівняння ефективності коагулювання різними коагулянтами в зимовий період.....	33
Лабораторна робота №14. Визначення оптимальної дози хлору.....	34
Список літератури.....	37

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Студенти, які набувають спеціальностей “Водопостачання та водовідведення” та “Споруди та обладнання водопостачання і водовідведення”, поряд з іншими дисциплінами вивчають питання очищення природних та стічних вод. Теоретичною основою цих дисциплін є курс “Хімія води і мікробіологія”, який знайомить студентів із властивостями води як речовини і сировини, що використовується для питних, господарчих і виробничих потреб людини; розкриває фізико-хімічну і біологічну сутність процесів, що відбуваються в спорудах очищення й підготовки природної води та у спорудах, де проходить очищення стічної води і підготовка її для повторного використання.

Зіставляючи якість води джерела і вимоги споживачів до неї, встановлюють необхідність очищення природної води і розробляють технологічну схему її обробки. Аналогічно складають схему очищення й підготовки стічної води, що скидається у водойми чи повторно використовується для виробничих цілей. Якість води визначається складом, концентрацією і властивостями домішок і характеризується показниками, які встановлюються за допомогою аналізу.

Вимоги до якості питної води, сформульовані Державними санітарними правилами і нормами України (ДержСанПіН) “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання”. Різні державні та галузеві стандарти, правила і керівництва регламентують якість води для виробничих цілей і вимоги до стічної води, що скидається у водойми чи повертається у виробництво.

Враховуючи особливу важливість для здоров'я населення якості питної води Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ) розробляє базові нормативи якості води, які видаються у вигляді “Керівництва по контролю якості питної води”. Останні вимоги ВООЗ наведені у [1, 2]. Ці документи включають такі нормативи ВООЗ для питної води:

- мікробіологічні показники;
- неорганічні компоненти;
- радіоактивність;
- органічні показники;
- пестициди і компоненти, які застосовуються або утворюються при дезінфекції води.

Окрім міжнародних нормативів ВООЗ існує Директива з питної води Європейського союзу і перелік забруднювачів води, що є пріоритетними для контролю [1].

З метою використання в національній практиці будь-якої країни науково-технічного і виробничого досвіду економічно розвинених країн створена Міжнародна організація з стандартизації (ISO). У ній для розробки стандартів з якості води існує Технічний комітет ISO/TK 147. “Якість води”. Постійними комісіями (ПК) ISO/TK 147 розробляються такі міжнародні стандарти:

- термінологія (ПК 1);
- фізичні, хімічні і біологічні методи (ПК 2);
- радіологічні методи (ПК 3);
- мікробіологічні методи (ПК 4);
- біологічні методи (ПК 5);
- відбір проб (ПК 6);
- точність аналізу (ПК 7).

Крім ISO, розробку міжнародних стандартів з контролю якості води проводить Європейський комітет з стандартизації (ECS). Для проведення робіт з стандартизації в області контролю якості води, в тому числі і з взаємодії з ISO/TK 147 в ECS створено Технічний комітет ECS/TK 230 “Аналіз води”. Терміни і визначення, які зазвичай використовують при оцінці якості води, а також при відборі проб і їх аналізі, встановлює стандарт ISO 6107.

Оскільки еквівалентність термінології сприяє розумінню і тісному співробітництву спеціалістів різних країн, ці методичні вказівки складені з урахуванням перелічених стандартів.

Методичні матеріали включають основні методики визначення показників якості природних та стічних вод, що можуть стати у нагоді спеціалістам з водопостачання та водовідведення. Більшість визначень показників якості води ґрунтується на міжнародних методиках. Деякі визначення через відсутність необхідної апаратури виконуються за національними методиками. Вони позначені знаком *.

Методичні вказівки складаються з двох розділів. Перший розділ включає лабораторні роботи, які виконуються студентами спеціальностей ВВ (III курс) і СВВ (II курс) в рамках дисципліни “Хімія води і мікробіологія”. У другому розділі подані лабораторні роботи, що виконуються студентами спеціальності ВВ (IV курс) при вивченні дисципліни “Спеціальні питання хімії і мікробіології води”, а також студентами спеціальності ВВ (IV курс) і СВВ (II курс) в рамках дисципліни “Практикум з аналізу якості води”.

Автори цієї методичної розробки висловлюють велику вдячність Зайцевій Валентині Михайлівні за цінні поради при підготовці роботи до видання.

1. ВИДИ АНАЛІЗІВ ВОДИ

Залежно від кількості й точності визначень аналіз може бути *повним*, *скороченим* і *польовим*. При повному санітарно-хімічному аналізі отримують докладну характеристику води поверхневого джерела централізованого водопостачання і артезіанських свердловин, що вводять в експлуатацію. Проводять його в стаціонарних умовах (лабораторіях) найточнішими методами. Аналіз води включає кілька десятків визначень: температура, смак, запах, забарвлення, каламутність, вміст завислих речовин, жорсткість, лужність, pH, вміст хлоридів, сульфатів, нітритів, нітратів, фосфатів, силікатів, аміаку, іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Na^{+} , K^{+} , Al^{3+} , Cu^{2+} , Zn^{2+} , F^{+} , вуглекислоти вільної і зв'язаної, розчиненого кисню, сірководню, щільний залишок, втрата при прожарюванні, окиснюваність, біохімічне споживання кисню (БСК), загальна кількість бактерій і кількість бактерій групи кишкової палички. Крім того, не рідше одного разу на рік проводять аналіз на вміст у воді радіоактивних речовин, сполук стронцію, селену, іонів Mo^{2+} , Be^{2+} , Pb^{2+} , As^{3+} , As^{5+} . При постійному виявленні цих компонентів їх включають у повний аналіз.

Аналіз цілого ряду компонентів води необхідно проводити на місці відбору проб у зв'язку з тим, що вони можуть суттєво змінюватись при зберіганні води. Як правило, на місці відбору проб визначають температуру води, її смак, запах, вміст розчиненого кисню і вуглекислого газу, фосфатів, жорсткість, концентрацію іонів Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , NH_4^{+} , NO_2^{-} , NO_3^{-} . Не пізніше ніж через добу після відбору проби необхідно визначити вміст у воді завислих речовин, pH, каламутність, забарвлення, лужність, окиснюваність, БСК, щільний залишок.

Час проведення аналізів на вміст у воді іонів Na^{+} , K^{+} , SO_4^{2-} , Cl^{-} не лімітується.

До основних аналізів води належать *хімічний*, *бактеріологічний* і *технологічний*.

1.1. ХІМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДИ

Хімічний аналіз води поділяється на *якісний* і *кількісний*.

Завдання якісного аналізу – встановлення якісного складу домішок. Кількісний аналіз дає можливість оцінити кількісний вміст домішок у воді.

Якісний аналіз дає відповідь типу “так-ні”. Його виконують додаванням у дослідну пробу води реактиву (реагенту), який вступає в реакцію з визначуваною домішкою води, що супроводжується характерною зміною системи (поява чи зміна забарвлення, помутніння). В ряді випадків проведення якісного аналізу буває достатнім, щоб установити придатність води для певних цілей. Наприклад, у воді, що використовується для виробництва кіноплівки, не повинно бути заліза. Якщо аналіз показує його присутність у воді, це однозначна відповідь про непридатність води для цього виробництва.

Якісний аналіз також дає можливість правильно обрати метод кількісного аналізу. Більшість методів визначення кількісного вмісту домішок призводять до помилкових результатів у присутності елементів, які мають певний вплив.

Найпоширенішими методами кількісного аналізу є *гравіметричний*, *об'ємний (титриметричний)* та *фізико-хімічний*.

Гравіметричний аналіз виконується додаванням у пробу надлишку реактиву (тобто із запасом), який утворює з визначуваною речовиною малорозчинну сполуку, що дає осад. Останній відфільтровують, висушують, визначають його масу.

Характерною особливістю гравіметричного аналізу є додавання до проби води надлишку реактиву для забезпечення повноти реакції його з визначуваним компонентом. Реактив повинен бути селективним, тобто реагувати тільки з визначуваною домішкою.

Гравіметричний аналіз достатньо громіздкий і вимагає значних витрат часу для отримання результату.

Принцип об'ємного аналізу полягає в тому, що визначувана речовина вступає в хімічну взаємодію з реактивом, який додають у пробу води у вигляді розчину точно відомої концентрації (титрований розчин) і в кількості, що еквівалентна кількості визначуваної речовини. Процес приливання реактиву у аналізовану воду називається титруванням. Кінець реакції між титрованим розчином реактиву і визначуваною речовиною встановлюють за зміною забарвлення індикатора, який додають у воду як допоміжний реактив.

Для обчислення результату аналізу необхідно знати точні *об'єми* розчинів речовин, які беруть участь у реакції (титрованого розчину і проби води). Формула для розрахунку має вигляд:

$$x = \frac{v_1 \cdot N \cdot e \cdot 1000}{v_0},$$

де x – кількість визначуваної речовини, мг/дм³; v_1 – об'єм титрованого розчину, витраченого на титрування проби досліджуваної води, см³; N – молярна концентрація еквівалента реактиву (титрованого розчину), моль/дм³; e – молярна маса еквівалента визначуваного компонента, г/моль; v_0 – об'єм досліджуваної води, що взяли для титрування, см³.

У тих випадках, коли визначувана речовина є у воді в дуже малій кількості, найдоцільнішими є методи фізико-хімічного аналізу. Особливо поширені методи *колориметрії* та *нефелометрії*.

Методами колориметрії концентрацію речовини, якщо вона забарвлена, можна визначити безпосередньо, порівнюючи інтенсивність забарвлення зі стандартом (тобто із розчином з відомою концентрацією речовини). В інших випадках у досліджувану воду додають реактив, який вступає в реакцію з визначуваною речовиною і утворює забарвлену сполуку. Порівнюючи

забарвлення досліджуваної води із стандартом, до якого введено той самий реактив, встановлюють концентрацію визначуваної речовини.

Порівнюючи інтенсивності забарвлення, використовують головним чином такі методи: метод *кольорової шкали*, метод *порівняння забарвлення*, *фотоколориметричний*.

При використанні методу кольорової шкали забарвлення досліджуваної проби води порівнюється із забарвленням серії стандартних розчинів, виготовлених таким самим способом. Аналіз виконується у скляних посудинах, які заповнюються досліджуваною водою і стандартними розчинами. Концентрація визначуваної речовини у воді дорівнює концентрації стандартного розчину, з кольором якого збігається колір проби води.

При застосуванні методу порівняння забарвлення порівнюється інтенсивність забарвлення проби води і стандартного розчину, які можуть значно різнитися між собою. Порівняння проводять у спеціальних колориметричних циліндрах (*циліндри Генера*) із маленькими кранами, що розміщені у нижній частині циліндра. Висоту стовпа рідини в кожному циліндрі регулюють через відливання таким чином, щоб інтенсивності кольорів у обох циліндрах при розгляданні рідини зверху зрівнялись.

