**БІОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ**

**Кафедра хімії**

Кваліфікаційна робота / проєкт магістра

на тему ВМІСТ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У СТІЧНИХ ВОДАХ МІСТА ЗАПОРІЖЖЯ

Виконала: студентка 2 курсу, групи 8.1021

спеціальності 102 Хімія освітньої програми Хімія Полєвик К.О.

Керівник доцент, доцент, к. б. н. Корнет М.М.

Рецензент професор кафедри хімії, д.ф.н. Омельянчик Л.О.

Запоріжжя 2022

|  |
| --- |
| Біологічний факультет |
| Кафедра хімії |
| Рівень вищої освіти магістр |
| Спеціальність 102 Хімія |
| Освітня програма Хімія |

|  |
| --- |
| **ЗАТВЕРДЖУЮ** |
| Завідувач кафедри хімії, д.б.н., проф. |
|  О.А. Бражко |
|  |  |  |  |  |  | «28» | жовтня | 2021 року |  |
| **З А В Д А Н Н Я**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТЦІ |
| Полєвик Катерині Олегівні |
| 1. Тема роботи | Вміст важких металів у стічних |  |  |  |  |
| водах міста Запоріжжя |
| керівник роботи | Корнет Марина Миколаївна, к.б.н., доцент |  |
| затверджена наказом ЗНУ від | « | 09 | » | листопада | 2022 р. | № | 1553-с |
| 2. Строк подання студентом роботи | 7 грудня 2022 року |  |  |
| 3. Вихідні дані до роботи | огляд літературних джерел на тему |  |
| вміст важких металів у стічних водах міста Запоріжжя. |
| 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно |
| розробити): | визначити вміст важких метлів у стічній воді та проаналізувати |
| дані дослідження, виділити сучасні технології видалення іонів металів із |
| води, розробити рекомедації по зменшенню забруднення води. |
| 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язковихкреслень): 4 таблиці, 7 рисунків. |

1. Консультанти розділів роботи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Розділ | Консультант | Підпис, дата |
| завданнявидав | завданняприйняв |
| 4 | Петруша Ю.Ю., к.б.н., доцент |  |  |

1. Дата видачі завдання 28.10.2021 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітки |
| 1. | Огляд літературних джерел. Написання відповідного розділу роботи. | жовтень 2021 −листопад 2021 | Виконано |
| 2. | Вивчення, засвоєння методик дослідження. Написання відповідного розділу роботи. | грудень 2021 −жовтень 2022 | Виконано |
| 3. | Засвоєння правил техніки безпеки під час виконання експериментальної частини. Написання відповідного розділу роботи. | травень 2022 −жовтень 2022 | Виконано |
| 4. | Проведення експериментальних досліджень. Оформлення результатів експерименту (таблиці, рисунки); написання відповідного розділу роботи. | травень 2022 −листопад 2022 | Виконано |
| 5. | Оформлення кваліфікаційної роботи. Передзахист роботи. | вересень − листопад 2022 | Виконано |
| 6. | Рецензування кваліфікаційної роботи | грудень 2022 | Виконано |
| 7. | Захист кваліфікаційної роботи | грудень 2022 | Виконано |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Студентка |  | К.О.Полєвик |
| Керівник роботи |  | М.М. Корнет |
| **Нормоконтроль пройдено** |
| Нормоконтролер |   | Ю.Ю. Петруша |

[ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ](#_bookmark0) [І ТЕРМІНІВ 7](#_bookmark0)

[ВСТУП 8](#_bookmark1)

1. [ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ 11](#_bookmark2)
	1. [Джерела забруднення водойм важкими металами 11](#_bookmark3)
	2. [Вплив важких металів на біоту водних екосистем та на людину 14](#_bookmark4)
2. [МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ 22](#_bookmark5)
	1. [Атомно-абсорбційний метод аналізу 22](#_bookmark6)
	2. [Метод молекулярної спектрофотометрії 26](#_bookmark7)
	3. [Люмінесцентний аналіз 31](#_bookmark8)
	4. [Методики визначення важких металів 33](#_bookmark9)
		1. [Фотометричний метод визначення ніколу в стічних водах 33](#_bookmark10)
		2. [Методика визначення іонів феруму 34](#_bookmark11)
		3. [Методика визначення іонів купруму 36](#_bookmark12)
3. [ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА 38](#_bookmark13)
	1. [Вимір масової концентрації феруму з сульфосаліциловою кислотою 38](#_bookmark14)
	2. [Хімічні показники вмісту важких металів, перманганатна окиснюваність](#_bookmark15)

[у воді міста Запоріжжя 41](#_bookmark15)

* 1. [Визначення вмісту мангану у воді фотометричним методом 42](#_bookmark16)
1. [СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДАЛЕННЯ ІОНІВ МЕТАЛІВ ІЗ ВОДИ 44](#_bookmark17)
2. [ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ 48](#_bookmark18)

[ВИСНОВКИ 53](#_bookmark19)

[ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ 54](#_bookmark20)

[ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ 55](#_bookmark21)

У роботі 61 сторінка 4 таблиці, 7 рисунків, було використано 56 літературних джерел, із них 24 іноземною мовою.

Об’єктом дослідження є стічні води міста Запоріжжя.

Предметом дослідження є вміст важких металів Fe, Mn, Cu, Zn в стічних водах міста Запоріжжя.

Методи досліджень та апаратура – теоретичний, хімічний, розрахунковий, експериментальний; фотоколориметр, ваги аналітичні лабораторні, хімічний посуд, хімічні реактиви (амоній хлористий. 25%-ий розчин водного аміаку, хлоридна кислота, галун залізоамонійний, сульфосаліцилова кислота, нітратна кислота, аргентум нітрат, персульфат амонію).

Метою кваліфікаційної роботи є дослідження вмісту Fe, Mn, Cu, Zn в стічних водах міста Запоріжжя.

Теоретично та експериментально визначено ступінь забруднення водних екосистем території міста важкими металами та оцінено його небезпеку.

ВАЖКІ МЕТАЛИ, ЗАБРУДНЕННЯ СТІЧНИХ ВОД, РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ЗМЕНШЕННЮ ЗАБРУДНЕННЯ.

ABSTRACT

In the work, 61 pages, 4 tables, 7 figures, 56 literary sources were used, 24 of them in a foreign language.

The object of the study is the wastewater of the city of Zaporizhzhia.

The subject of the study is the content of heavy metals Fe, Mn, Cu, Zn in the wastewater of the city of Zaporizhzhia.

Research methods and equipment - theoretical, chemical, computational, experimental; photocollimeter, analytical laboratory scales, chemical utensils, chemical reagents (ammonium chloride, 25% aqueous ammonia solution, hydrochloric acid, ferric ammonium alum, sulfosalicylic acid, nitric acid, argentum nitrate, ammonium persulfate).

The purpose of the qualification work is to study the content of Fe, Mn, Cu, and Zn in the wastewater of the city of Zaporizhzhia.

The degree of contamination of water ecosystems of the city territory with heavy metals was determined theoretically and experimentally and its danger was assessed.

HEAVY METALS, WASTEWATER POLLUTION, RECOMMENDATIONS FOR POLLUTION REDUCTION.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

А – абсорбція

ААС – атомно-абсорбційна спектрометрія ВМ – важкі метали

ГДК – гранично допустимі концентрації речовин

КФК – колориметр фотоелектричний концентраційний СФ – спектрофотометр

рН – водневий показник нм – нанометри

г – грам

мг – міліграм л – літр

мкг – мікрограм см – сантиметр

дм3 – дециметр кубічний см3 – сантиметр кубічний λ – довжина хвилі, нм

с – концентрація, моль/л

ℇ – коефіцієнт поглинання, л/моль • см

𝑃 – товщина поглинаючого шару, см

ВСТУП

До початку ХХ ст. домінувала думка про невичерпність та самовідновлюваність запасів прісної води, що нарешті спричинило до значної деградації як світових, так і вітчизняних водних ресурсів, їх дефіциту, ослабленню й погіршенню якості. Забруднення басейнів малих річок, які через незначні площі водозборів є найбільш чутливими до впливу техногенезу, є гострою екологічною проблемою, яка належить до гідросфери [1].

Стрімкий ріст та розвиток промисловості поблизу річок спричинили більше навантаження на річку. Вода забруднюється зі збільшенням навантаження, і спостерігається погіршення екологічного стану. Інтерфейс вода-ґрунт і вода-атмосфера є середовищем, через яке переміщуються важкі метали. Як антропогенна діяльність, так і геохімічні процеси відповідають за забруднення екосистем важкими металами [2].

Важкі метали (ВМ) є особливо небезпечні за впливом на екологічну систему водних об'єктів. Вони належать до класу консервативних забруднюючих речовин, що не застосовуються та не розкладаються при міграції по трофічних ланцюгах гідроекосистем, мають мутагенну та токсичну дію, їх надлишок знижує інтенсивність проходження біохімічних процесів у водних об'єктах. Вони є забруднювачами водойм зростаючого значення, що зумовлено стійкістю в довкіллі й високою біологічною активністю.

Регіональне забруднення малих річок ВМ обумовлює погіршення якості води в середніх і великих річках та створює велику загрозу для здоров'я населення в багатьох регіонах України, збільшуючи ризик впливу на організм людини канцерогенних та мутагенних факторів [3].

Важкі метали (ВМ) опиняються в природних водоймах переважно з промисловими, сільськогосподарськими й побутовими стічними водами (внаслідок видобутку руд та горючих корисних копалин, виплавки чавуна й

сталі, внесення добрив і т.п.). Найбільшими забруднювачами водойми є такі метали, як Zn, Cu, Mn, Fe, Co, Pb, Cd, Hg, Ni та Cr [4].

На відміну від органічних забруднюючих речовин, важкі метали не підлягають деструкції й біодеградації, а лише перерозподіляються між окремими компонентами водних екосистем: водою, донними відкладами, біотою. Сполуки важких металів при надходженні у водойми включаються у внутрішньоводоймні процеси й мігрують по компонентах водних екосистем: вода, завислі речовини (мінеральні та органічні), донні відклади [5].

Таким чином, трансформація важких металів здійснюється тільки у напрямку міжфазових взаємодій. Основними процесами, у яких залучені метали у водоймі, визначають осадження, співосадження, сорбцію-десорбцію, акумуляцію й комплексоутворення.

Об’єкт дослідження: стічні водойми міста Запоріжжя, котрі забруднені важкими металами.

Предмет дослідження: вміст важких металів Fe, Mn, Cu, Zn в стічних водах міста Запоріжжя.

Мета роботи: дослідити вміст Fe, Mn, Cu, Zn в стічних водах міста Запоріжжя.