При досягненні однакової інтенсивності забарвлення мають місце співвідношення

$$C_{\text{ст}} \cdot h_{\text{ст}} = C_{\text{в}} \cdot h_{\text{в}} \quad \text{та} \quad C_{\text{в}} = \frac{C_{\text{ст}} \cdot h_{\text{ст}}}{h_{\text{в}}},$$

де $C_{\text{ст}}$ і $C_{\text{в}}$ – концентрації відповідно стандартного розчину і досліджуваної води; $h_{\text{ст}}$ і $h_{\text{в}}$ – висота стовпа відповідно стандартного розчину і води.

Фотоколориметричний метод визначення концентрації речовини заснований на вимірюванні інтенсивності світлового потоку (*коефіцієнт пропускання*), який пройшов крізь забарвлений розчин.

Для вимірювання коефіцієнта пропускання використовують фотоколориметри різних моделей (ФЕК, КФК-2, КФО та ін.).

Проведення фотоколориметричних вимірювань на колориметрі фотоелектричному однопроменевому (КФК) полягає у вимірюванні співвідношення двох потоків – повного й того, що пройшов крізь вимірюване середовище.

На фотоприймач по черзі направляються світлові потоки: повний Φ_0 і пропущений крізь досліджувану пробу води Φ .

Коефіцієнт пропускання T досліджуваної води, який показує співвідношення цих потоків, визначається як відношення відповідних фотострумів I безпосередньо за шкалою мікроамперметра, тобто

$$T = \frac{I}{I_0} \cdot 100\%,$$

де I_0 , I – фотоструми, які відповідають відповідно повному світловому потоку Φ_0 і світловому потоку Φ , що пройшов крізь досліджувану воду.

Проведенню вимірів передуює підбір поглиначів (світлофільтрів) і вимірювальних кювет. Наявність комплекту поглиначів і кювет дозволяє підібрати такі умови для вимірювань, коли похибка у визначенні концентрації буде найменшою. Світлофільтр для роботи підбирається таким чином, щоб коефіцієнт світлопропускання мав найбільше значення. Вибір кювети здійснюється в залежності від інтенсивності забарвлення досліджуваних розчинів: більшій інтенсивності відповідає менша робоча довжина кювети.

Попередньо будують *градувальний графік*. Для цього готують ряд розчинів визначуваної речовини з відомими концентраціями таким чином, щоб охопити діапазон можливих змін концентрацій в досліджуваному розчині. Потому додають у кожний розчин всі необхідні реактиви для аналізу визначуваної домішки і вимірюють коефіцієнти пропускання T , за якими будують градувальний графік, відкладаючи по осі абсцис відомі концентрації розчинів, а по осі ординат – відповідні їм значення коефіцієнтів пропускання.

Градувальний графік використовують для визначення невідомої концентрації речовини в досліджуваній воді. Для цього досліджувану воду з доданими до неї реактивами наливають у ту саму кювету, за допомогою якої побудована градувальна крива, і, увімкнувши той самий поглинач, вимірюють коефіцієнт пропускання. На графіку знаходять значення коефіцієнту пропускання і відповідну йому концентрацію визначуваної речовини.

Методами хімічного аналізу визначають *фізичні* і *хімічні* показники якості води.

До фізичних показників належать: температура води, вміст завислих речовин, забарвлення, запах і смак; до хімічних – активна реакція води (рН), перманганатна окислюваність, хімічне споживання кисню (ХСК), біохімічне споживання кисню (БСК), наявність азотвмісних речовин, розчинені у воді гази, щільний залишок і втрата при прожарюванні, жорсткість, лужність, вміст у воді сульфатів, хлоридів, заліза, марганцю та інших елементів.

1.2. БАКТЕРІОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

При бактеріологічному аналізі води визначають кількість сапрофітних (нехвороботворних) бактерій і бактерій групи кишкової палички *Escherichia coli*, які характеризують фекальне забруднення води. Розрізняють такі бактеріологічні показники якості води:

1) ЗМЧ – загальна кількість сапрофітних бактерій в 1 см^3 води; цей показник називають також загальним мікробним числом;

2) БГКП (колі-індекс) – кількість бактерій групи кишкової палички, яка міститься в 1 дм^3 води.

1.3. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ

В сучасних умовах отримання води певної якості здійснюється за складною хімічною технологією, в якій застосовується велика кількість різних реагентів, матеріалів, фізичних агентів і різноманітні споруди.

У результаті цих дій властивості води зазнають значних змін, які важко передбачити, але необхідно брати до уваги, щоб забезпечити потрібний ефект очистки. Ці так звані *технологічні властивості* води визначають методами технологічного аналізу. За допомогою такого аналізу серед кількох можливих методів коригування певного показника якості води вибирають найбільш ефективний та економічний, встановлюють необхідну дозу реагенту, визначають кінетику осаду зависів, швидкість протікання води в різних спорудах, динаміку збільшення втрат напору у фільтрувальних спорудах тощо. Незнання технологічних властивостей води може призвести до значних помилок при проектуванні водоочисних станцій.

При використанні найуживаніших технологічних схем очищення води необхідно мати дані про параметри, які характеризують її технологічні властивості: коагульованість, знебарвлення, осаджуваність зависі, фільтрованість, знезалізення, пом'якшення, стабільність, хлорованість. Ці дані отримують в результаті технологічного аналізу води.

2. ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ

Лабораторна робота №1

Температура води

Температура води – важливий фактор, що впливає на фізичні, хімічні, біохімічні та біологічні процеси, які відбуваються у водоймах. Від неї значною мірою залежить кисневий режим водойми, інтенсивність процесів самоочищення тощо. На температуру води зважають при розрахунках багатьох очисних споруд.

Для питних цілей оптимальною є температура 7...11 °С. Цій умові найбільш відповідають підземні води. Вони, як правило, характеризуються сталістю температури, котра при глибині залягання водоносного шару більше ніж 200 м складає 6...10 °С. Для поверхневих вод властиві значні сезонні перепади температури – в середньому від 0,1 до 30 °С. Вимірювання температури проводять одночасно з відбором проби води з джерела. Там, де це неможливо, температуру вимірюють у бутлі вмістом не менш як 1000 см³, яку перед відбором проби витримують у досліджуваній воді для зрівняння температур.

Для вимірювання використовують калібровані ртутні термометри з ціною поділки 0,1...0,5 °С. Результат виражають в градусах Цельсія, знак ставиться тільки при температурах, нижчих за нуль.

Лабораторна робота № 2

Вміст завислих речовин (каламутність води)

Природні води, особливо поверхневі, рідко бувають прозорими. *Каламутність* води зумовлюється наявністю в ній завислих частинок піску, глини, органічних домішок, фіто- і зоопланктону. Джерелом надходження їх у водойму є дощові і талі води, розмив річищ водотоків, скаламучення донних відкладень у вітряну погоду тощо.

Кількість завислих речовин у воді виражають у мг/дм³. Вміст їх у природних водах коливається в дуже широких межах – від кількох міліграмів до десятків грамів в 1 дм³ води. Ці коливання часто залежать від пори року: для рівнинних річок характерний максимальний вміст завислих речовин у весняну повінь і мінімальний – взимку, для гірських річок звичайним є збільшення каламутності води в період злив і танення снігу в горах.

Контроль каламутності води дуже важливий і з токсикологічної точки зору. Так у річкових водах з помірною каламутністю у завислому стані знаходиться переважна частина алюмінію, більш ніж 90% свинцю, 30-35% миш'яку і кадмію і більше 20% ртуті. Найчистішою є вода озера Байкал, яка містить свинцю 0,7, кадмію 0,02, ртуті 0,1 і миш'яку 0,3 мкг/дм³.

Нормативна каламутність питної води не повинна перевищувати 1,5 мг/дм³, або 5 ОКФ*.

Міжнародний стандарт ISO 7027 встановлює такі чотири методи визначення каламутності води.

Напівкількісні методи (отримання інформації в польових умовах).

1. Метод з використанням трубки – для чистих і мало забруднених вод.
2. Метод з використанням диску – в основному для поверхневих вод.

Кількісні методи з використанням оптичних нефелометрів (рис.1).

3. Метод вимірювання послаблення потоку випромінювання – води з високою каламутністю, наприклад, стічні або забруднені поверхневі.

4. Метод визначення розсіювання випромінювання – води з малою каламутністю, наприклад, питтєві. Залежно від застосованого вимірювального приладу може бути використаний і для вод з високою каламутністю.

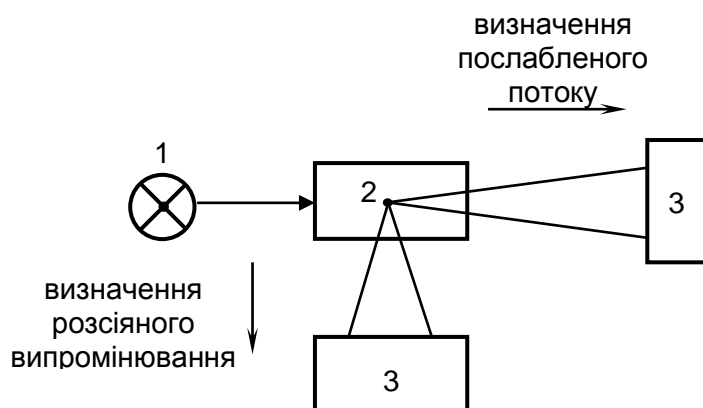


Рис. 1. Визначення каламутності оптичними нефелометрами:

1 – джерело світла; 2 – кювета з досліджуваним зразком води; 3 – оптичний нефелометр

1. Метод з використанням трубки

Використовується трубка для визначення прозорості – з безбарвного скла, довжиною 600 мм і внутрішнім діаметром 25 мм, градуйована поділками по 10 мм. Щільно підігнаний екран захищає трубку від бокового світла. Під трубку кладуть зразок шрифту, що являє собою чорний шрифт на білому тлі (висота 3,5 мм, ширина лінії 0,35 мм) або юстирувальну мітку (наприклад, чорний хрест на білому папері). Для освітлення зразка шрифту або юстирувальної мітки використовують постійне джерело світла – низьковольтну вольфрамову лампу потужністю 3 Вт.

Методика визначення

Пробу води ретельно перемішують і поміщають у трубку для визначення прозорості. Поступово знижують рівень води у трубці до тих пір, поки не стане видимим зразок шрифту або юстирувальна мітка. Визначають максимальну

* ОКФ – одиниці каламутності за формазином (ISO 7027)

висоту стовпа аналізованої води, за якої помітна мітка, за поділками на трубі. Визначену висоту стовпа вказують з точністю до 10 мм.

2. Метод з використанням диска

Використовується диск, відлитий з бронзи, покритий білим пластиком і прикріплений до ланцюжка або стержня. Діаметр диска 200 мм, в ньому шість отворів діаметром 55 мм, розташованих по колу діаметром 120 мм.

Методика визначення

Диск на ланцюжку або стержні опускають у воду, щоб він був ледь помітним. Вимірюють максимальну довжину зануреного ланцюжка або стержня, за якої помітний диск. Вимірювання повторюють декілька разів. Для значень менших 1 м результат записують з точністю до 10 мм; для значень більших 1 м – з точністю до 0,1 м.

Можливість суб'єктивних помилок при застосуванні вищезгаданих методів є їх недоліком, якого можна уникнути, застосовуючи фотометричні методи.

Вода, яка містить завислі речовини, послаблює потік випромінювання і, крім того, ці нерозчинені речовини розсіюють випромінювання (рис.1). Встановлення кореляції між вмістом у пробі води завислих речовин (каламутністю води) і ступенем послаблення або розсіювання випромінювання, що проходить через цю пробу, дає можливість визначити каламутність води фотометричними методами.

3. Метод визначення послаблення потоку випромінювання

Для застосування методу проводять калібрування приладу. Для цього готують серію зразків води (не менше 5 проб) з відомими концентраціями завислих речовин. Використовуючи стандартні суспензії формази, оксиду кремнію, каоліну або глини, відібраної коло водойми, будують градувальну криву: по горизонтальній вісі відкладають величини концентрацій стандартних розчинів (K , мг/дм³ або ОКФ), а по вертикальній – відповідні їм значення коефіцієнту пропускання (T , %). Градувальна крива повинна охоплювати область можливих змін концентрацій завислих речовин у досліджуваній воді (рис.2).

Потім, вимірюючи на приладі коефіцієнт пропускання досліджуваної води, за допомогою градувального графіка визначають її каламутність.

Методика визначення вмісту завислих речовин

Для вимірів застосовують лабораторний фотоколориметр КФК-2. Визначення проводять у кюветі з робочою довжиною $l = 5$ см, при світлофільтрі з довжиною світлової хвилі $\lambda = 540$ нм (зелений). У світловий потік поміщають кювету з контрольною рідиною – дистильованою водою, поруч у кюветному

відділенні встановлюють кювету з досліджуваною водою*. Якщо забарвлення досліджуваної води перевищує 10 град, контрольною рідиною служить досліджувана вода, з якої видалені завислі речовини (центрифугуванням або фільтруванням через мембранний фільтр з діаметром пор 0,45 мкм). Закривають кришку кюветного відділення й ручками “ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ”, “УСТАНОВКА 100 ГРУБО” і “УСТАНОВКА 100 ТОЧНО” встановлюють відлік 100 по шкалі колориметра.

Поворотом важеля переміщення кювет дистильовану воду заміняють кюветою із досліджуваною водою. Знімають відлік по шкалі колориметра, відповідний коефіцієнту пропускання води (T_d) у %.

Вміст завислих речовин (каламутність досліджуваної води K_d) визначають за градувальним графіком (рис.2).

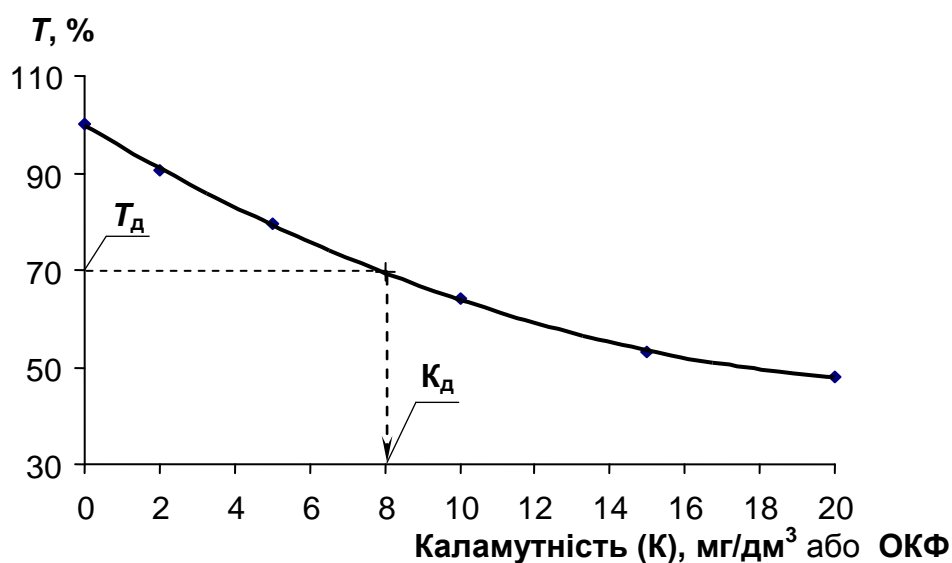


Рис. 2. Градувальний графік для визначення каламутності води

Перехід від мг/дм^3 до ОКФ відбувається виходячи із співвідношення: $1,5 \text{ мг/дм}^3$ каоліну відповідає 2,6 ОКФ, або 1 ОКФ відповідає $0,58 \text{ мг/дм}^3$.

4.Метод вимірювання розсіювання випромінювання

Будують калібрувальний графік, вимірюючи розсіяний потік випромінювання. Всі подальші дії ідентичні методу визначення послаблення потоку.

Контрольні запитання

1. Які домішки визначають каламутність води?
2. Які методи використовують для визначення каламутності води?

Коротко дати їх характеристику.

3. Яка каламутність питної води є припустимою за існуючими нормами?

* При забарвленні досліджуваної води нижче 10 град.

Лабораторна робота № 3 Забарвлення води *

Чиста вода в тонкому шарі є безбарвною, при значній товщині шару вона має блакитний відтінок. Інші відтінки свідчать про наявність у воді різних розчинених і завислих домішок.

Забарвлення природної води зумовлене наявністю в ній гумусових речовин (відтінки бурого та жовтого кольору), колоїдних сполук заліза III (жовто-зелені відтінки), масовим розвитком водоростей (зелено-бурі, смарагдові відтінки). Стічні води деяких підприємств також надають воді досить інтенсивного забарвлення.

У природних умовах речовини, що надають воді забарвлення, потрапляють у воду внаслідок процесів хімічного вивітрювання гірських порід, з підземним стоком, а також вимиваються із ґрунту і торфовища. Підвищене забарвлення мають води річок з болотним типом живлення.

Значне забарвлення води погіршує її органолептичні властивості, справляє негативний вплив на розвиток водних рослинних та тваринних організмів в результаті різкого зниження концентрації розчиненого кисню у водоймі, який витрачається на окиснення сполук заліза та гумусових речовин.

Забарвлення води виражають в умовних одиницях – *градусах еталонної дихромат-кобальтової шкали*.

Для приготування шкали використовують два розчини: №1 і №2. Розчин №1 містить 0,0875 г дихромату калію, 2 г сульфату кобальту і 1 см³ сірчаної кислоти (густиною 1,84 г/см³) в 1 дм³ дистильованої води. Розчин №2 містить 1 см³ сірчаної кислоти (густиною 1,84 г/см³) в 1 дм³ дистильованої води. Змішуючи у різних співвідношеннях розчини №1 і №2 (див. табл.1), отримують шкалу забарвлення – ряд еталонних розчинів з різним забарвленням.

Таблиця 1

Об'єм розчину, см ³		Забарвлення еталонного розчину, град.	Об'єм розчину, см ³		Забарвлення еталонного розчину, град.
№1	№2		№1	№2	
0	100	0	6	94	30
1	99	5	8	92	40
2	98	10	10	90	50
3	97	15	12	88	60
4	96	20	14	86	70
5	95	25	16	84	80

Забарвлення води визначають колориметричним методом (див. розд.1.1), порівнюючи її із еталонними розчинами. Порівняння забарвлення проводять або візуально в циліндрах Генера, або за допомогою приладу, прокаліброваного за набором еталонних розчинів. При наявності у пробі досліджуваної води завислих речовин (каламутна вода) перед

визначенням забарвлення її необхідно центрифугувати або фільтрувати через мембранний фільтр (діаметр пор 0,45 мкм) для видалення цих речовин.

Відповідно до вимог ДержСанПіН забарвлення питної води не повинно перевищувати 20 (35) град.

Методика визначення забарвлення води фотоколориметричним методом

Сутність метода полягає у вимірюванні світлопоглинання забарвленої проби води за допомогою фотометра.

Для вимірів застосовують лабораторний фотоелектроколориметр КФК-2.

Визначення проводять у кюветі з робочою довжиною $l = 5$ см, при світлофільтрі з довжиною світлової хвилі $\lambda = 440$ нм (синій). У світловий потік поміщають кювету з дистильованою водою, поруч у кюветному відділенні встановлюють кювету з досліджуваною водою. Закривають кришку кюветного відділення й ручками “ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ”, “УСТАНОВКА 100 ГРУБО” і “УСТАНОВКА 100 ТОЧНО” встановлюють відлік 100 по шкалі колориметра.

Поворотом важеля переміщення кювет дистильовану воду замінюють кюветою із досліджуваною водою. Знімають відлік по шкалі колориметра, відповідний коефіцієнту пропускання досліджуваної води T_d , %.

Забарвлення досліджуваної води K_d визначають за попередньо побудованою калібрувальною кривою (рис.3).

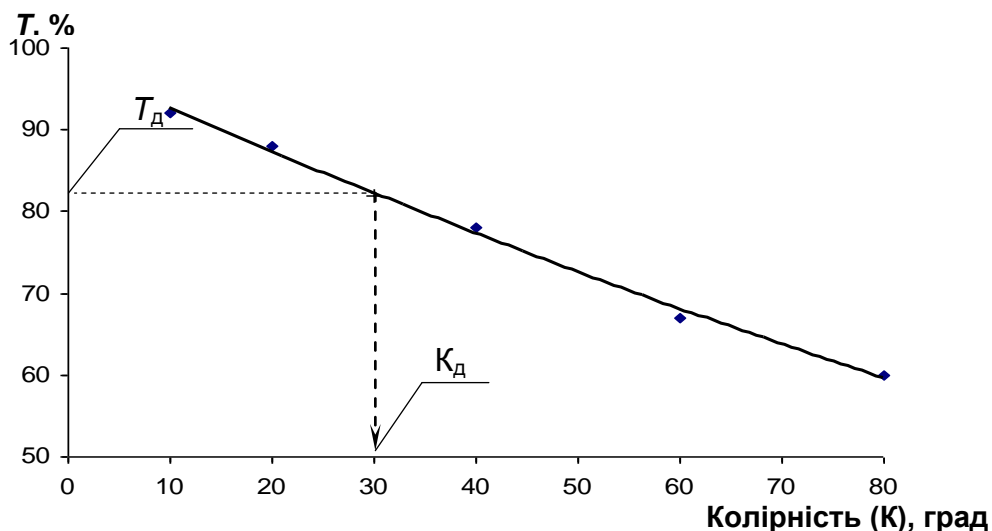


Рис. 3. Градуировальный график для определения окраски воды

Методика определения окраски воды в цилиндрах Генера

В один цилиндр наливают исследуемую воду, а иной — эталонный розчин з відомим забарвленням $K_{ет}$. Обидва цилиндри розглядають зверху на білому тлі й відливають поступово більш забарвлений розчин доти, доки інтенсивність забарвлення в обох цилиндрах не зрівняється.