Завдання роботи:

1. Провести огляд літературних джерел щодо забруднення стічних водоймищ важкими металами, методами визначення їх вмісту та усунення іонів металів із води.
2. Розглянути джерела забруднення стічних вод та виділити основні.
3. Розглянути вплив важких металів на навколишнє середовище.
4. Дослідити вміст важких металів у воді, на прикладі загального феруму.
5. Проаналізувати хімічні показники вмісту важких металів (Zn, Cu), перманганатну окиснюваність за даними комунального підприємства

«Водоканал».

1. Дослідити вміст мангану у воді фотометричним методом.

Наукова новизна: досліджено ступінь забруднення водних екосистем території міста важкими металами та оцінено його небезпеку.

Практичне значення: запропоновано рекомендації по зменшенню забруднення водойм міста Запоріжжя.

Основні положення та результати дослідження доповідались та обговорювалися на XIV регіональній науково-практичній конференції студентів, молодих вчених та аспірантів «Дослідження вмісту важких металів у воді - 2021» (Запоріжжя, 19-24 квітня 2021 р.); на X міжнародній науково- практичній конференції студентів, аспірантів, докторатів і молодих вчених

«Визначення вмісту важких металів у стічних водах міста Запоріжжя - 2022» (Запоріжжя, 3 грудня 2022 р.).

За матеріалами дослідження опубліковано 2 друковані роботи: 2 тези за матеріалами наукових конференцій.

* 1. ОГЛЯД НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ
	2. Джерела забруднення водойм важкими металами

Вода одна із природних ресурсів, який виконує різноманітні функції, зокрема і забезпечення життєдіяльності живих організмів. Споживання води на різні потреби зростає, певна кількість після її використання повертається у водойми у вигляді стічних вод, призводячи до забруднення водойм та водотоків [6, 7].

Основою водних ресурсів є річковий стік. Під впливом господарської діяльності спостерігається зменшення річного стоку рік. Якість води водойм та водотоків оцінюється за фізичними, хімічними та гідробіологічними показниками, які визначають клас якості води та ступінь їх забрудненості [8].

Поверхневі водойми та водотоки зазнають значного антропогенного навантаження. Найбільший вплив виявляється на малі річки та водотоки. Основне техногенне навантаження здійснюється у місцях розташування населених місць та промислових підприємств, включаючи випуски стічних вод, та надходження забруднюючих речовин з водозбірної території з поверхневим стоком. В деяких випадках на значних ділянках прибережної смуги спостерігається руйнація, розмив та підтоплення, що є додатковим джерелом забруднення водних об'єктів. Наявність забруднюючих речовин у водному середовищі, зокрема небезпечних важких металів і металоїдів, є важливою екологічною та соціальною проблемою [9-11].

Присутність важких металів на поверхні води може бути спричинена природною чи антропогенною діяльністю. До природної діяльності можна віднести вивітрювання гірських порід, які містять метали, виверження вулканів, лісові пожежі та природні процеси вивітрювання. В результаті цієї діяльності метали потрапляють в різні сторони довкілля. Важкі метали можна знайти у формі сульфатів, гідроксидів, оксидів, сульфідів, фосфатів і силікатів. Велике нагромадження важких металів у воді в основному поєднано з

антропогенною та природною діяльністю. Іншими прикладами природних джерел, через які важкі метали забруднюють воду, є вологе та сухе відкладення атмосферних солей, взаємодія води та гірських порід або взаємодія води з ґрунтом. Тоді як раптове зростання урбанізації та індустріалізації є прикладом антропогенних джерел, через які вода забруднюється [12].

За останні роки значного поширення набув термін «важкі метали», який описує широку групу забруднюючих речовин (забрудників). Автори по-різному пояснюють значення терміну ВМ у своїх наукових та прикладних роботах. Кількість елементів, що відносять до групи ВМ змінюється, їх розглядають за численними характеристиками: атомною масою, щільністю, токсичністю, поширеністю у природному середовищі, ступенем залучення до природних та техногенних циклів. Також під визначення ВМ відносять метали, що відносяться до крихких (Bi) або металоїдів (As).

У наукових роботах, де велику увагу приділено проблемам забруднення навколишнього середовища та екологічного моніторингу, на сьогодні до ВМ відносять більше ніж 40 металів Д.І. Менделєєва за атомною масою понад 50 у.о.: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi та ін. Велику роль при категоруванні ВМ відіграють такі умови як висока токсичність до живих організмах при достатньо низькій концентрації та здатність до біоакумуляції та біомагніфікації. Майже всі метали, що підпадають під це визначення приймають активну участь у біологічних процесах та містяться в складі багатьох ферментів. Розглянувши класифікацію Н.Реймерса, ВМ вважать метали щільність понад 8 г/см3. Отже, до важких металів відносять Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg.

Під визначення важкі метали відносять велику кількість елементів. Проте, на думку науковців, які займаються практичною діяльністю, пов’язаною з організацією спостережень за станом та забрудненням навколишнього середовища, сполуки цих елементів далеко не рівноцінні як забрудники. Через те в більшості наукових робіт відбувається звуження рамок групи ВМ, у відповідності до критеріїв пріоритетності, обумовлених напрямом та

специфікою робіт. У роботах Ю. А. Ізраеля у перерахуванні хімічних речовин, що підлягають визначенню у природних середовищах на фонових станціях у біосферних заповідниках, у розділі важкі метали перелічені як Pb, Hg, Cd, As. З іншої сторони, відповідно до рішення Цільової групи з викидів важких металів, що працює під егідою Європейської Економічної Комісії ООН і займається збиранням та аналізом даних про викиди забруднюючих речовин у європейських країнах, до важких металів віднесли лише Zn, As, Se та Sb.

Забруднюючі речовини (забрудники) – це сполуки, які потрапляють у довкілля або формуються в ньому в кількостях, що виходять за межі звичайної наявності – граничних природних коливань або середнього природного фону.

Це приводить до негативних змін у середовищі: до захворювання або загибелі живих організмів. Такі властивості забруднюючих речовин називаються токсичними, а вони самі – токсичними забрудниками. Значна кількість токсичних забрудників у водному середовищі набуває токсичних властивостей, що й викликає отруєння (інтоксикацію) гідробіонтів [13].

Джерелом надходження важких металів до навколишнього середовища є відходи практично всіх галузей народного господарства (табл. 1.1). Найбільш токсичними є іони металів – Cu, Cd, Pb, Cr, Mn, Hg, Fe, Al, Se, Sn.

Таблиця 1.1 – Важкі метали у промислових виробництвах

|  |  |
| --- | --- |
| Важкі метали | З яких виробництв потрапляють у воду |
| Манган | Із марганцевозбагачувальних фабрик, металургійних заводів,підприємств хімічної промисловості, шахт. |
| Купрум | Із підприємств хімічної, металургійної промисловості, шахтнихвод. |
| Цинк | Із рудозбагачувальних фабрик паперового та хімічноговиробництва. |
| Плюмбум | Із металургійних, хімічних та нафтопереробних заводів. |
| Кадмій | Із свинцево-цинкових заводів, рудозбагачувальних фабрик,хімічних підприємств, шахт. |

|  |  |
| --- | --- |
| Кобальт | Із металургійних, металообробних, хімічних заводів. |
| Нікель | Із нікелевих збагачувальних фабрик, хімічної промисловості. |

Проблема забруднення стічних вод металами викликає занепокоєння в експертів. Зростання кількості викидів важких металів спричиняє посилений техногенний тиск на природне середовище. Окремі органічні та неорганічні речовини значною мірою змінюють органолептичні властивості води, або ж роблять її взагалі непридатною для споживання та промислових цілей. Частковим розв'язанням проблеми забруднення стічних вод важкими металами можна вважати систематичний технохімічний аналіз стічних та промислових вод, який є завданням санітарно-епідеміологічних служб та заводських лабораторій. Але так чи інакше будь-яке забруднення треба контролювати для збереження та підвищення якості життя людини [14, 15].

* 1. Вплив важких металів на біоту водних екосистем та на людину

Вода з естуаріїв і прісна вода досі не забруднена певною мірою, але ця вода також знаходиться під загрозою забруднення в довгостроковій перспективі через відкладення металів через діяльність людини в минулому. Вода в річках і озерах може бути сильно забруднена в залежності від обсягу стоку й близькості до точкових джерел. Завдяки людській цивілізації вміст елемента у воді підвищується [16].

Одним із головних джерел забруднення води є важкі метали, оскільки вони переповнюють важливі види опосередковано через біологічні ланцюги або безпосередньо через хімічні зміни у воді. Існує три потенційних шляхи, якими важкі метали потрапляють в організм риби: через зябра, тіло й через травний тракт риби. Зябра відповідають за негайне поглинання металів з води, тоді як вважається, що поверхня тіла відіграє меншу роль у надходженні цих елементів

у рибини. Змінюючи нормальну діяльність численних ферментів і метаболітів, накопичення цих важких металів у тканинах викликає значні біохімічні, фізіологічні та гістологічні зміни в рибі та іншій прісноводній фауні.

Риби є одними з найпоширеніших істот у водній екосистемі, і їх сприйнятливість до отруєння металами може вказувати на ступінь біологічного впливу забруднення металами. Важкі метали, такі як As, Cd, Cu, Cr, Fe, Pb, Mn, Hg, Ni, Zn і олово (Sn), є основними забруднювачами, які викликають серйозну токсичність у риби. Через важкі метали фізіологічні та біохімічні функції як у тканинах, так і в крові рибини можуть бути змінені. Сполуки As і неорганічні As, Cd, Ni, кремнезем у кристалічній формі, берилій і його сполуки вважаються хімічними канцерогенами, що спричиняє розвиток раку всередині риб.

Згідно з дослідженням, у статевих залозах риб було виявлено підвищену кількість цинку, плюмбуму, кадмію, купруму, ртуті та кадмію. Це спричиняє забруднення ікри та сперми, і, крім того призводить до зниження плідності риби та ембріонального розвитку. Кількість виведених личинок була зменшена через анатомо-функціональні відхилення під час ембріонального розвитку. Деякі щойно народжені личинки загинули невдовзі після вилуплення в результаті поглинання плюмбуму та купруму. Чутливість важких металів пригнічує секрецію естрогенів і андрогенів і викликає патологічну диференціацію у риб. На репродуктивні тканини статевих залоз риб впливають такі стоки, як промислові та сільськогосподарські відходи, пестициди та важкі метали [17].

Цинк накопичується на зябрах риб. Це тягне за собою пригнічуючий вплив на тканинне дихання, що спричиняє до гіпоксії та смерті. Забруднення цинком також викликає аномалії в структурі апарату штучної вентиляції легень і серця. Цинк є токсикантом, який руйнує тканини зябер, порушує кислотно- лужний та іонний баланс і викликає гіпоксію у риб.

Що ще важливіше, важким металом для нейротоксичності є Hg. У той час як інші чинники відіграють певну роль у нейротоксичності, ртуть має серйозний вплив як на риб, так і на людей.

Канцерогенні метали, такі як кадмій, миш'як, нікель і хром можуть пошкодити ДНК, видаляючи пари основ, мутуючи її або атакуючи її радикальним киснем. Порушення розвитку в риб може викликати кадмій, нікель, ртуть, хром, плюмбум, миш'як. Коли через це накопичення цих важких металів у воді стає надмірним, можна побачити багато фізичних впливів на рибу. Плавці вкорочуються; зябра недорозвинені; здебільшого спостерігалися функції печінки та плавників мальків [18].

Шкідлива дія важких металів найбільше впливає на смертність, розмноження, індивідуальні темпи розвитку та фізіологічну працездатність риб. Спостерігався вплив на фізичне функціонування та хімічні параметри в тканинах і крові риб, які живуть у воді, забрудненій металами. Повідомлялося, що риби, які піддавалися дії металів, розвинули дефекти імунної системи, що зробило їх більш сприйнятливими до інфекційних інфекцій і збільшило їх шанси на смерть [19].

Для росту рослин деякі ВМ, такі як As, Cd, Hg, Pb і Se, не важливі, оскільки вони не виконують у них жодної відомої фізіологічної функції. Інші, такі як Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni та Zn, є ключовими елементами, які необхідні для нормального розвитку рослинності й метаболізму, але їх кількість може швидко перевищити відповідні рівні, що призводить до отруєння.

Концентрації важких металів у флорі залежать від виду рослин. Ефективність, з якою різні рослини поглинають метали, вимірюється поглинанням рослин або факторами передачі металів із ґрунту в рослину. Важкі метали є отруйними та фітотоксичними для рослинності, що призводить до таких хвороб, як хлороз, поганий розвиток та зниження врожайності, а також до зниження поглинання поживних речовин, метаболічних проблем у рослин та зниження здатності фіксувати молекулярний азот у бобових рослин.

Важкі метали, такі як Cd, Pb і Ni, навіть у невеликій їх концентрації в рослинах можуть бути небезпечними для них. Отруєння цим важким металом призведе до складної взаємодії між основними неприємними іонами та додатковими необхідними або несуттєвими іонами. Метали впливають на

активність ферментів, замінюючи іони металів з ферментів металів, а також перешкоджають росту рослин.

Деякі виняткові метали є життєво важливими для флори, оскільки вони виявляють свою роль у катаболізмі рослин і біосинтезі, разом як кофактори для ферментів і як метаболічний вихід. Наприклад, Zn, Fe, Cu, Cr і Co є важливими поживними речовинами, але коли їх кількість збільшується, вони стають токсичними [20].

Найнебезпечнішим елементом у ґрунті є плюмбум. Отруєння Pb у ґрунті викликається скиданням осаду міських стічних вод, гірничо-металургійними роботами, Pb-вмісними фарбами, папером і целюлозою, бензином і вибуховими речовинами. Отруєння Pb пригнічує дію ферментів, створює дисбаланс води, змінює проникність мембран і порушує мінеральне живлення [21].

У зв’язку з тим, що водяні рослини відзначаються значною адсорбційною здатністю й накопичення важких металів у їх тканинах відображає рівень забруднення водного середовища металами, то водяні макрофіти можна ефективно застосовувати в системі моніторингу забруднення води, а також в біоремедіаційних технологіях, які мають такі переваги як легкодоступність, дешева вартість та екологічна чистота [22].

Люди можуть безпосередньо контактувати з важкими металами, споживаючи заражені харчові продукти, морських тварин і пити воду, через вдихання забрудненого повітря у вигляді парів пилу або через професійний вплив на робочому місці. Ланцюг забруднення важкими металами майже здебільшого дотримується цього циклічного порядку: від промисловості до атмосфери, ґрунту, води та харчових продуктів, потім людини.

Всім давно відомий такий метал як манган (Mn). Він є надзвичайно поширеною сполукою, знаходиться скрізь на землі. Манган є одним із трьох токсичних незамінних мікроелементів, а це означає, що він не тільки необхідний людям для виживання, але також є токсичним у доволі високих концентраціях в організмі людини. Коли люди не доживають до рекомендованих добових норм,

їхнє здоров’я погіршується. Але коли використання дуже високе, також виникнуть проблеми зі здоров'ям.

Вживання мангану людиною в основному відбувається через їжу, таку як шпинат, чай і трави. Харчові продукти, які містять найвищі концентрації, це зернові та рис, соєві боби, яйця, горіхи, оливкова олія, зелені боби та устриці. Добове надходження мангану з їжею становить в середньому 3,7 (від 2,2 до 9) мг, з повітря – 0,002 мг, з питної води – до 0,064 мг. Дефіцит мангану в організмі людини призводить до збоїв у функціонуванні репродуктивної, нервової та слухової систем і порушень формування скелета.

Сполуки мангану існують природним чином у навколишньому середовищі у вигляді твердих речовин у ґрунті та дрібних частинок у воді. Частинки мангану в повітрі присутні в частинках пилу. Зазвичай вони осідають на землю протягом кількох днів.

Люди підвищують концентрацію мангану в повітрі внаслідок промислової діяльності та спалювання викопного палива. Манган, який походить з людських джерел, також може потрапляти в поверхневі, ґрунтові та стічні води. Через застосування пестицидів манган потрапляє в ґрунт [23].

При неякісному очищенні води від сполук мангану, в організмі людини відбувається накопичення цього металу, що спричиняє до негативних наслідків. Перевищення норми має на людину мутагенну дію. Володіючи вираженими кумулятивними властивостями, манган накопичується в печінці, нирках, головному мозку, щитовидній і підшлунковій залозах, лімфатичних вузлах. У стратегії управління ризиками питну воду, хоч вона є незначним джерелом проникнення в організм мангану, слід аналізувати разом з іншими потенційними чинниками, які впливають на людину. Це є великою проблемою безпосередньо для України, оскільки велика кількість населених пунктів використовує підземну воду без належної очистки. Тому велика кількість мангану може опинитися в організмі людини [24].

Вплив підвищеного рівня мангану може призвести до нейротоксичності. Манганізм – це неврологічне захворювання, яке спричинене манганом.

Воно характеризується ригідністю, руховим тремором, маскоподібним виразом обличчя, порушеннями ходи, брадикінезією, мікрографією, розладом пам’яті, настрою та когнітивної функції [25].

Кобальт – важкий метал, який в певних концентраціях може спричиняти негативний вплив на організм. Оскільки він широко поширений у довкіллі, люди можуть піддаватися його впливу, вдихаючи повітря, п’ючи воду та споживаючи їжу, що містить кобальт. Контакт шкіри з ґрунтом або водою, де міститься кобальт, також може посилити вплив.

Цей важкий метал корисний тим, що входить до складу вітаміну В12 (кобаламіну), необхідний для здоров’я людини. Кобальт використовується для лікування анемії у вагітних, оскільки він стимулює вироблення еритроцитів. Загальне добове споживання цього металу змінюється й може досягати 1 мг, але майже весь він пройде через організм неадсорбованим, за винятком вітаміну B12.

Проте дуже високі концентрації кобальту можуть завдати шкоди здоров’ю людини. Коли ми вдихаємо занадто високі концентрації кобальту через повітря, то відчуваємо такі наслідки для легень, як астма та пневмонія. В основному це відбувається з людьми, які працюють з кобальтом.

Коли рослини ростуть на забруднених ґрунтах, вони накопичуватимуть дуже дрібні частинки кобальту, особливо в тих частинах рослини, які ми їмо, наприклад у плодах і насінні. Ґрунти поблизу гірничо-металургійних підприємств можуть містити дуже велику кількість кобальту, тому поглинання цього металу людиною через споживання рослин може мати наслідки для здоров’я.

При надлишку кобальту проявляються подразлива та алергійна дії. Хронічні інтоксикації характеризуються хронічними захворюваннями верхніх дихальних шляхів, органів кровотворення, нервової системи, шлунково-кишкового тракту. Можуть також розвиватися алергічні симптоми: бронхіальна астма та алергодерматоз, а також кобальтова кардіоміопатія. Токсичну дію кобальт може чинити на вагітних та розвиток плоду. Крім того, він викликає запальні процеси в стравоході та шлунку.

Купрум (Cu) є незамінним мікроелементом для людини. Він вельми

цікавий метал у біологічному співвідношенні. Щоденна потреба людського організму приблизно 0,005 г. Купрум міститься в харчових продуктах та повітрі, але найбільше його надходить в організм людини разом з питною водою. Водосховища накопичують воду з річок, в які змивається ґрунт із сільськогосподарських земель, оброблених фунгіцидами, що містять купрум [26].

Надмірна кількість важких металів потрапляє у водойми через неочищені стоки хімічних і металургійних заводів. Водоочисні станції для боротьби з водоростями також використовують сполуки купруму [27].

Що неочікувано: потенційним джерелом купруму в питній воді є мідні труби та латунні крани. Найбільша концентрація купруму у воді фіксується вранці. Це пов'язано з тим, що вночі рух потоків у трубах зупиняється, а через процеси корозії мідних (латунних) елементів відбувається накопичення купруму у воді [28].

Надлишок купруму може призвести до тяжких і часто незворотних захворювань. Токсична доза понад 250 мг. Виявлено, що така страшна хвороба, як цироз печінки пов’язана з купрумом. Надлишкове надходження купруму в організм веде до відкладення її в тканинах (хвороба Вільсона), може зʼявитися бронхіальна астма, захворювання нирок, а також просто інтоксикація організму.

Ферум є важливим елементом майже для всіх живих організмів, оскільки він бере участь у різноманітних метаболічних процесах, включаючи транспорт кисню, синтез дезоксирибонуклеїнової кислоти (ДНК) і транспорт електронів. Втім, оскільки ферум може утворювати вільні радикали, його концентрація в тканинах організму повинна суворо регулюватися, оскільки в надмірних кількостях він може призвести до пошкодження тканин. Порушення метаболізму феруму є одним з найпоширеніших захворювань людини з різноманітними клінічними проявами, починаючи від анемії до перевантаження ферумом, і, можливо, до нейродегенеративних захворювань.