Забарвлення досліджуваної води K_d розраховують за формулою:

$$K_d = \frac{K_{ет} \cdot h_{ет}}{h_d}, \text{ град,}$$

де $h_{ет}$ і h_d — висота стовпа відповідно еталонного розчину й досліджуваної води, мм.

Контрольні запитання

1. Які причини появи забарвлення води?
2. Які методи використовують для вимірювання забарвлення води?
3. Як забарвлення питної води регламентується існуючими нормами?

Лабораторна робота № 4

Запах води *

Запахи води за характером поділяють на *запахи природного та штучного* походження.

Причиною появи запахів природного походження є хімічний склад домішок води, мікроорганізми, що живуть у водоймі тощо. Ці запахи характеризують описово (табл.2).

Запахи штучного походження зумовлені деякими домішками стічних вод, які потрапляють до водойм. Ці запахи називають відповідно до назви речовини зі схожим запахом: фенольний, хлорфенольний, нафтовий, смолистий тощо.

Запах води визначається органолептично, інтенсивність його оцінюється показником розведення (ПР) проби води до повного зникнення запаху. За діючими нормами вода вважається придатною до пиття, якщо при розведенні проби дистильованою водою у два рази (ПР – 2) запах повністю зникає.

Таблиця 2

Позначення запаху	Характер запаху	Приблизний рід запаху
А	Ароматичний	Огірковий, квітковий
Б	Болотний	Мулистий, тванистий
Г	Гнильний	Фекальний, стічний
Д	Деревний	Запах мокрої тріски, деревної кори
З	Землистий	Прілий, глинистий
П	Пліснявий	Затхлий, застійний
Р	Рибний	Запах риб'ячого жиру, риби
С	Сірководневий	Запах тухлих яєць
Т	Трав'яний	Запах скошеної трави, сіна
Н	Невизначений	Запах, який не підходить під наведені вище визначення

Методика визначення запаху

Широкогорлу колбу місткістю 300 см³ на 2/3 заповнюють досліджуваною водою, накривають годинниковим склом, струшують обертовими рухами, знімають годинникове скло і втягують носом повітря з колби. Дослід проводять при температурі 20 і 60 °С. Визначають якісну характеристику запаху.

Лабораторна робота № 5

Смак води *

Смак води зумовлений присутністю в ній речовин природного походження чи домішок, що попадають у воду внаслідок забруднення її стічними водами.

Розрізняють чотири види смаку води: солоний, гіркий, кислий та солодкий. Інші смакові відчуття називаються присмаками, наприклад, лужний, металевий, рибний тощо.

Солоний смак звичайно спричинюється наявністю хлориду натрію, гіркий – сульфату магнію. Кислий смак підземних вод зумовлений присутністю вуглекислого газу. Оксиди заліза II та марганцю надають залізного або чорнильного присмаку, сульфат кальцію – в'язучого і т. ін.

Якісну характеристику смаку чи присмаку дають описово, а інтенсивність смаку, як і запаху, встановлюють за показником розведення. У відповідності із ДержСанПіН України для смаку питної води встановлено показник розведення 2.

Методика визначення смаку

Смак води визначають органолептично: 10...15 см³ води, підігрітої до 30 °С, кілька секунд утримують у роті, визначаючи якісну характеристику смаку і оцінюючи його інтенсивність.

Методика визначення запаху і смаку за міжнародним стандартом

Сутність методів полягає в органолептичній оцінці запаху і смаку кваліфікованими експертами з наступною статистичною обробкою результатів.

Дегустація рідких продуктів проводиться за стандартом *ISO 5494*.

Для оцінки результатів визначень *ISO 4121* рекомендує застосовувати погоджені шкали. Наприклад, для оцінки запаху рекомендована шкала з 6 пунктів, подана нижче.

- | | |
|------------------|----------------------|
| 1. Відсутній. | 4. Виразний. |
| 2. Дуже слабкий. | 5. Виражений. |
| 3. Слабкий. | 6. Сильно виражений. |

При оцінці смаку рекомендована така шкала:

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| 1. Надзвичайно неприємний. | 6. Злегка приємний. |
| 2. Дуже неприємний. | 7. Приємний. |
| 3. Неприємний. | 8. Дуже приємний. |
| 4. Злегка неприємний. | 9. Надзвичайно приємний. |
| 5. Не неприємний. | |

Для оцінки можуть застосовуватись також бальні шкали. Наприклад, смак еталонного зразка має показник 20 балів, а втричі неприємніший – 60 балів і т. ін.

Контрольні запитання

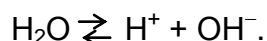
1. Які домішки спричиняють запах і смак води?
2. Як характеризують запах і смак води (присмак) води?
3. Які допустимі показники запаху і смаку (присмаку) питної води?

3. ВИЗНАЧЕННЯ ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ВОДИ

Лабораторна робота № 6

Активна реакція води (рН)

Активна реакція води визначає її кислотність або лужність. Вода, як і кислоти, солі та луги, частково дисоціює на іони:



Ступінь дисоціації води дуже незначна: з 55,56 молів води, які містяться у 1 дм³, дисоціює лише 10⁻⁷ молей. У хімічно чистій воді концентрація іонів водню дорівнює концентрації гідроксид-іона:

$$[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ моль/дм}^3.$$

При 22°C добуток концентрації цих іонів:

$$k_w = [\text{H}^+] \cdot [\text{OH}^-] = 10^{-14}.$$

Цей добуток, який має назву іонного добутку води, зберігає постійне значення і в присутності речовин, які утворюють під час дисоціації іони водню та гідроксид-іони: $k_w = \text{const}$. Це означає, що досить визначити концентрацію одного з іонів (H^+ або OH^-), щоб вирахувати кількість іншого. На практиці знаходять концентрацію іонів водню і позначають її з допомогою *водневого показника рН*, який являє собою від'ємний десятковий логарифм концентрації іонів водню:

$$\text{pH} = -\lg [\text{H}^+].$$

Величина рН характеризує стан водного середовища:

- в нейтральному середовищі $[\text{H}^+] = [\text{OH}^-] = 10^{-7} \text{ моль/дм}^3$, тож $\text{pH} = 7$;
- якщо $[\text{H}^+] > [\text{OH}^-]$, $\text{pH} < 7$ – середовище кисле;
- якщо $[\text{H}^+] < [\text{OH}^-]$, $7 < \text{pH} < 14$ – середовище лужне.

Активна реакція води – один із найважливіших показників її якості, що визначає характер протікання хімічних і біохімічних процесів у природних водах та очисних спорудах. Від рН залежить розвиток та життєдіяльність водних організмів, форма існування у воді цілого ряду хімічних сполук, корозійна активність води відносно металів та бетону тощо. Водневий показник важливий при проведенні ряду процесів її обробки, наприклад, при коагулюванні, реагентному пом'якшенні, знезалізенні, виділенні сполук кремнію, марганцю тощо, при виконанні деяких видів хімічного аналізу.

Значення рН річкової води коливається в межах 6,5...8,5, болотної води – 5,5...6,0, океанської – 7,0...8,3.

рН води залежить від сезону: взимку для більшості річкових вод спадає (6,8...7,4), влітку піднімається (7,4...8,2).

ДержСанПіН України регламентує рН у межах 6,5...8,5.

Для визначення рН існує два головних методи: *колориметричний* та *електрометричний*.

Колориметричний метод ґрунтується на використанні спеціальних одно- або двокольорових індикаторів, при додаванні яких до розчину останній набуває забарвлення. Ці індикатори (найчастіше – мета-нітрофеноли) являють собою слабкі кислоти, які забарвлені в дисоційованому стані, а в недисоційованому безбарвні. При цьому інтенсивність забарвлення пропорційна ступеню дисоціації індикатора, який залежить від рН розчину.

Точність колориметричних методів обмежена і ними користуються в разі відсутності можливості використання приладів (в польових умовах).

При визначенні користуються набором ампул-еталонів з відомими значеннями рН розчинів, в які введений відповідний індикатор. Визначення виконують підбором ампули-еталона з відомим рН, колір якого збігається з кольором досліджуваної проби води. Визначення кольорів проводять у компараторі.

Електрометричний метод визначення рН ґрунтується на вимірюванні електро-рушійної сили (ЕРС) електрохімічного ланцюжка, складеного з проби води, скляного електрода і електрода порівняння. Цим методом досягається стандартне відхилення при визначенні $\Delta\text{pH} = 0,05$ чи менше (ISO 10523).

Під час електрометричного визначення рН використовують лабораторний рН-метр зі скляним електродом вимірювання та хлорсрібним електродом порівняння. При зануренні скляного електрода у розчин між поверхнями кульки скляного електрода і розчину виникає обмін іонами, внаслідок якого іони літію в зовнішніх шарах скла заміщуються іонами водню, скляний електрод стає водневим. Між поверхнею скла і аналізованим розчином виникає різниця потенціалів (ЕРС), пропорційна рН розчину.

Методика визначення рН розчину електрометричним методом

Вимірювання рН води необхідно проводити як найскоріше після відбору проби, оскільки рН швидко змінюється через протікання різних хімічних, фізичних і біохімічних процесів у пробі.

Для вимірів застосовують лабораторний рН-метр.

Перед визначенням електроди ретельно промивають дистильованою водою та просушують паперовим фільтром.

Визначають температуру за показаннями термометра рН-метра і ручкою “Температура розчину” виставляють її значення. Опускають електроди в склянку з досліджуваною водою, натискають кнопку діапазону вимірювання “1 – 14” та за нижньою шкалою приладу визначають рН в першому наближенні (грубо). Натискають кнопку відповідного діапазону рН та знаходять його значення за однією з верхніх шкал з точністю до 0,05. Після закінчення визначення рН електроди занурюють в склянку з дистильованою водою.

Контрольні запитання

1. Що таке рН? Якими методами визначається рН?
2. Якими значеннями рН можна охарактеризувати нейтральне, кисле та лужне середовище?
3. Які значення рН допустимі для питної води (згідно з вимогами ДержСанПіН)?

Лабораторна робота № 7

Жорсткість води

Жорсткість природної води зумовлена наявністю в ній іонів кальцію та магнію. В природних умовах солі надходять у воду внаслідок взаємодії розчиненого у ній діоксиду вуглецю CO_2 з карбонатними мінералами (доломітами, вапняками) і хімічного вивітрювання та розчинення гірських порід. Джерелом кальцію та магнію є також стічні води силікатної, металургійної та хімічної промисловості, поверхневий стік із сільськогосподарських угідь, які оброблялись мінеральними добривами, що містять кальцій.

Наявність у воді великої кількості солей кальцію та магнію є небажаною через те, що вода при цьому стає непридатною для господарських цілей: має місце перевитрата миючих засобів при пранні, багато тканин втрачають свою еластичність, погано розварюються овочі, погіршується їх смак, а також смак м'яса та інших продуктів.

Жорстку воду не можна вживати у цілому ряді галузей промисловості: у виробництві високосортної целюлози, деяких видів паперу, кіноплівки тощо. Використання жорсткої води для живлення парових котлів призводить до різкого погіршення їх роботи внаслідок утворення накипу.

Жорсткість поверхневих вод характеризується помітними сезонними коливаннями, досягаючи найбільшого значення в кінці зими, а найменшого – в паводок. Жорсткість підземних вод значно стабільніша.

Розрізняють *карбонатну* J_K , *некарбонатну* J_{HK} , *кальцієву* J_{Ca} , *магнієву* J_{Mg} та *загальну* жорсткість $J_{заг}$.

Карбонатна жорсткість зумовлена наявністю у воді гідрокарбонатів кальцію та магнію $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ і $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, а некарбонатна – кальцієвих та магнієвих солей сильних кислот (CaCl_2 , MgCl_2 , CaSO_4 , MgSO_4 та ін.). Наявність солей кальцію зумовлює кальцієву жорсткість, а наявність солей магнію – магнієву.

Загальна жорсткість – це сума кальцієвої і магнієвої жорсткості:

$$J_{заг} = J_{Ca} + J_{Mg};$$

або карбонатної і не карбонатної:

$$J_{заг} = J_K + J_{HK}.$$

Одиниця виміру жорсткості води – ммоль/дм³ (мг-екв/дм³). Згідно із ДержСанПіН жорсткість питної води в Україні не повинна перевищувати 7 ммоль/дм³.

Загальна жорсткість в ґрунтових і поверхневих водах, а також у питній воді встановлюється титриметричним методом (ISO 6059). Останній непридатний для мінералізованої та морської води.

Визначення загальної жорсткості ґрунтується на реакції іонів кальцію та магнію з трилоном Б, в результаті чого утворюються комплексні сполуки. На закінчення реакції вказує зміна кольору індикатора еріохром-чорного з винно-червоного на синій. Внаслідок того, що іони Ca^{2+} і Mg^{2+} утворюють з трилоном Б малостійкі комплекси, титрування проводять у лужному середовищі, застосовуючи для цього буферну суміш гідроксиду амонію з хлоридом натрію (аміачний буферний розчин), що має $\text{pH} = 10$.

Методика визначення загальної жорсткості

В конічну колбу місткістю 250 см^3 наливають 50 см^3 води, додають 4 см^3 аміачного буферного розчину, кілька кристаликів сухої суміші індикатора еріохром-чорного з хлоридом натрію. Колір розчину буде винно-червоний. Одразу пробу титрують стандартним розчином трилону Б (10 ммоль/дм^3) при енергійному перемішуванні до зміни кольору на синій.

Загальну жорсткість, Ж_3 , обчислюють за формулою, ммоль/дм^3 (мг-екв/дм^3):

$$\text{Ж}_3 = \frac{v_1 \cdot C_1}{v_0},$$

де v_1 – об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування, см^3 ;

C_1 – концентрація розчину трилону Б, ммоль/дм^3 ($C_1 = 10 \text{ ммоль/дм}^3$);

v_0 – об'єм проби води, взятої на аналіз, см^3 (як правило, $v_0 = 50 \text{ см}^3$).

Визначення кальцієвої жорсткості ґрунтується на утворенні іонами Ca^{2+} з мурексидом малодисоційованого стійкого при $\text{pH} = 10 \dots 12$ комплексу малинового кольору. При подальшому титруванні проби трилоном Б кальцій утворює з ним ще менш дисоційований комплекс. Вільна форма мурексиду, що виділяється при цьому, забарвлює воду в фіолетовий колір.

Методика визначення кальцієвої жорсткості

В конічну колбу місткістю 250 см^3 наливають 100 см^3 води, додають 2 см^3 10%-го розчину гідроксиду натрію для утворення необхідного pH . Потому вносять кілька кристаликів сухої суміші мурексиду з хлоридом натрію, перемішують і повільно титрують стандартним розчином трилону Б (10 ммоль/дм^3) до переходу малинового забарвлення у фіолетове.

Кальцієву жорсткість, Ж_{Ca} , обчислюють за формулою, ммоль/дм^3 (мг-екв/дм^3):

$$\text{Ж}_{\text{Ca}} = \frac{v_1 \cdot C_1}{v_0},$$

де v_1 – об'єм розчину трилону Б, витраченого на титрування, см^3 ;

C_1 – концентрація розчину трилону Б, ммоль/дм^3 ($C_1 = 10 \text{ ммоль/дм}^3$);

v_0 – об'єм проби води, взятої на аналіз, см^3 (100 см^3).

Визначення карбонатної жорсткості ґрунтується на реакції іонів HCO_3^- із соляною кислотою в присутності індикатора – суміші бромкрезолового зеленого і метилового оранжевого (ISO 9963-1).

Методика визначення карбонатної жорсткості

В конічну колбу місткістю 250 см^3 наливають 100 см^3 води і додають 2-3 краплі розчину індикатору і перемішують. Розчин набуває зеленувато-блакитного кольору. Далі пробу титрують розчином соляної кислоти (20 ммоль/дм^3) до зміни кольору на сірий.

Карбонатну жорсткість, J_K , обчислюють за формулою, ммоль/дм^3 (мг-екв/дм^3):

$$J_K = \frac{V_1 \cdot C_1}{V_0},$$

де V_1 – об'єм розчину соляної кислоти, витраченого на титрування, см^3 ;

C_1 – концентрація розчину соляної кислоти, ммоль/дм^3 ($C_1 = 20 \text{ ммоль/дм}^3$);

V_0 – об'єм проби води, взятої на аналіз, см^3 (100 см^3).

Результати лабораторної роботи оформляють у вигляді таблиці:

Номер проби	Результати досліджень, ммоль/дм^3				
	J_3	J_{Ca}	J_{Mg}	J_K	J_{HK}

Контрольні запитання

1. Які солі обумовлюють жорсткість води?
2. Які є види жорсткості води?
3. Допустима жорсткість питної води.

Лабораторна робота № 8

Лужність води

Під *загальною лужністю* води розуміють суму гідрокарбонатних HCO_3^- , карбонатних CO_3^{2-} , гідроксидних OH^- іонів та аніонів слабких кислот. Відповідно до цього розрізняють *гідрокарбонатну*, *карбонатну* та *гідроксидну* лужність. Оскільки в більшості природних вод переважають вуглекислі сполуки (в основному іони HCO_3^-), звичайно враховують лише гідрокарбонатну і карбонатну лужність.

При $\text{pH} \geq 8,3$, а також при застосуванні деяких методів очистки води (наприклад, вапняне або содово-вапняне пом'якшення) необхідно враховувати і гідроксидну лужність.

Головним джерелом гідрокарбонатних та карбонатних іонів у поверхневих водах є процеси хімічного вивітрювання і розчинення карбонатних порід вапняків, мергелів, доломітів. Значна кількість гідрокарбонатів надходить із атмосферними опадами і ґрунтовими водами. Карбонатні і гідрокарбонатні іони потрапляють у водойми зі стічними водами підприємств хімічної, силікатної, содової та інших галузей промисловості.

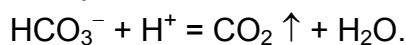
У річкових водах вміст гідрокарбонатних і карбонатних іонів коливається від 30 до 400 мгНСО₃⁻/дм³. В підземних водах їх вміст помітно зростає – 150...900 мгНСО₃⁻/дм³.

Лужність не входить до числа жорстко обмежених за своїм значенням показників якості води, однак ДержСанПіН України рекомендує т.зв. показники фізіологічної повноцінності складу води, до яких входить і загальна лужність 0,5...6,5 мг-екв/дм³.

Лужність води – важливий показник при проведенні багатьох процесів очистки води, особливо при обробці її коагулянтами, пом'якшенні.

Визначення лужності води ґрунтується на реакції іонів НСО₃⁻ із соляною кислотою в присутності індикатора – суміші бромкрезолового зеленого і метилового оранжевого (/ISO 9963-1).

Реакція проходить згідно рівняння:



На закінчення реакції вказує зміна кольору з зеленувато-блакитного на сірий.

Методика визначення лужності

В конічну колбу місткістю 250 см³ наливають 100 см³ води і додають 2-3 краплі розчину індикатора, перемішують і титрують розчином соляної кислоти (20 ммоль/дм³) до зміни кольору.

Лужність, Л, обчислюють за формулою, ммоль/дм³ (мг-екв/дм³):

$$Л = \frac{V_1 \cdot C_1}{V_0},$$

де V_1 – об'єм розчину соляної кислоти, витраченого на титрування, см³;

C_1 – концентрація розчину соляної кислоти, ммоль/дм³ (20 ммоль/дм³);

V_0 – об'єм проби води, взятої на аналіз, см³ (100 см³).

Контрольні запитання

1. Вмістом яких сполук зумовлена лужність води?
2. Який метод аналізу використовується при визначенні лужності води?
3. В яких одиницях вимірюється лужність води?
4. Яке значення лужності рекомендовано ДержСанПіН для питної води?
5. При яких процесах обробки води має значення величина її лужності?

Лабораторна робота № 9

Окиснюваність води

Окиснюваність води – це величина, яка характеризує сумарний вміст у воді органічних речовин та легкоокиснюваних неорганічних домішок (сірководню, сульфідів, сполук заліза II та ін.). Органічні речовини надходять у водойми головним чином з дощовими і талими водами, внаслідок розвитку рослинних і тваринних організмів, розмиву русел водостоків, скидання стічних вод.

Окиснюваність характеризується кількістю кисню, необхідного на окиснення органічних та легкоокиснюваних неорганічних домішок, які містяться в 1 дм³ води, і визначається в мгО₂/дм³.

Для чистих поверхневих водойм величина окиснюваності коливається в межах 2...8 мгО₂/дм³. Найменші значення характерні для артезіанської води – до 2 мгО₂/дм³. Річки з болотним живленням відрізняються значним ступенем окиснюваності води.

Окиснюваність – важливий показник гігієнічної характеристики води. Раптове його підвищення у джерелі, як правило, свідчить про забруднення стічними водами і необхідність вживання заходів щодо санітарної охорони водойми.

Визначення окиснюваності ґрунтується на реакції органічних сполук із окиснювачами, в результаті якої встановлюють кількість окиснювача та еквівалентну йому кількість кисню, витрачених на окиснення цих сполук.

Повнота окиснення органічних речовин залежить від виду окиснювача, що був застосований. Найчастіше для цього використовують перманганат або дихромат калію. Відповідно розрізняють *перманганатну* та *дихроматну* окиснюваність.