Основними джерелами сполук феруму в поверхневих водах є процеси хімічного вивітрювання гірських порід, які супроводжуються їх механічним руйнуванням і розчиненням. У процесі взаємодії у природних водах мінеральними

та органічними речовинами утворюється складний комплекс сполук феруму, що знаходяться у воді в розчиненому, колоїдному і зваженому станах. Значні кількості феруму надходять з підземним стоком і зі стічними водами підприємств металургійної, металообробної, текстильної, лакофарбової промисловості та сільськогосподарськими стоками [29].

Підвищений вміст феруму може призвести до розвитку онкологічних захворювань. При запуску механізму утворення злоякісної пухлини її клітини починають активно поглинати ферум, необхідне для їх подальшого розвитку. Існує думка, що надлишок феруму може привести до виникнення інфарктів і інсультів. Рідина з надмірним вмістом феруму шкідлива для шкіри. Не можна митися водою з ферумом: після миття відчувається стянутість і сухість шкіри, розвиваються різні дерматити й запалення. У разі високого вмісту феруму у воді волосся стає жорсткими, ламкими та з липким нальотом.

2 МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

* 1. Атомно-абсорбційний метод аналізу

Атомно-абсорбційна спектроскопія (ААС) – це інструментальний метод аналізу для швидкого аналізу слідів металів. Він заснований на поглинанні світла за довжини хвилі елемента атомами основного стану в полум’яній або електротермічній графітовій печі [30].

Полумʼяна атомізація – випаровування й атомізація відбуваються в полумʼя (пропан/повітря, ацетилен/повітря, ацетилен/закис азоту). Обумовлені концентрації елементів в розчинах 0,01 – 100 мг/л.

Полумʼя – це низькотемпературна плазма, в якій протікають хімічні реакції, які підтримують температурний баланс. В атомній спектроскопії переважно використовують полумʼя горючих газів у суміші з окислювачами.

При цьому необхідно виконання наступних вимог:

* + - полумʼя повинно бути прозорим в області 190-850 нм;
		- слабке власне випромінювання;
		- максимальна ефективність атомізації елементів;
		- мінімальний ступінь іонізації елементів;
		- висока стабільність горіння.

Полумʼя ацетилен-повітря здобуло максимального розповсюдження в атомно-абсорбційному аналізі. Воно має високу проникність в області від 200 нм, дуже слабку власну емісію та забезпечує високу ефективність атомізації більш ніж 30 елементів, у тому числі лужних, лужноземельних елементів і деяких металів (купрум, кадмій, талій, плюмбум, манган, ферум, кобальт і нікол). Максимальна температура полумʼя 2300 0С. Найбільш стабільним є це полумʼя, температура його слабо залежить від робочої висоти й стехіометрії та становить 2250 ± 50 0С [31].

Електротермічна атомізація (ЕТА) – випаровування й атомізація проби відбувається в графітовій трубці (графітової печі), яка нагрівається електричним

струмом до температур 1500 - 3000°С (в залежності від властивостей визначального елемента). Обумовлені концентрації елементів у розчинах 0,01 - 100 мкг/л [32].

В ААС функціонує закон Бугера-Ламберта-Бера, як у всіх методах, які засновані на селективному поглинанні аналізованих речовиною електромагнітного випромінювання. У цьому випадку він записується у вигляді наведеної формули 2.1:

А=lg(Іo/I)=kℓc, (2.1)

де А – абсорбція;

Іo – початкова інтенсивність збудливого випромінювання; І – інтенсивність світла, що проходить;

*K* – коефіцієнт поглинання (л/моль • см); ℓ – товщина поглинаючого шару (см);

c – концентрація (моль/л).

Селективність методу засвідчується двома основними факторами:

* властивістю атомів поглинати світло тільки з певною довжиною хвилі (резонансне поглинання) – виключення вплив на аналітичний сигнал інших атомів, присутніх в атомізаторі;
* використання коректора неселективного поглинання – врахування внеску у вимірюваний сигнал, повʼязаного з поглинанням світла молекулами й твердими частинками.

Типові застосування AAС:

* кількісні концентрації металів у розчині;
* аналіз свинцю у фарбі;
* моніторинг слідів металів у промислових стічних водах;
* аналіз добавок і чистоти сталей та інших металевих сплавів;
* аналіз забруднювачів низького рівня.

Прилади для атомно-абсорбційного аналізу – атомно-абсорбційні спектрометри (рис. 2.1). Це прецизійні високоавтоматизовані пристрої, які забезпечують відтворюваність умов вимірювань, автоматичне введення проб і реєстрацію результатів вимірювання.

Основними елементами даного пристрою є: джерело світла, що випромінює характерну вузьку спектральну лінію аналізованої речовини; атомізатор для перекладу даної речовини в атомний пар; спектральний прилад для виділення характерної аналітичної лінії речовини й електронна система, необхідна для детектування, посилення й обробки аналітичного сигналу поглинання.

Щоб визначити вміст елемента в пробі, проводять із застосуванням експериментально встановленої функціональної залежності (градуйованої функції) між аналітичним сигналом (абсорбція, оптична щільність) і концентрацією елемента в зразку порівняння. Градуювальна функція може бути або математичною формулою, або графіком.



Рисунок 2.1 – Атомно-абсорбційний спектрофотометр С-115М1-ПК

Зараз ААС дозволяє визначити близько 70 елементів – металів і неметалів. Можна досягти досить низьких меж виявлення для більшості елементів, які визначаються: у полумʼяному варіанті – від десятих часток до десятків і сотень мкг/л; в електротермічному варіанті – від тисячних до десятих часток мкг/л. Абсолютні межі виявлення в полумʼя становлять 10-1- 105 нг, в електротермічному варіанті – 10-5- 10 нг [33].

Атомно-абсорбційна спектроскопія забезпечує економічно ефективні життєздатні рішення для аналізу слідових кількостей металів у всьому діапазоні природних і штучних матеріалів, таких як геологічні та біологічні зразки, зразки навколишнього середовища, сільськогосподарська продукція та ґрунти, фармацевтичні препарати, харчові продукти та питна вода [34].

Техніка переважає у швидкості, чутливості та точності класичні гравіметричні методи. Упровадження таких аксесуарів, як графітова піч, аналіз потоку впорскування та вдосконалення в придушенні перешкод матриці додатково вплинули на покращення чутливості та селективності аналізів у складних матрицях.

Велике значення має використання атомно-абсорбційної спектроскопії в галузі довкілля, питної води, гірничої справи та мінералогії, океанографічних досліджень, ґрунтів, фармацевтичних препаратів, харчових продуктів, іграшок, судово-медичних досліджень. Список нескінечнний, і наявність або відсутність слідів металів є фактором, яким не можна нехтувати, щоб оцінити характеристику матеріалів або проблеми щодо здоров’я та безпеки людини [35].

Хімічні методи, які використовуються для аналізу слідів металів, еволюціонували від простих гравіметричних методів до дуже складних інструментальних методів, що економлять час. Атомно-абсорбційна спектроскопія є популярним методом, який передбачає помірні інвестиції та доступну експлуатаційну вартість.

Ці характеристики в поєднанні з високим ступенем точності та точності результатів сприяли широкому поширенню атомно-абсорбційних спектрометрів у лабораторіях коледжів, підприємств та лабораторіях регулюючих органів по

всьому світу [36].

* 1. Метод молекулярної спектрофотометрії

Кожна хімічна сполука поглинає, пропускає або відображає світло (електромагнітне випромінювання) в певному діапазоні довжин хвиль. Спектрофотометрія - це вимірювання того, скільки хімічна речовина поглинає або передає. Спектрофотометрія широко використовується для кількісного аналізу в різних областях (наприклад, хімія, фізика, біологія, біохімія, матеріальна та хімічна інженерія, клінічне застосування, промислове застосування тощо). Будь-яке застосування, яке має справу з хімічними речовинами або матеріалами, може використовувати цю техніку. У біохімії, наприклад, він використовується для визначення ферментативно-каталізованих реакцій. У клінічних застосуваннях він використовується для дослідження крові або тканин для клінічної діагностики. Існує також кілька варіацій спектрофотометрії, таких як атомна абсорбційна спектрофотометрія та атомно-емісійна спектрофотометрія.

Спектрофотометр – це прилад, який вимірює кількість фотонів (інтенсивність світла), що поглинаються після того, як він проходить через розчин зразка. За допомогою спектрофотометра кількість відомого хімічної речовини (концентрації) також можна визначити шляхом вимірювання інтенсивності виявленого світла. Залежно від діапазону довжини хвилі джерела світла його можна класифікувати на два різних типи:

* УФ-видимий спектрофотометр : використовує світло над ультрафіолетовим діапазоном (185 – 400 нм) і видимим діапазоном (400 – 700 нм) спектра електромагнітного випромінювання.
* ІЧ-спектрофотометр : використовує світло в інфрачервоному діапазоні (700 – 15000 нм) спектру електромагнітного випромінювання.

У видимій спектрофотометрії поглинання або пропускання певної речовини

можна визначити за спостережуваних кольором. Наприклад, зразок розчину, який поглинає світло у всіх видимих діапазонах (тобто передає жодну з видимих довжин хвиль), теоретично виглядає чорним. З іншого боку, якщо всі видимі довжини хвиль передаються (тобто нічого не поглинає), зразок розчину виглядає білим. Якщо зразок розчину поглинає червоне світло (~ 700 нм), він виглядає зеленим, оскільки зелений колір є доповнюючим кольором червоного. Видимі спектрофотометри на практиці використовують призму для звуження певного діапазону довжин хвиль (для фільтрації інших довжин хвиль), щоб конкретний промінь світла проходив через зразок розчину.

Спектрофотометричні методи засновані на існуванні взаємозв’язків між розміщенням та інтенсивністю ліній поглинання електромагнітного випромінювання. Електронні спектри характеризують зміни енергій електронів молекули в результаті поглинання випромінювання в УФ-видимому діапазоні. Зміни енергії електронів пов’язані з вірогідністю електронних переходів між відповідними енергетичними станами. Кількість ліній поглинання, їх розміщення, інтенсивність та форма дають кількісну та якісну інформацію про речовину [37].

Вміст речовини в пробі вираховують за допомогою закону Бугера- Ламберта-Бера – головного закону поглинання світла. Він полягає в тому, що оптична густина визначається загальним числом часток, що поглинаються на шляху променя світла, тобто добутком концентрації та довжини шляху променя, його записують у вигляді формули 2.2:

A=ℇl∙c, (2.2)

де А – абсорбція;

ℇ - молярний коефіцієнт поглинання (л/моль•см); l – товщина поглинаючого шару (см);

c – концентрація (моль/л).