Перманганат калію (KMnO₄) окиснює не всі органічні речовини, що є у воді, при цьому ступінь їх окиснення різний. Тому перманганатна окиснюваність дає умовне уявлення про наявність у воді органічних домішок і може використовуватись для аналізу питної і мінеральної води, мало забруднених поверхневих вод та для порівняння якості води у різний час або в різних місцях водойми. Позитивною рисою методу є порівняно швидке отримання результату.

Для характеристики стічних вод та природних вод, забруднених стоками, визначають дихроматну окиснюваність. Вона більш точно характеризує вміст органічних забруднень, оскільки дихромат калію окиснює близько 90% присутніх у воді органічних речовин.

Дихроматну окиснюваність ще називають *хімічним споживанням кисню* (ХСК), тому що вона характеризує вміст усіх органічних речовин у воді, в тому числі важкоокиснюваних.

Частіше для характеристики ступеню органічного забруднення водойми та стічних вод визначають *біохімічне споживання кисню* (БСК). БСК – це кількість кисню, яка витрачається в певний проміжок часу на окиснення домішок води при перебігу в ній біохімічних процесів. В даному випадку окиснювачами є бактерії, які використовують органічні речовини як джерело живлення і енергії.

БСК характеризує вміст у воді *біорозкладних* речовин, тобто таких, що можуть бути окиснені біохімічним шляхом. Цей показник якості застосовують при аналізі стічних вод для визначення можливості їх біохімічної очистки: вміст біорозкладних речовин у стічних водах має складати не менше 70% від загальної величини органічного забруднення.

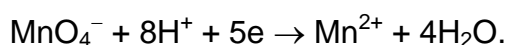
Визначення перманганатної окиснюваності ґрунтується на окисненні органічних речовин, що присутні у пробі води, перманганатом калію в кислому середовищі з кип'ятінням.

Згідно з ДержСанПіН України перманганатна окиснюваність питної води має не перевищувати 4 мгО₂/дм³.

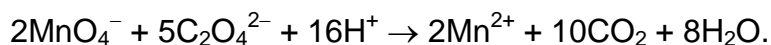
Методика визначення перманганатної окиснюваності

В конічну колбу місткістю 250 см³ наливають 100 см³ води, додають 5 см³ сірчаної кислоти (розведення 1:3) і розчин перманганату калію (молярна концентрація еквівалента $C_1 = 0,01$ моль/дм³) у кількості $v_n = 10$ см³. Накривши колбу воронкою кип'ятять 10 хвилин від моменту закипання.

Перманганат калію, як сильний окислювач, реагує з присутніми у воді відновниками:



Оскільки перманганат додають з надлишком, його залишок забарвлює досліджувану пробу води і реагує з щавлевою кислотою, яку додають у кількості 10 см³ (молярна концентрація еквівалента 0,01 моль/дм³) у зняту з нагрівального приладу колбу:



Гарячий розчин після введення щавлевої кислоти втрачає колір. Щоб визначити залишок щавлевої кислоти пробу у колбі відразу титрують розчином КМnО₄ (молярна концентрація еквівалента 0,01 моль/дм³) до слабкорожевого кольору. Кількість витраченого розчину КМnО₄ позначаємо v_1 (перше титрування). Таким чином, на реакції з органічними речовинами досліджуваної води і 10 см³ щавлевої кислоти витрачено $(v_n + v_1)$ см³ розчину КМnО₄ (молярна концентрація еквівалента 0,01 моль/дм³).

Для визначення кількості розчину перманганату калію, який витрачається на титрування 10 см³ щавлевої кислоти (молярна концентрація еквівалента 0,01 моль/дм³), тобто для визначення титру КМnО₄, в ту саму колбу в ще гарячий розчин доливають 10 см³ розчину щавлевої кислоти і знову відтитровують перманганатом калію до слабкорожевого кольору, який зберігається протягом 1 хвилини. Кількість витраченого розчину КМnО₄ позначаємо v_2 (друге титрування). Об'єм розчину КМnО₄, який витрачено на реакції з органічними домішками досліджуваної води, становить $(v_n + v_1 - v_2)$ см³.

Перманганатну окиснюваність, O_k , обчислюють за формулою:

$$O_k = \frac{(v_n + v_1 - v_2) \cdot k \cdot e \cdot C_1 \cdot 1000}{v_0}, \text{ мгО}_2 / \text{дм}^3, ,$$

де k – поправочний коефіцієнт, $k = 10 / v_2$;

e – молярна маса еквівалента кисню, $e = 8$ г/моль;

v_0 – об'єм досліджуваної води, см³.

Для визначення біохімічного споживання кисню користуються склянковим методом. Суть його полягає у знаходженні показника БСК за визначеної температури в ізолюваних водних мікросистемах (склянках). За цим методом виконується одна з найважливіших при оцінці БСК вимог – запобігається можливість поповнення запасу розчиненого кисню, який є у водному середовищі.

Показник БСК знаходять за різницею між вмістом кисню до і після інкубації проб води в темряві протягом 5 діб при 20°C без доступу кисню.

Методика визначення біохімічного споживання кисню

Досліджувану воду наливають у колбу місткістю 1 дм³, підігрівають (або охолоджують) до 20°C та сильно струшують протягом 1 хв. для насичення киснем. Коли бульбашки кисню вийдуть, воду наливають у дві склянки з притертими пробками. В одній з них визначають розчинений кисень [O₂]₀. Другу склянку з досліджуваною водою (інкубаційну) ставлять у термостат і витримують при температурі 20°C 5 діб. Потому в ній, як і в першій склянці, визначають розчинений кисень [O₂]₅. БСК розраховують за формулою:

$$\text{БСК} = [\text{O}_2]_0 - [\text{O}_2]_5, \text{ мгO}_2/\text{дм}^3$$

де [O₂]₀ – початковий вміст кисню, розчиненого у воді, мгO₂/дм³;

[O₂]₅ – кількість кисню у воді після п'яти діб інкубації, мгO₂/дм³.

Контрольні запитання

1. Що таке окиснюваність води, в яких одиницях вимірюється?
2. Назвіть головні види окиснюваності.
3. Як за значенням окиснюваності оцінити ступінь забруднення води?

Лабораторна робота № 10 Залізо у природних водах

Залізо присутнє у природних водах у вигляді сполук Fe (II) і Fe (III).

У підземних водах зустрічаються здебільшого сполуки заліза (II) (головним чином Fe(HCO₃)₂) стійкі у присутності розчиненої вугільної кислоти та за відсутності кисню.

Вміст заліза в підземних водах може досягати кількох десятків міліграмів на дециметр кубічний. З виходом підземних вод на поверхню, іони Fe²⁺ окислюються, здійснюється гідроліз солей заліза з утворенням гідроксиду заліза (III).

У поверхневих водах залізо знаходиться у вигляді органічних комплексних сполук, які забарвлюють воду у жовто-бурі відтінки, або у вигляді колоїдів та тонко дисперсних зависей Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, FeS тощо, що зумовлюють каламутність води.

Головним джерелом сполук заліза в поверхневих водах є процеси хімічного вивітрювання гірських порід, їх механічне руйнування та розчинення.

У річкових водах та водах прісних озер вміст заліза, як правило, не перевищує 1 мг/дм³, у забарвлених болотних водах концентрація заліза значно збільшується. Якщо вміст заліза перевищує 0,3 мг/дм³, органолептичні властивості води погіршуються: з'являється неприємний залізистий або в'язучий присмак,

збільшується каламутність внаслідок утворення малорозчинного гідроксиду заліза (III).

Залізо – біологічно активний елемент, що суттєво впливає на інтенсивність розвитку фітопланктону та якісний склад мікрофлори у водоймі.

Підвищений вміст заліза у технічній воді неприпустимий для багатьох видів підприємств у зв'язку із погіршенням якості готової продукції та з можливістю розвинення в системах водопостачання залізобактерій. Розвиток залізобактерій стимулює процеси корозії, може призвести до закупорювання трубопроводів. Найбільша припустима концентрація заліза у питній воді, встановлена ДержСанПіН, – 0,3 мг/дм³.

Визначаючи вміст заліза у воді, використовують колориметричні методи аналізу із застосуванням ортофенантроліну, сульфосаліцилової кислоти, роданіду амонію або калію.

ISO 6332 встановлює фотометричний метод визначення заліза у природних та стічних водах із застосуванням ортофенантроліну. Метод придатний для визначення заліза у концентраціях від 0,01 до 5 мг/дм³. Більші концентрації заліза визначаються після відповідного розведення проби дистильованою водою. При визначенні загального заліза у пробу додають розчин солянокислого гідроксиламіну для відновлення заліза (III) у залізо (II). Малий термін зберігання розчину ортофенантроліну є недоліком цього методу.

Визначення загального заліза з сульфосаліциловою кислотою ґрунтується на взаємодії іонів Fe²⁺ і Fe³⁺ з нею в лужному середовищі. В результаті реакції утворюються комплексні сполуки, забарвлені у жовтий колір.

Методика визначення заліза

В колбу місткістю $V_k = 50 \text{ см}^3$ наливають $V_{пр} = 25 \text{ см}^3$ досліджуваної води. Додають 5 см³ розчину сульфосаліцилової кислоти (10 %), 5 см³ розбавленого розчину аміаку. Доводять об'єм проби до мітки дистильованою водою, перемішують. Через 10 хв. вимірюють коефіцієнт світлопропускання розчину на фотоелектро-колориметрі КФК-2 (див. розд.1.1) при довжині світлової хвилі $\lambda = 440 \text{ нм}$ (фіолетовий), у кюветі з товщиною робочого шару рідини $l = 30 \text{ мм}$.

Коефіцієнт пропускання визначають відносно дистильованої води, до якої додані такі ж самі реактиви, що й у колбу з досліджуваною водою. За калібрувальним графіком визначають концентрацію $C_{граф}$, мг/дм³.

Вміст заліза у досліджуваній воді C_{Fe} визначають за формулою:

$$C_{Fe} = \frac{C_{граф} \cdot V_k}{V_{пр}}, \text{ мг/дм}^3.$$

Контрольні запитання

1. В якому вигляді присутнє залізо в підземних та поверхневих водах?
2. Яких властивостей надають воді присутні в ній сполуки заліза?
3. Яка ГДК заліза в питній воді?
4. Який метод аналізу використовується для визначення заліза у воді?

Лабораторна робота №11

Визначення силікатів

Сполуки кремнієвої кислоти надходять у природні води внаслідок вимивання їх з гірських порід водою, яка містить вуглекислий газ. Вони знаходяться у водах у вигляді оксиду, частково гідратованого, у вигляді алюмосилікатів, а також в іонізованій формі у вигляді ортосилікат-іонів. Ступінь іонізації залежить від величини pH: за $\text{pH} < 7$ у воді знаходяться лише недисоційована кремнієва кислота. Вміст кремнекислоти (SiO_2) у природних водах коливається в межах $2\ldots 700 \text{ мг/дм}^3$. Звичайно концентрація кремнекислих сполук у поверхневих водах не перевищує 10 % їх загального солевмісту. В підземних водах концентрація кремнекислоти сягає 25...30 % величини загального солевмісту.

Кремнекислота є звичайною речовиною для людського організму. У крові людини міститься $20\ldots 240 \text{ мг/дм}^3 \text{ SiO}_2$, у сировотці – до 800 мг/дм^3 , у м'язах – до 600 мг/дм^3 . В організмі людини SiO_2 не накопичується і вживання води з підвищеним його вмістом абсолютно безпечно. Коли ж вода використовується для живлення парових котлів високого тиску, вміст навіть незначної кількості кремнекислоти є неприпустимим через можливість утворення щільного силікатного накипу.

Визначення вмісту силікатів у воді ґрунтується на вимірюванні коефіцієнту світлопропускання розчинів синього відновленого комплексу, що утворюється за взаємодії мономірно-дисперсної кремнекислоти з молібдатом амонію у кислому середовищі з наступним відновленням гетерополікислоти сумішшю ментолу і сульфату натрію (розчин відновника).

Методика визначення силікатів

В дві мірні колби ємністю $V_k = 50 \text{ см}^3$ наливають по $V_{\text{пр}} = 25 \text{ см}^3$ досліджуваної та дистильованої води. До кожної з колб приливають по 5 см^3 молібдатного розчину і перемішують дво- трикратним перевертанням. За 5 хвилин у колби приливають по 2 см^3 розчину відновника, доводять об'єм розчину до 50 см^3 дистильованою водою і знов перемішують. За 2...3 хвилини визначають коефіцієнт світлопропускання проби води з реактивами на колориметрі КФК-2, довжина світлової хвилі $\lambda = 590 \text{ нм}$, довжина кювети $l = 3 \text{ см}$. Визначення проводять у порівнянні із дистильованою водою з доданими реактивами. За калібрувальним графіком визначають концентрацію $C_{\text{граф}}$, мг/дм^3 .

Вміст силікатів у досліджуваній воді $C_{\text{SiO}_3^{2-}}$, мг/дм^3 визначають за формулою:

$$C_{\text{SiO}_3^{2-}} = \frac{C_{\text{граф}} \cdot V_k}{V_{\text{пр}}}, \text{ мг/дм}^3.$$

Контрольні запитання

1. Який вміст силікатів у природних водах?
2. Який метод аналізу використовується при визначенні вмісту у воді силікатів?

4. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ВОДИ

Як було вказано, якість води визначається складом, концентрацією і властивостями домішок, наявних у ній. Ознайомившись із фізичними та хімічними показниками якості води, засвоївши методи їх визначення, студенти навчилися визначати склад і концентрацію домішок води. Але цих відомостей недостатньо, щоб кваліфіковано запроектувати технологічну схему обробки води з метою поліпшення її якості, підібрати та розрахувати споруди, в яких ця технологія буде здійснюватись. Відомості про фізичні та хімічні показники якості необхідно доповнювати технологічними показниками, які встановлюються за допомогою технологічного аналізу.

Технологічний аналіз проводять:

- для визначення властивостей води у зв'язку з вибором джерела водопостачання та проектування споруд для коригування якості води;
- з метою контролю показників якості води в процесі її обробки.

Сучасна водопідготовка – це складна хімічна технологія, в якій для обробки води використовують різні реагенти, матеріали, фізичні методи, різноманітне обладнання. Від характеру взаємодії домішок води з використовуваними речовинами залежить ефективність підготовки води різного призначення. Одразу неможливо передбачити, як поведуть себе домішки води в процесі її обробки. Такі дані можна дістати, визначивши в результаті технологічного аналізу так звані технологічні властивості води.

За допомогою технологічного аналізу встановлюють оптимальні дози реагентів для обробки води, які забезпечують найкращий ефект очистки та економічність процесів, визначають кінетику осідання завислих речовин, яка дозволяє визначити об'єм та розміри очисних споруд; підбирають оптимальні швидкості проходження води у очисних спорудах; забезпечують із кількох можливих варіантів коригування того чи іншого показника якості відбір найбільш ефективного та економічного тощо.

Незнання технологічних якостей води при проектуванні водообробних станцій може призвести до серйозних помилок. Тому в практиці водопідготовки широко використовується технологічний аналіз води, який включає в себе пробне коагулювання, обробку води хлором, вуглювання, знезалізення, стабілізацію тощо.

Технологічний аналіз проводять при такій самій температурі, як і процеси обробки води у виробничих умовах.

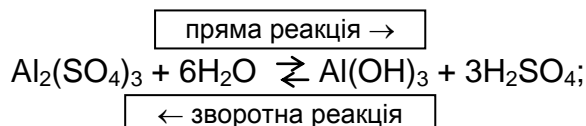
Лабораторна робота №12

Визначення оптимальної дози коагулянту

Для видалення з води речовин, які зумовлюють її колір та каламутність, застосовують *обробку води коагулянтами*. Як коагулянти використовують солі алюмінію і заліза: сульфат алюмінію, сульфат заліза II, сульфат заліза III, хлорид алюмінію, хлорид заліза II, хлорид заліза III, змішаний коагулянт, який складається із сульфату алюмінію та хлориду заліза, взятих у співвідношенні 1:1 або 1:2 та ін.

Коагулянти – це солі сильних кислот і слабких основ, і тому при введенні у воду вони гідролізуються.

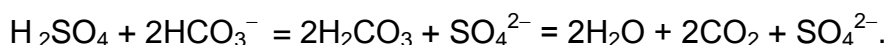
Гідролізом називається реакція розкладання речовини водою, в результаті якої відбувається зв'язування продуктів розкладу з одним або обома іонами води з утворенням малодисоційованих або важкорозчинних речовин. Гідроліз солей супроводжується зміною pH середовища:



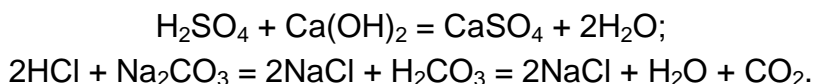
або:



Реакції гідролізу оборотні. Тому, щоб забезпечити повноту протікання гідролізу (пряма реакція) необхідно зв'язувати (нейтралізувати) кислоту, що утворюється за гідролізу. Цю функцію виконують присутні в природних водах гідрокарбонат-іони (HCO_3^-), які зумовлюють природну лужність води:



Якщо лужність оброблюваної води невелика, або застосовується значна доза коагулянту, кислота, що утворюється при гідролізі коагулянту, може нейтралізуватись неповністю. Наслідком цього є погіршення процесу утворення пластівців, поява у воді залишкового алюмінію або заліза. Щоб уникнути цього, воду додатково підлговують введенням вапна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ або соди Na_2CO_3 :



Гідроксиди алюмінію та заліза надзвичайно мало розчинюються у воді і виділяються з неї у вигляді колоїдних позитивно заряджених частинок з великою сумарною поверхнею.

Гумусові речовини, що надають воді забарвлення, і частинки порід і ґрунтів, які визначають її каламутність, являють собою негативно заряджені колоїди. Внаслідок великої вільної поверхневої енергії і різності зарядів ці дві системи взаємодіють: на позитивно зарядженій поверхні гідроксидів добре адсорбуються гумусові речовини, а самі частинки гідроксидів адсорбуються на поверхні частинок ґрунту, глини та інших завислих речовин.

Разом з тим наявність у воді від'ємно заряджених іонів призводить до коагуляції колоїдних частинок гідроксидів, тобто відбувається зниження їх заряду і втрата ними стійкості. В результаті цього частинки починають злипатися між собою, створюючи так звану *надміцелярну структуру*. Остання під впливом гідродинамічних сил потоку розривається у найслабших місцях, внаслідок чого утворюються мікропластівці, котрі потім укрупнюються при взаємних зіткненнях. Осідання такої коагульованої зависі призводить до видалення із води речовин, які надають їй каламутності й забарвлення.

Для успішного перебігу процесу необхідно правильно вибрати дозу коагулянту. *Оптимальною* називається така найменша доза коагулянту, яка забезпечує забарвлення очищеної води < 20 град. при мінімальній її каламутності і доброму утворенні пластівців (достатньо швидке утворення великих, добре осідаючих пластівців).

Оптимальна доза коагулянту залежить від природи й інтенсивності забарвлення оброблюваної води, її каламутності, лужності, рН, температури; цей показник визначають під час пробного коагулювання води різними дозами коагулянту.

Методика визначення оптимальної дози коагулянту

Попередньо визначають забарвлення, каламутність, лужність та рН досліджуваної води.

У 8 циліндрів наливають по 250 см³ досліджуваної води. У перший циліндр вводять градуйованою мірною піпеткою розчин коагулянту концентрацією 25 мг/см³ і ретельно перемішують воду у циліндрі мішалкою 10 разів. Відмічають початок досліду. Таким же чином, послідовно обробляють воду в інших циліндрах дозами коагулянту у відповідності із таблицею:

Номер циліндра	1	2	3	4	5	6	7	8
Об'єм розчину коагулянту, що вводиться у циліндр, V_k , см ³	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
Доза коагулянту, яка відповідає введеному об'єму розчину, D_k , мг/дм ³	50	100	150	200	250	300	350	400

Оброблена коагулянтом вода в циліндрах відстоюється протягом 2 годин. Під час відстоювання води відмічають початок утворення пластівців ($t_{пл}$) і початок їх осідання ($t_{ос}$), а також вид пластівців (великі, маленькі, рихлі, щільні).

Через 2 години верхній шар води у циліндрах (≈ 150 см³) обережно зливають у чисті колби, ретельно перемішують і вимірюють каламутність (К). Потому цю воду відфільтровують крізь паперовий фільтр і визначають її забарвлення (З), лужність (Л) та рН. Результати оформлюють у вигляді таблиці:

Номер циліндра	D_k , мг/дм ³	Час, хв.		Вид пластівців	Показники якості води після обробки її коагулянтом			
		$t_{пл}$	$t_{ос}$		К, мг/дм ³	З, град.	Л, ммоль/дм ³	рН

На основі проведених дослідів графічно виражають залежність каламутності, забарвлення, рН та лужності обробленої коагулянтом води від кількості введеного коагулянту і визначають його оптимальну дозу.

Лабораторна робота №13
**Порівняння ефективності коагулювання різними
 коагулянтами в зимовий період**

Перебіг процесу коагулювання з використанням сульфату алюмінію значною мірою залежить від температури очищуваної води. При низьких температурах (1...2 °C) уповільнюються процеси утворення та осідання пластівців $Al(OH)_3$, у воді накопичується велика кількість залишкового алюмінію. Тому в зимовий період алюмінієвий коагулянт замінюють іншими видами. Застосовують, наприклад, $FeCl_3$ або суміш сульфату алюмінію та хлориду заліза III (1:1).

Залізні коагулянти мало чутливі до температури води, але можливе утворення дрібних пластівців, осідання яких триває досить довго.

При обробці води змішаним коагулянтом процес утворення та осідання пластівців відбувається більш рівномірно і швидко закінчується навіть за низьких температур.