Якщо розчин розбавленої речовини підпорядковується закону Бера, графіку

залежності А=f(с) являє собою пряму лінію, що проходить через початок координат.

На рисунок 2.2 проілюстрована основна структура спектрофотометрів. Він складається з джерела світла, коліматора, монохроматора, селектора довжини хвилі, кювети для розчину зразка, фотоелектричного детектора та цифрового дисплея або лічильника. На рисунку 2.3 показаний зразок спектрофотометра (модель: Spectronic 20D).



Рисунок 2.2 – Базова структура спектрофотометрів



Рисунок 2.3 – Спектрофотометр з однією довжиною хвилі Спектрофотометр, як правило, складається з двох пристроїв; спектрометра і

фотометра. Спектрометр – це пристрій, який виробляє, як правило, розсіює і вимірює світло. Фотометр вказує фотоелектричний детектор, який вимірює інтенсивність світла.

* Спектрометр : Він виробляє бажаний діапазон довжини хвилі світла. Спочатку коліматор (лінза) передає прямий промінь світла (фотони), який проходить через монохроматор (призму), щоб розділити його на кілька складових довжин хвиль (спектр). Тоді селектор довжини хвилі (щілина) передає тільки потрібні довжини хвиль, як показано на рисунку 2.2.
* Фотометр : Після того, як потрібний діапазон довжини хвилі світла проходить через розчин зразка в кюветі, фотометр виявляє кількість фотонів, яке поглинається, а потім посилає сигнал на гальванометр або цифровий дисплей, як показано на рисунку 2.2.

Найбільш примітивними представниками є колориметри. Вони мають доволі багато обмежень та використовуються для найпростіших вимірювань, що не потребує високої точності.

Фотоколориметр КФК-2МП (рисунок 2.4) призначений для контролю ґрунтів, кормів і рослин на агрохімічні показники (нітрати, амоній, загальний азот, манган, цинк, купрум, калій, кальцій і т.д.) методом вимірювання коефіцієнтів пропускання. Колориметр фотоелектричний концентраційний КФК-2МП призначений для вимірювання в окремих ділянках діапазону довжин хвиль 315- 980 нм, що виділяються світлофільтрами, коефіцієнтів пропускання й оптичної щільності рідинних розчинів і твердих тіл, а також визначення концентрації речовин в розчинах методом побудови градуювальних графіків.



Рисунок 2.4 – Колориметр фотоелектричний концентраційний КФК-2МП

Колориметр застосовується на підприємствах водопостачання, в металургійній, хімічній, харчовій промисловості, в сільському господарстві, в медицині та інших галузях народного господарства.

Спектрофотометричні методи характеризуються універсальністю, достатньо високою чутливістю та точністю. Їх можна використовувати для визначення майже всіх елементів в широкому діапазоні концентрацій, починаючи з великого вмісту (за допомогою диференціальної спектрофотометрії) та закінчуючи залишковими концентраціями порядку 10-6-10-8 % (після відповідного концентрування). Спектрофотометричні методи вважаються найбільш точними методами хімічного аналізу.

Також додатковою перевагою спектрофотометричних методів є їх доступність, адже вимірювальні прилади – спектрофотометри та колориметри – коштують менше, ніж інші аналітичні прилади.

Якість води надзвичайно важлива для промисловості, виробництва та споживання, але визначити якість без певної форми тестування може бути важко. Спектрофотометрія забезпечує неруйнівний метод аналізу якості, прозорості та чистоти води. Як правило, воду вимірюють за шкалою APHA або Хазена, яка

спочатку була введена для вимірювання стічних вод, але її можна застосовувати й до «чистіших» зразків.

Вимірювання якості води має важливі застосування, такі як визначення присутності важких металів у питній воді, визначення концентрації забруднюючих речовин у стічних водах і підтвердження чистоти води для лабораторних випробувань або виробничих процесів.

* 1. Люмінесцентний аналіз

Люмінесцентний аналіз передбачає спостереження або за світінням досліджуваних об'єктів (наприклад, парів газу), або за світінням, створюваним спеціальними люмінофорами, використовуваними для обробки об'єктів. Апаратура люмінесцентного аналізу має джерело збудження люмінесценції та записувальний пристрій. Збудження фотолюмінесценції об'єкта є найбільш використовуваним методом; проте у деяких випадках необхідно спостерігати катодолюмінесценцію, радіолюмінесценцію та хемілюмінесценцію. Фотозбудження, як правило, створюється кварцово-ртутними лампами зі світлофільтрами, приєднаними для ізоляції ультрафіолетової області їхнього спектра. Крім ртутних ламп, джерелами світла використовуються ксенонові лампи, іскри та лазери. Свічення зазвичай реєструють візуально або за допомогою фотоелектронних приладів, що забезпечують більшу точність.

Кількісний і якісний аналіз люмінесценції як правило використовують для реєстрації самостійного світіння речовин. Концентрацію люмінесцентної речовини (при малій оптичній товщині та концентрації менше 10-4-10-5 г/см3) визначають за інтенсивністю світіння за допомогою кількісного хімічного аналізу люмінесценції. Даний метод є високочутливим (досягає кількох одиниць на 10-10 г/см3 при виявленні деяких органічних речовин) і може застосовуватися для контролю чистоти. В аналізі ізотопної люмінесценції газовий лазерний промінь

використовується для збудження люмінесценції певних ізотопів.

Якісний люмінесцентний аналіз виявляє та ідентифікує певні речовини в сумішах. Спектрофотометри застосовують для дослідження розподілу енергії в спектрі люмінесценції речовин при низьких температурах і в'язких розчинах (маслах). Деякі нелюмінесцентні речовини виявляють по світінню продуктів, що утворюються при їх взаємодії зі спеціально доданими речовинами.

Прецизійний люмінесцентний аналіз дозволяє виявити відмінності між зовні однаковими об'єктами за якістю їх світіння. Метод використовується для діагностики захворювань (наприклад, тканина, заражена *Microsporum*, виявляється за яскраво-зеленим свіченням під дією ультрафіолетового світла), для визначення ураження насіння та рослин хворобами, а також для визначення вмісту органічних речовин у ґрунті. Застосовується для аналізу гірських порід на наявність нафти та газів; при аналізі складу нафти, мінералів і гірських порід; і в сортуванні необроблених алмазів. Алмази можна сортувати автоматично, спостерігаючи за їх характерною люмінесценцією під м’якими променями. Зовнішнє світіння об’єктів часто перевіряють за допомогою прецизійного люмінесцентного аналізу. При скануванні деяких хімічних елементів (наприклад, рідкоземельних елементів) зразки гірських порід обробляють спеціальними сполуками, які утворюють люмінесцентні комплекси з шуканими речовинами. У біології живі тканини забарвлюють спеціальними барвниками, які взаємодіючи з біологічними речовинами утворюють люмінесцентні комплекси. Наприклад, клітинні ядра сполучної тканини випромінюють яскраве світіння при фарбуванні акридиновим оранжевим; якщо клітини ракові, колір випромінюваного випромінювання змінюється [38].

Якщо досліджуваний об'єкт не проявляє власного світіння, його інколи піддають попередній обробці з додаванням спеціального люмінофора. При дослідженні рідини люмінофор розчиняють у ній; коли досліджується тверде тіло, люмінофор адсорбується на його поверхні. Рух підземних вод можна спостерігати, розчинивши у воді люмінофор, наприклад флуоресцеїн, і провівши аналіз люмінесценції. Подібні методи використовують для дослідження руху

прибережних пісків.

Люмінесцентний аналіз також використовується в кримінальному праві (для визначення автентичності документів і виявлення слідів отруйних речовин), в реставраційній техніці, в дефектоскопії, в охороні здоров'я (для визначення якості деяких харчових продуктів і питної води) і ін. з промислово-санітарної хімії (для визначення рівня шкідливих речовин у повітрі). Люмінесцентний аналіз, який передбачає використання мікроскопів, відомий як люмінесцентна мікроскопія.

* 1. Методики визначення важких металів
		1. Фотометричний метод визначення ніколу в стічних водах

Для сучасного аналізу велику роль відіграє розробка нових, більш чутливих методів визначення токсичних речовин в об’єктах, що забруднюють навколишнє середовище. До цих об’єктів відносяться стічні води гальванічних цехів. Вони містять важкі метали, зокрема нікол.

Нікол проявляє токсичну дію, уражаючи нервову систему, кишківник і нирки. Надлишковий вміст катіона ніколу приводить до заміщення інших катіонів в активних центрах ферментів. Нікол і його сполуки відносять до третього класу ризику. Гранично допустима норма ніколу у воді становить 0,1 мг/л.

Фотометричне визначення ніколу найчастіше проводять з диметилгліоксимом і з фурилдиоксимом. Їх невелика чутливість є загальним недоліком цих методів. В якості реагенту використовують фенілфлуорон у присутності катіонної поверхнево-активної речовини – цетилпирідинію хлористого.

Відбирають 2 мл води, додають 3 мл 10% лимоннокислого амонію, концентрований розчин аміаку до pH 10, 4 мл аміачноацетатного буферного розчину (pH 10), 0,5 мл 0,01 молярного водного розчину цетилпирідинію хлористого, 1 мл 0,001 молярного спиртового розчину фенілфлуорону.

Об’єм розчину доводять дистильованою водою до 25 мл. Вимірювання оптичної густини проводять на фотоколориметрі при довжині хвилі 610 нм й товщині шару 10 мм. Кількість ніколу знаходять за калібрувальним графіком. Паралельно нікол визначають в цьому ж водному зразку диметилгліоксимовим методом [39].

Визначення ніколу з фенілфлуороном і цетилпирідинієм хлористим в більшій чутливості реакції вважається перевагою розробленого методу. Це дає змогу знизити межу визначення ніколу. Цей метод відрізняється простотою й експрестністю. Він має достатньо високу відтворюваність, про що свідчить стандартне квадратичне відхилення. Даний метод можливо використовувати для визначення ніколу в інших об’єктах навколишнього середовища.

* + 1. Методика визначення іонів феруму

Для визначення концентрації іонів феруму (ІІ) до 10 см3 проби додають

5 см3 10 %-го розчину сульфосаліцилової кислоти, 5 см3 10 %-го розчину аміаку, перемішують. Через 10 хв вимірюють оптичну густину стосовно розчину холостого досліду при λ=440 нм, товщині кювети 3 см. За калібрувальним графіком (рис. 2.5) визначають концентрацію феруму [40].