Методика проведення порівняльних дослідів

Попередньо визначають забарвлення, каламутність, лужність та pH досліджуваної води.

В 12 циліндрів наливають по 250 см³ досліджуваної води. У циліндри 1, 4, 7, 10 у відповідності із таблицею додають v_k , см³, розчину сульфату алюмінію (25 мг/см³), у циліндри 2, 5, 8, 11 – хлорид заліза III (25 мг/см³), у циліндри 3, 6, 9, 12 – послідовно сульфат алюмінію та хлорид заліза в кількостях $v_k' = v_k/2$, см³. Воду у циліндрах перемішують мішалкою 10 разів. Відмічають початок дослідів.

Номер циліндра	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Вид коагулянту	$Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3$	змішаний	$Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3$	змішаний	$Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3$	змішаний	$Al_2(SO_4)_3$	$FeCl_3$	змішаний
Об'єм розчину коагулянту, що вводиться у циліндр, v_k , см ³	1,0	1,0	0,5+0,5	1,5	1,5	0,75+0,75	2,0	2,0	1,0+1,0	2,5	2,5	1,25+1,25
Доза коагулянту, яка відповідає введеному об'єму розчину, D_k , мг/дм ³	100	100	100	150	150	150	200	200	200	250	250	250

Подальші дії ідентичні описаним у лаб.роб.№12.

Результати оформляють у вигляді таблиці:

Номер циліндра	Вид коагулянту	$D_k, \text{мг/дм}^3$	Час, хв.		Вид пластівців	Показники якості води після обробки її коагулянтном			
			$t_{\text{пл}}$	$t_{\text{ос}}$		$K, \text{мг/дм}^3$	$З, \text{град.}$	$L, \text{ммоль/дм}^3$	pH

Аналізуючи результати дослідів роблять висновки про ефективність кожного з видів застосованих коагулянтів.

Лабораторна робота №14 Визначення оптимальної дози хлору *

Знезараження води здійснюють для звільнення її від хвороботворних (патогенних) мікроорганізмів. Знезараженню піддається очищена вода перед подачею її споживачу. Методи знезараження поділяють на *реагентні* й *безреагентні*.

До реагентних методів відносять обробку води сильними окиснювачами, іонами важких металів (срібло, мідь) тощо. Як окиснювачі використовують хлор та його сполуки, які містять активний хлор (оксид хлору (IV), гіпохлорити, хлораміни) озон.

До безреагентних методів відносять термічну й ультразвукову обробку води, застосування ультрафіолетового чи іонізуючого випромінювання.

Найпоширеніший метод знезараження води – *хлорування*. Обробка води хлором призводить до ураження й загибелі бактеріальної клітини внаслідок окиснення і хлорування складових частин клітини мікроорганізму.

Для порівняння знезаражуючої дії різних хлорвмісних речовин введено поняття *активний хлор*. Це кількість газоподібного хлору, яка відповідає кількості кисню, що виділяється хлорвмісною речовиною при введенні її у воду.

Бактерицидний ефект хлорування значною мірою залежить від початкової дози хлорвмісного реагенту і тривалості контакту його з водою. На руйнування бактеріальних клітин витрачається лише незначна частина введенного у воду хлору. Більша його частина як сильного окиснювача витрачається на реакції з різними органічними і мінеральними домішками води – гумусовими речовинами, солями заліза II, нітритами, аміаком, сірководнем, молекулярними органічними речовинами.

Кількість хлору, яка витрачається на окиснення органічних і неорганічних домішок, визначає *хлоропоглинання* води. Хлоропоглинання води – це кількість хлору (мг/дм^3), яка витрачається при 30-хвилинному контакті його з досліджуваною водою. Хлоропоглинання характеризує ступінь забруднення води: чим воно вище, тим більше у воді домішок, які реагують з хлором. Хлоропоглинання річкової та

озерної води, як правило, не перевищує $2...2,5 \text{ мг/дм}^3$, а у ставах і болотах досягає 5 мг/дм^3 .

Дозу хлорвмісного реагенту вибирають таким чином, щоб після окиснення всіх домішок у воді залишався деякий надлишок хлору (залишковий хлор) для того, щоб уникнути можливого вторинного бактеріального забруднення води під час проходження її по водопровідній мережі. Відповідно до ДержСанПіН, після 30-хвилинного контакту хлору з водою кількість залишкового активного хлору повинна складати $0,3...0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Одночасно із знезараженням при хлоруванні зменшується вміст солей заліза, запобігається розвиток біологічних обростань водоочисних споруд та ін.

Залежно від цільового призначення хлорування методи обробки води хлором поділяють на дві групи: *остаточне хлорування (постхлорування) і попереднє хлорування.*

Остаточне хлорування – завершальний етап очищення води (власне знезараження), який проводиться після всіх інших методів її обробки. Розрізняють три способи остаточного хлорування: *нормальне, перехлорування і комбіноване хлорування.*

Нормальне хлорування застосовується для знезараження води, яку беруть із надійних в санітарному відношенні джерел з хорошими фізико-хімічними показниками. Доза хлору, звичайно, невелика, вона повинна забезпечувати необхідний бактерицидний ефект і не погіршувати при цьому органолептичних показників якості води. *Оптимальною* вважається така найменша доза хлору, яка після 30-хвилинного контакту з водою забезпечує величину залишкового хлору у воді в межах $0,3...0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Якщо нормальне хлорування не забезпечує потрібного бактерицидного ефекту чи призводить до погіршення органолептичних властивостей води, застосовується перехлорування, тобто обробка води підвищеними дозами хлору ($1...10 \text{ мг/дм}^3$). Перехлорування усуває багато неприємних запахів і присмаків води, руйнує ряд токсичних речовин. Надлишок хлору, який перевищує допустиму норму ($0,3...0,5 \text{ мг/дм}^3$) видаляється із води дехлоруванням. При невеликому надлишку хлор видаляється аерацією, а при великому – хімічними методами: обробка води сірчистим газом і гіпосульфідом натрію, фільтрування через зернисте активоване вугілля, тощо.

Комбіноване хлорування, тобто хлорування води спільно з іншими знезаражуючими речовинами (іони срібла, міді, перманганат калію, аміак), застосовується для підсилення бактерицидного ефекту дії хлору чи для фіксації його у воді на довший строк (хлорування з амонізацією).

Попереднє хлорування – це обробка води хлором, яка передує іншим процесам її очищення. Попереднє хлорування використовують для боротьби із значним бактеріальним забрудненням води, при підвищеному ступені забарвлення води, для покращення протікання деяких процесів очищення води, а також для підтримання належного санітарного стану очисних споруд. При цьому вживають великі дози хлору, але на відміну від перехлорування метод не потребує подальшого дехлорування води. Надлишок хлору практично повністю видаляється

у процесі проходження води по спорудах водоочисної станції. Надлишковий активний хлор витрачається на окиснення різних домішок, сорбується пластівцями гідроксидів алюмінію та заліза, окиснює органічні речовини, які накопичуються у завантаженні фільтрів, тощо.

Методика визначення оптимальної дози хлору

У 8 конічних колб місткістю 250 см³ з добре підігнаними гумовими пробками наливають по 100 см³ досліджуваної води. В кожну колбу приливають хлорну воду з концентрацією активного хлору 0,1 мг/см³ в такій кількості:

Номер колби	1	2	3	4	5	6	7	8
Кількість хлорної води, що приливається, v_{Cl} , см ³	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	5,0
Доза хлору, відповідна введеному об'єму, D_{Cl} , мг/дм ³	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	2,0	3,0	5,0

Після введення хлорної води колби швидко і щільно закривають пробками, перемішують і відзначають час початку дослідів. Через 30 хвилин в кожній колбі визначають залишковий активний хлор x_{Cl} .

Результати оформлюють у вигляді таблиці:

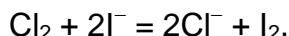
Номер колби	D_{Cl} , мг/дм ³	x_{Cl} , мг/дм ³

Будують графік залежності залишкового хлору від дози введеного хлору, за яким визначають оптимальну дозу хлору.

Методика визначення залишкового хлору

У колбу з 100 см³ досліджуваної води додають 5 см³ буферного розчину, 5 см³ 5 %-ого розчину йодиду калію і 1 см³ 2 %-ого розчину крохмалю.

За наявності активного хлору вода забарвлюється в синій колір, тому що хлор витісняє із йодиду калію вільний йод:



а йод, що виділився, забарвлює крохмаль у синій колір.

Пробу води титрують розчином тіосульфату натрію (5 ммоль/дм³) до знебарвлення. Вода знебарвлюється, коли весь йод зв'язується тіосульфатом натрію.

Вміст активного хлору x_{Cl} у пробі визначають за формулою, мг/дм³:

$$x_{Cl} = \frac{v_1 \cdot C_1 \cdot e}{v_0},$$

де v_1 – об'єм розчину тіосульфату натрію, який витрачено на титрування, см³;

v_0 – об'єм досліджуваної води, взятої на аналіз, см³ ($v_0 = 100$ см³);

C_1 – молярна концентрація еквівалента тіосульфату натрію, ммоль/дм³ (5 ммоль/дм³);

e – молярна маса еквівалента хлору, $e = 35,5$ мг/ммоль (г/моль).

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Фомин Г.С.* Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам: Энциклопедический справочник. – М.: Издательство НПО Альтернатива, 1995. – 618 с.
2. *Накорчевська В.Ф., Аргатенко Т.В.* Хімія води і мікробіологія. Вправи і методичні вказівки до їх виконання. – К.: КНУБА, 2000. – 31 с.
3. *Накорчевська В.Ф.* Хімія води: Конспект лекцій. – К.: КНУБА, 1998. – 65 с.
4. *Лурье Ю.Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 447 с.
5. *Семенов А.Д.* Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 540 с.
6. *Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды: В 2 ч.* – К.: Наукова думка, 1980. – 1206 с.
7. *Государственный контроль качества воды.* – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 688 с.

Для нотаток

Для нотаток

Навчально-методичне видання

ХІМІЯ ВОДИ І МІКРОБІОЛОГІЯ

Методичні вказівки до лабораторних робіт
для бакалаврів водних ресурсів 6.092601
"Водопостачання та водовідведення",
та бакалаврів-будівельників 6.092109
"Споруди та обладнання водопостачання
і водовідведення" денної форми навчання

Укладачі: НАКОРЧЕВСЬКА Валентина Феодосіївна,
АРГАТЕНКО Тетяна Вікторівна

Комп'ютерна верстка *М.С. Бут*

Підписано до друку 2003. Формат 60x84_{1/16}.

Папір офсетний. Гарнітура Аріал. Друк на різнографі.

Ум. друк. арк. 2,32. Обл. - вид. арк. 2,5. Ум. фарбовідб. 21.

Тираж прим. Вид. № 28/III-03. Зам. №

КНУБА. 03680. Київ-680, Повітрофлотський проспект, 31

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі

Київського національного університету будівництва і архітектури.