Для побудови калібрувального графіка готують серію розчинів феруму відомої концентрації: 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1 мг феруму на 100 см3 дистильованої води, використовуючи стандартний розчин солі феруму (0,8634 г залізо-амонійних квасців змішуючи з 10 см3 сірчаної кислоти щільністю 1,84 г/см3 й, розбавивши в 1 дм3 дистильованої води, отримуючи при цьому розчин із вмістом 0,1 мг феруму в 1 см3). Для цього в мірні колби додають 10,0; 20,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 70,0; 80,0; 90,0; 100,0 см3

розчину, доведено до мітки, потім за вище описаною методикою визначено оптичну густину кожного розчину.



Рисунок 2.5 – Калібрувальний графік для визначення концентрації Fe(II)

Для визначення феруму (ІІІ) проби об’ємом 10 см3 вносять у 100 см3 мірну колбу, доведену розчином соляної кислоти до рН 3-5 (за індикаторним папером), додають 2 см3 сульфосаліцилової кислоти та доводять до позначки дистильованою водою. Оптична густина вимірюється через 5 хвилин при λ=500 нм у кюветах з товщиною шару 50 мм, порівнюючи з дистильованою водою. Концентрацію іонів феруму (ІІІ) визначається за калібрувальним графіком (рис. 2.6), який будують аналогічно для графіка з визначення іонів феруму(ІІ), використовуючи як стандартний розчин FeCl3·6H2O.



Рисунок 2.6 – Калібрувальний графік для визначення концентрації Fe(III)

* + 1. Методика визначення іонів купруму

Для визначення іонів купруму використовують метод колориметричного визначення, що базується на взаємодії іонів двовалентного купруму з диетилдитіокарбоматом натрію з утворенням диетилдитіокарбомату купруму, який має жовто-коричневий колір. У розбавлених розчинах диетилдитіокарбомат купруму утворює колоїдні розчини, для більшої стійкості додають 0,5%-й розчин желатину. Щоб усунути заважаючий вплив феруму й жорсткості води додають розчин сегнетової солі.

Для приготування розчину калію-натрію виннокислого (сегнетової солі) необхідно 50 г сегнетової солі KNaC4H4O6·4H2O розчинити в 50 см3 дистильованої води. До проби, що визначають, додають 1 см3 розчину сегнетової солі.

Також, як реактиви, використовують HCl (1:9), 5%-й розчин трилону Б, диетилдитіокарбамат натрію 0,1%, стандартний розчин CuSO4·5H2O.

Розчин, що аналізують, обʼємом від 1 до 10 см3 в залежності від очікуваної кількості купруму в пробі, переносять у колбу місткістю 50 см3,

додають 5 см3 соляної кислоти (1:9), 10 см3 0,5% розчину желатину, 2 см3 5% розчину трилону Б, 5 см3 0,1% розчину диетилдитіокарбамінату натрію, доводять до мітки, фотометрують при λ=490 нм, товщина кювети 5 см. По калібрувальному графіку визначають вміст Cu2+, мг в пробі. Концентрацію іонів Cu2+ в розчині знаходять за формулою 2.3:

(2.3)

При побудові калібрувального графіка готують серію розчинів купруму відомої концентрації: 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,07; 0,08; 0,09; 0,1 мг купруму в 1 см3 дистильованої води, використовуючи робочий розчин солі купруму, який готують розбавленням стандартного розчину в 10 разів (0,1256 г CuSO4 розбавляють в 0,5 дм3 дистильованої води, отримуючи при цьому розчин із вмістом 0,1 мг феруму в 1 см3). Для цього в мірні колби додають 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0 см3 розчину, потім за методикою визначають оптичну густину кожного розчину. Будують калібрувальний графік (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Калібрувальний графік для визначення концентрації Cu (II)

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

* 1. Вимір масової концентрації феруму з сульфосаліциловою кислотою

Метод, заснований на взаємодії іонів феруму в лужному середовищі з сульфосаліциловой кислотою з утворенням забарвленої в жовтий колір комплексної сполуки. Інтенсивність забарвлення, пропорційну масової концентрації феруму вимірюють при довжині хвилі 400-430 нм. Діапазон вимірювання масової концентрації феруму без розведення проби 0,10-2,00 мг/дм3. У цьому інтервалі сумарна похибка вимірювання з ймовірністю ρ= 0,95 знаходиться в межах 0,01-0,03 мг/дм3.

Обладнання та реактиви: фотоколориметр будь-якого типу з фіолетовим світлофільтром (λ= 400-430 нм); кювети з товщиною робочого шару 2-5 см; ваги аналітичні лабораторні; мірні колби на 50, 100, 1000 см3; мірні піпетки на 1, 5, 10 та 50 см3; конічні колби на 100 см3; амоній хлористий; 25%-ий розчин водного аміаку; хлоридна кислота; галун залізо амонійний; сульфосаліцилова кислота; дистильована вода.

Приготування основного стандартного розчину залізоамонійних галунів: 0,8636 г залізоамонійних галунів FeNH4(SO4)2·12H2O зважують з точністю, що не перевищує 0,0002 г за шкалою ваг, розчиняють в мірній колбі місткістю 1 дм3 в невеликій кількості дистильованої води, додають 2,00 см3 хлоридної кислоти густиною 1,19 г/см3 і доводять до мітки дистильованою водою, 1 см розчину містить 0,1 мг феруму.

Приготування робочого стандартного розчину залізоамонійних галунів: робочий розчин готують у день проведення аналізу розведенням основного розчину у 20 разів. 1 см3 розчину містить 0,005 мг феруму.

Приготування розчину сульфосаліцилової кислоти: 20 г сульфосаліцилової кислоти розчиняють у мірній колбі місткістю 100 см3 у невеликій кількості дистильованої води й доводять цією водою до мітки.

Приготування розчину хлористого амонію молярної концентрації

2 моль/дм3: 107 г NH4Cl розчиняють в мірній колбі місткістю 1 дм3 в невеликій кількості дистильованої води й доводять цією водою до мітки.

Приготування розчину аміаку (1: 1): 100 см3 25%-ного розчину аміаку доливають до 100 см3 дистильованої води й перемішують [41].

При масової концентрації феруму не більше 2,00 мг/дм3 відбирають 50 см3 досліджуваної води (при більшій масової концентрації феруму пробу розбавляють дистильованою водою) й розміщують у конічну колбу місткістю

100 см3. Якщо пробу при відборі не консервували кислотою, то до 50 см3 додають 0,20 см3 хлоридної кислоти густиною 1,19 г см3. Пробу води нагрівають до кипіння й упарюють до обʼєму 35-40 см3. Розчин охолоджують до кімнатної температури, переносять в мірну колбу місткістю 50 см3, споліскують 2-3 рази по 1 см3 дистильованою водою, зливаючи ці порції в ту ж мірну колбу. Потім до отриманого розчину додають 1,00 см3 хлористого амонію, 1,00 см3 сульфосаліциловой кислоти, 1,00 см3 розчину аміаку (1:1), ретельно перемішуючи після додавання кожного реактиву. За індикаторним папером визначають значення рН розчину, яке повинно бути ≥ 9. Якщо рН менше ніж 9, то додають ще 1-2 краплі розчину аміаку (1:1) до рН ≥9.

При рН < 3, [FеSаl] – фіолетовий; λмах= 540 нм.



При рН = 4-9, [Fе(Sаl)2]3- червоний; *λтах* = 580 нм.



При рН = 9-12, [Fе(Sаl)3]6- – жовтий; λmax= 420 нм.



Об’єм розчину в мірній колбі доводять до мітки дистильованою водою, залишають стояти 5 хв для розвитку забарвлення. Вимірюють оптичну щільність забарвлених розчинів, використовуючи фіолетовий світлофільтр (400-430 нм) і кювети з товщиною оптичного шару 2, 3 або 5 см, до 50 см3 дистильованої води, у яку додані ті ж реактиви. Масову концентрацію феруму знаходять по градуювальному графіку.

Для побудови градуювального графіка в ряд мірних колб місткістю 50 см3 наливають 0; 1,0; 2,0; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 см3 робочого стандартного розчину, доводять до мітки дистильованою водою, перемішують і аналізують, як досліджувану воду. Отримують шкалу розчинів, відповідних масовим концентраціям феруму 0,0; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 мг/дм3. Будують градуювальний графік, відкладаючи по осі абсцис масову концентрацію феруму, а по осі ординат – відповідні значення оптичної щільності.

Масову концентрацію феруму (*Х*) в аналізованої пробі, мг/дм3, з урахуванням розведення обчислюють за формулою 3.1:

(3.1)

де *с* – концентрація феруму, знайдена по градуювальному графіку, мг/дм3;

*V* – об’єм води, взятий для аналізу, см3; 50 – обʼєм, до якого розведена проба, см3.

За остаточний результат аналізу приймають середнє арифметичне результатів двох паралельних вимірювань, допустима розбіжність між якими не повинна перевищувати 25% при масовій концентрації феруму на рівні гранично допустимої. Результат округлюють до двох значущих цифр (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Вміст загального феруму у воді міста Запоріжжя

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показник | Січень 2022 р. | Лютий 2022 р. | Березень 2022 р. |
| ДВС-1 | ДВС-2 | ДВС-1 | ДВС-2 | ДВС-1 | ДВС-2 |
| Ферум | 0,17мг/дм3 | 0,18мг/дм3 | 0,12мг/дм3 | 0,12мг/дм3 | 0,18мг/дм3 | 0,2мг/дм3 |

За наведеними показниками вміст загального феруму у воді міста Запоріжжя не перевищує гранично допустиму концентрацію (1,0 мг/дм3).

* 1. Хімічні показники вмісту важких металів, перманганатна окиснюваність у воді міста Запоріжжя

Проаналізувавши хімічні показники за даними комунального підприємства «Водоканал» (табл. 3.2), можна побачити, що вміст металів Zn та Cu не перевищує ГДК. Але постійно перевищує гранично допустиму концентрацію перманганатна окиснюваність 6,6-8,3 мг/дм3 (ГДК 5,0 мг/дм3).

Цей показник є комплексним і не дає уявлення про хімічний склад забруднювачів, але при цьому дуже корисний для загального уявлення про насиченість води органічними сполуками. Органічні речовини, що обумовлюють підвищене значення перманганатної окислюваності, негативно впливають на печінку, нирки, репродуктивну функцію, а також на центральну нервову й імунну системи людини.

Таблиця 3.2 – Хімічні показники води Дніпровських водопровідних станцій ДВС-1, ДВС-2

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показник | Січень 2022 р. | Лютий 2022 р. | Березень 2022 р. |
| ДВС-1 | ДВС-2 | ДВС-1 | ДВС-2 | ДВС-1 | ДВС-2 |
| Водневийпоказник | 8,0 | 7,7 | 8,0 | 7,5 | 8,2 | 7,8 |
| Перманганатнаокислюваність | 8,3мг/дм3 | 7,7мг/дм3 | 7,7мг/дм3 | 6,6мг/дм3 | 7,5мг/дм3 | 6,9мг/дм3 |
| Купрум | <0,02мг/дм3 | 0,04мг/дм3 | 0,026мг/дм3 | 0,025мг/дм3 | 0,026мг/дм3 | 0,028мг/дм3 |
| Цинк | <0,005мг/дм3 | <0,005мг/дм3 | <0,005мг/дм3 | <0,005мг/дм3 | <0,005мг/дм3 | <0,005мг/дм3 |

* 1. Визначення вмісту мангану у воді фотометричним методом

Звичайний вміст мангану в природних водах не перевищує декількох десятків мг/дм3, а в шахтних водах досягає декількох сотень мг/дм3 і більше. Вміст мангану в питній воді не повинен перевищувати 0,1 мг/дм3.

Метод оснований на кількісному окисненні іонів Mn2+ до MnО4– під дією персульфату амонію (NH4)2S2O8 у присутності каталізатора нітрату срібла AgNO3. Вимірювання проводять на фотоелектроколориметрі (ФЕК). Оптичну густину розчину визначають при довжині хвилі 525 нм. Метод дозволяє визначати Mn2+ у концентраціях до 5 мг/дм3. Визначенню заважають хлорид – іони, органічні речовини, високий вміст іонів феруму, купруму, нікелю, біхроматів.

Для побудови калібрувального графіка в термостійкі колби на 250 см3 з кипілками, додають точно 2, 4, 6, 8, 10 см3 робочого розчину, відміряють циліндром 100 см3 дистильованої води, 3 см3 HNO3, доводять до кипіння,

додають 50 мг персульфату амонію, 2 краплі розчину нітрату срібла й кип’ятять 5 хвилин.

Увага: якщо під час кип’ятіння розчин стане бурим або помутніє, визначення необхідно повторити, попередньо розбавивши пробу в 5-10 разів.

Після охолодження кількісно переносять розчини в мірні колби на

200 см3, розбавляють дистильованою водою до мітки, вимірюють оптичну густину отриманого розчину при λ=525 нм і будують графік залежності оптичної густини А від вмісту мг(Mn)/ дм3.

До 1-5 см3 проби додають 3 см3 HNO3 і нагрівають до кипіння, додають 50 мг персульфату амонію (NH4)2S2O8, 2 краплі розчину AgNO3 і кип’ятять 5 хвилин. Після охолодження кількісно переносять розчин у мірну колбу на

200 см3, розбавляють дистильованою водою до мітки, вимірюють оптичну густину отриманого розчину при λ=525 нм, і за калібрувальним графіком визначають концентрацію Mn2+. Концентрація Mn2+ у вихідній пробі розраховується з урахуванням розбавлення.

Визначають вміст мангану у воді за формулою 3.2:

(3.2)

де *Стр* **-** концентрація мангану за калібрувальним графіком, мг/дм3; V – об’єм дослідної води, см3.

Таблиця 3.2 – Вміст мангану у воді міста Запоріжжя

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Показник | Січень 2022 р. | Лютий 2022 р. | Березень 2022 р. |
| ДВС-1 | ДВС-2 | ДВС-1 | ДВС-2 | ДВС-1 | ДВС-2 |
| Манган | 0,02мг/дм3 | 0,01мг/дм3 | <0,01мг/дм3 | <0,01мг/дм3 | 0,04мг/дм3 | 0,02мг/дм3 |

За наведеними показниками вміст мангану у воді міста Запоріжжя не перевищує гранично допустиму концентрацію (0,1 мг/дм3).

1. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИДАЛЕННЯ ІОНІВ МЕТАЛІВ ІЗ ВОДИ

Виробничі стічні води, які забруднені солями важких металів, утворюються при хімічній, електрохімічній, а також при окремих видах механічної обробки металів та їх сплавів. В Україні нараховується більше тисячі підприємств різних галузей промисловості, на яких є виробництва, пов’язані з хімічною та електрохімічною обробкою металів та їх сплавів, у тому числі гальванічні. Найбільша частка з них припадає на машинобудівну, приладобудівну, металообробну, чорну та кольорову металургії. Стічні води на цих виробництвах є одними з найбільш поширених видів промислових стічних вод як в нашій державі, так і за кордоном.

Понад двадцять способів очищення стоків від важких металів на сьогодні є відомими. Багато факторів впливає на вибір відповідного методу очищення. Найпоширенішими методами, які застосовують на практиці, є такі: реагентний, сорбційний, іонообмінний, електрохімічні, гальванокоагуляція тощо [42].

В Європі нині розповсюджені процеси біологічного видалення сполук мангану та феруму. Так, у Сполучених Штатах Америки та Канаді функціонує біологічне очищення. Розроблені технічні рішення щодо видалення сполук Mn2+ з води ґрунтуються на застосуванні бактерій, які для свого розвитку застосовують розчинені у воді сполуки Mn (*Leptothrix ochraceae, Gallionella ferruginea, Leptothrix discophora*). Практично всі бактерії, які окиснюють сполуки феруму, можуть окиснювати сполуки мангану також (наприклад, *Leptothrix, Crenothrix, Hyphomicrobium, Siderocapsa, Siderocystis та Metallogenium*) [43].

Принципова схема видалення з води сполук феруму та мангану визначає обʼєднання біологічного та хімічного окиснення в одному процесі. Вода, яка очищується, пропускається через напірні фільтри, завантажені грубозернистим субстратом із крупністю зерен від 1 до 3 мм, засіяним невеликою кількістю бактерій. Іони Fe2+ і Mn2+ в нейтральному та лужному середовищах

окиснюються та відкладаються на поверхні клітинних структур, у капсулах, чохлах. Відмерлі бактерії та продукти їх метаболізму утворюють на поверхні субстрату біомасу, яка містить сполуки феруму і є гарним каталізатором процесу окиснення [44].

При рН 8,5 вапняк видаляє сполуки феруму та мангану краще, ніж подрібнена цегла та гравій. Це повʼязується з неоднорідною поверхнею вапняку, утворенням карбонату мангану шляхом підвищення рН води. При поєднанні процесів біологічного та хімічного окиснення ефективність видалення сполук феруму та мангану досягла понад 90 %.

Біологічне окислення – широко використовуваний на практиці метод очищення виробничих стічних вод. Він дає можливість очистити воду від багатьох органічних і неорганічних домішок, у тому числі й іонів ВМ. Біологічне окислення здійснюється сукупністю мікроорганізмів (біоценозом), які мають масу різноманітних бактерій, найпростіших водоростей, грибів тощо. Завданням біологічного (практики й науки) очищення стічних вод, що містять солі важких металів, є виведення активних штамів бактерій, здатних окислити ті або іони важких металів у воді. На жаль, біологічний метод очищення виробничих стічних вод від іонів важких металів, не знайшов широкого застосування на практиці, він має обмежене застосування (очищення від хрому (VI), вилучення урану й ін.), Так, орієнтовна ефективність видалення на біоспорудах становить мінімально для цинку 30%, купруму й молібдену 40%; максимальна для алюмінію 90%, ціанідів 70%. Таким чином, біологічний метод очищення стічних вод від іонів важких металів має обмежене застосування й можливість утилізації цінних металів.

Оброблення стоків гальванічних виробництв відбувається анаеробним біологічним методом очищення. У літературі широко описана здатність анаеробних мікроорганізмів використовувати в якості акцепторів електроновий для окислення органічних речовин змінно-валентний елемент в їх окисненій формі. Здатність бактеріального відновлення Cr (VI) на прикладі культур аеробних, факультативно й облігатно анаеробних мікроорганізмів, що

відносяться до різних таксономічних і фізіологічним груп. Зростаючі неадаптовані культури *Arthrobacter sp. і Escherichia coli* за добу повністю відновлюють 28 мг/дм3 Cr (VI). Набагато більшу кількість штамів неадаптованих музейних культур відновлює цей елемент після певної лаг-фази. Відомі також облігатні сульфатредукуючі бактерії, які, утворюючи сірководень, забезпечують звʼязування іонів важких металів у нерозчинні сульфіди.

Метод знезалізнення води за допомогою аерації. У процесі аерації відбувається окислення двовалентного феруму в тривалентне. Реакція окислення у водному розчині протікає за схемою, описаною рівняннями (1-3):

4Fe2+ + O2 + 2H2O = 4Fe3+ + 4OH- (1)

Fe3+ + 3H2O = Fe(OH)3 + 3H+ (2)

4Fe2+ + O2 + 10H2O = 4Fe(OH)3 + 8H+ (3)

У присутності гідрокарбонатних іонів у воді окислення двовалентного феруму й гідроліз тривалентного феруму протікають по реакції (4):

4Fe2+ + 8HCO3- + 2H2O = 4Fe(OH)3↓ + 8CO2↑ (4)

Процес аерації проводять у вентиляційній градирні. Після аерування необхідно відокремити осад гідроксиду феруму. Для цієї мети використовують процеси відстоювання й фільтрування. Осад гідроксиду феруму можна використовувати для приготування фарб або для очищення газів від сірководню [45].

У процесі осадження гідроксиду феруму відбувається ущільнення осаду амфотерного Fe(OН)3 в гематит Fе2О3:

2Fе (ОН) 3 = Fе2О3 + 3Н2О (5)

Якщо ферум утримується у воді у вигляді гідрокарбонату Fe(HCO3)2, FeCO3, то його можна легко видалити з води аерацією. Сіль, утворена слабкою кислотою та слабкою основою, легко гідролізується:

Fe(HCO3)2 + 2НОН ↔ Fе (ОН) 2 + 2Н2СО3 (6)

Н2СО3 ↔ Н2О + СО2↑ (7)

СО2 видаляється дегазацією, тому процес можна довести до кінця.

Гідроокис феруму (ІІ) Fе (ОН) 2 при окисленні киснем повітря переходить у Fе (ОН) 3:

4Fе (ОН) 2 + 2Н2О +О2 ↔ 4 Fе (ОН) 3 (8)

Процеси осадження феруму заважають гумінові речовини, тому що це захисні колоїди відносно гідроксиду феруму. У цих випадках у воду додають хлор, який руйнує гумінові речовини.

Рекомендується видаляти ферум змішаним коагулянтом з алюмінату натрію та хлорного феруму. Цим методом можна видаляти ферум, що входить до складу органічних і неорганічних сполук.

1. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Темa моєї дипломної роботи «Вміст важких металів у стічних водах міста Запоріжжя». Дослідження проводилось в хімічній лаборaторії. Основними небезпечними та шкідливими фaкторами були: скляний посуд, роботa з електроприлaдами та з комп’ютером.

Перед почaтком роботи зі мною був проведений інструктаж з охорони праці та пожежної безпеки моїм науковим керівником за інструкцією № 1.

Під час написaння роботи ми дотримувaлися загальних вимог до безпечного проведення робіт.

Вимоги безпеки перед почaтком робіт

За правилами техніки безпеки, жодна людинa не повинна працювати в хімічній лабораторії одна, тому виконання моєї дипломної роботи проходило під наглядом та чітким керівництвом наукового керівника.

Умови праці в лабораторії.

Для забезпечення складу повітря робочої зони згідно з 12.1.016-79 ССБТ

«Повітря робочої зони» проєктом передбачено: 1) проведення робіт з даними речовинами у витяжній шафі (згідно з ГОСТ 3885-73 «Опалення, вентиляція і кондиціювання»; 2) використання природної вентиляції (СНіП 2.04.05-91).

Джерелом вібрації в умовaх, що розглядаються в роботі є робота витяжної шафи. Вібрації, які вона викликає не перевищують допустимі норми та не заважають при роботі.

Природне освітлення лабораторії повинно відповідaти вимогам СНіП 11-

479 «Природне і штучне освітлення». Коефіцієнт природного освітлення (КПО), повинен складати не менше 1,5%. Штучне освітлення повинно відповідати вимогам СНіП 11-4-79 «Природне і штучне освітлення» [46].

Вимоги до безпеки, яких ми дотримувалися під час роботи в лабораторії:

1. Кожен прaцівник лаборaторії повинен мати закріплене за ним робоче місце.
2. Перед почaтком роботи слід вдягати спецодяг.
3. При роботі зі скляними приладами необхідно:
* при розламуванні скляних трубок притримувати лівою рукою трубку біля надпилу;
* при зaкриванні колби, пробірки або іншої тонкостінної посудини пробкою, тримати посудину за верхню частину шийки ближче до місця, куди повинна бути вставлена пробка, захищаючи руку рушником.
1. Нaгріту посудину не можна закривати притертою пробкою поки вона не охолоне.
2. Нагріваючи рідину в пробірці або інших посудинaх, їх тримають спеціальними утримувачами так, щоб отвір був спрямований від себе і працюючих поруч.
3. При переливанні рідин (крім тих, що містять біологічний матеріал) користуються лійкою.
4. При змішуванні (розведенні) речовин, що супроводжуються виділенням тепла, користуються термостійким хімічним посудом.
5. При роботі з кислотами та лугами використовують такі заході безпеки:
* всю роботу з концентрованими кислотами та лугами проводять у витяжній шафі, користуючись при цьому окулярами, гумовими рукавичками та фартухом;
* при приготуванні розчинів кислот, спочатку в посудину наливають необхідну кількість води, а потім помалу додають кислоту. Забороняється додавати воду в кислоту;
* при приготуванні розчинів лугів наважку лугу опускають у велику широкогорлу посудину, заливають необхідною кількістю води й старанно перемішують. Шмaтки лугу варто брати тільки щипцями;
* концентровaні кислоти та луги виливають у раковину після попередньої їх нейтралізації.
1. При роботі з легкозаймистими речовинами дотримуються таких вимог:
* усі роботи проводяться у витяжній шафі при включеній вентиляції, вимкнутих газових пальниках і нагрівальних електроприладах відкритого типу;
* нагрівання легкозаймистих речовин проводять у витяжній шафі на піщаній або водяній бані з закритим електронагрівом [47].

При написанні роботи ми дотримувалися правил електробезпеки.

Робота з електроприладами в хімічній лабораторії вимагає великої уваги й безумовно виконання правил електробезпеки згідно з ДНАОП 0.00-1.21.- 98

«Правила безпечної експлантації електроустановок споживачів»:

1. В хімічній лабораторії слід користуватися електронагрівниками закритого типу та іншим електричним обладнанням тільки заводського виготовлення.
2. Заземлення електрообладнання необхідно виконувати згідно з ГОСТ 12.1.030-81 ССБП «Електробезпека. Захисне заземлення, занулення».

Вимоги безпеки по закінченню робіт. Вмикання і вимикання усієї електромережі лабораторії повинно виконуватись загальним рубильником.

Забезпечення пожежної безпеки в лабораторії визначaлося «Правилами пожежної безпеки в Україні»:

1. В лабораторії повинні бути спрaвні первинні засоби пожежогасіння: вогнегасники вуглекислотні, пінні або порошкові, які розміщують безпосередньо в лабораторії;ящик або відро з піском (об’ємом близько 0,01 м2) і совком; покривало з вогнетривкого матеріалу. До них обов’язково необхідно забезпечити вільний доступ.
2. У разі пожежі необхідно:
* повідомити пожежну охорону;
* вжити заходів щодо евакуації людей з приміщення;
* вимкнути електромережу.

У разі виникнення екстремальної ситуації та при необхідності надати першу медичну допомогу, ми б керувалися наступними правилами.

При ураженні електрострумом потерпілого звільняють від контакту з електрострумом (якщо це не зроблено раніше). Виключають джерело

електроживлення, а якщо це неможливо, то скидають обірваний провід дерев'яним сухим ціпком. При зупинці подиху проводять штучне дихання. Накладають стерильну пов'язку на електроопікову рану. Штучне дихання не припиняють протягом тривалого часу. При зупинці серця – непрямий масаж серця. Госпіталізація. Транспортування лежачи на ношах в опікове чи хірургічне відділення.

Отруєння кислотами. Уражену ділянку шкіри промивають струменем холодної води протягом 10-15 хв. Після промивання на обпечене місце накладають просочену водним 2%-м розчином питної соди марлеву пов'язку або ватний тампон. Через 10 хв. пов'язку знімають, шкіру обмивають, обережно видаляють вологу фільтрувальним папером або м'якою тканиною і змащують гліцерином для зменшення больових відчуттів. При попаданні крапель кислоти в очі їх промивають проточною водою протягом 15 хв. і після цього - 2%-ним водним розчином питної соди. Після цього потерпілого відправляють до лікувальної установи.

Отруєння лугaми. Причини: попадання лужних сполук натрію і калію, які є у регенеративній речовині, у дихальні шляхи. Ознаки: неприємний лужний смак у роті, кашель, різка печія слизових оболонок очей і гортані, біль за грудиною, розширення зіниць, різка слабість, загальні судоми. Допомога: забезпечити потерпілому приплив свіжого повітря, вивільнити його від одягу, який утруднює дихання, дати понюхати нашатирний спирт. У разі припинення дихання необхідно проводити штучне дихання.

Опіки шкіри. При опіках І і ІІ ст. слід негайно поклaсти на вражене місце примочку зі спиртом, горілкою, одеколоном або слабким розчином марганцевокислого калію. Спирт та його похідні стримують подальше руйнування клітини й водночас знезаражують місце ушкодження. При ІІІ-IV ст. на вражені місця наклaдають стерильні пов’язки. При великих опіках використовують чисті, випрасувані простирадла. Потерпілого слід напоїти чаєм або мінеральною водою і терміново доставити до лікарні.

В кожному робочому приміщенні лабораторії на видному та легкодоступному місці повинна знаходитись аптечка з необхідними медикаментами для надання першої допомоги.

При написанні роботи ми дотримувалися правил техніки безпеки під час роботи на ПК.

Зaбороняється: торкатися екрана і тильного боку дисплея, проводів живлення та заземлення, з`єднувальних кабелів; порушувати порядок увімкнення й вимикання апаратних блоків; класти на апаратуру сторонні предмети; працювати на комп`ютері у вологому одязі та вологими руками; палити в приміщенні, де знaходяться комп`ютери.

Під час роботи на комп`ютері необхідно: суворо дотримуватися інструкції з експлуатації апаратури; працювати на клавіатурі чистими сухими руками, не натискуючи на клавіші без потреби.

Під час роботи комп`ютерa екран дисплея є джерелом електромагнітного випромінювaння, яке руйнує зір, викликає втому, знижує працездатність. Через це треба, щоб очі користувача знаходилися на відстані не менше 60-70 см від екрaна, а безперервна робота за комп`ютером тривала не більше 25 хв. для дітей та 40-45 хв. для дорослих. Електронно-променевa трубкa дисплею використовує високу напругу, тому треба бути особливо уважним при роботі з ним.

ВИСНОВКИ

1. Проведено огляд літературних джерел щодо забруднення природних водоймищ важкими металами, методами визначення їх вмісту та видалення іонів металів із води. Основними джерелами забруднення стічних вод є підприємства хімічної та металургійної промисловості, металозбагачувальні фабрики та шахти.
2. Проблема забруднення стічних вод металами викликає занепокоєння у експертів. Зростання кількості викидів важких металів спричиняє посилений техногенний тиск на природне середовище. Окремі органічні та неорганічні речовини значною мірою змінюють органолептичні властивості води, або ж роблять її взагалі непридатною для споживання та промислових цілей.
3. Дослідження вмісту важких металів проводять з використанням методів: фотометричний, люмінесцентний і атомно-абсорбційний. Провівши порівняльний аналіз характеристик даних методів, виявлено, що для аналізу води найбільш придатним є атомно-абсорбційний метод аналізу, абсолютна чутливість приладу лежить у межах 1012 – 1014 грам, точність 5-10%, швидкість електротермічної атомізації 3-4 хвилини.
4. У природних водах міста Запоріжжя вміст загального феруму, мангану, цинку та купруму не перевищує гранично допустимі концентрації та становить: Fe = 0,12 мг/дм3, Mn= 0,02 мг/дм3, Zn=<0,005 мг/дм3, Cu=0,03 мг/дм3. Але постійно перевищує гранично допустимі концентрації перманганатна окиснюваність 6,6-8,3мг/дм3 (норма 5,0 мг/дм3).
5. Частковим вирішенням проблеми забруднення стічних вод важкими металами можна вважати систематичний технохімічний аналіз стічних та промислових вод, який є завданням санітарно-епідеміологічних служб та заводських лабораторій. Але так чи інакше будь-яке забруднення треба контролювати для збереження та підвищення якості життя людини.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Результати дослідження магістерської роботи можуть бути впровадженні в лабораторні роботи спецкурсів «Хімічний аналіз води», «Хімічні фактори забруднення навколишнього середовища», «Засоби знешкодження токсичних речовин».

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Khan M., Ellahi A., Niaz R., Ghoneim M. E., Tag-eldin E., Rashid A. Water quality assessment of alpine glacial blue water lakes and glacial-fed rivers. *Geomatics Natural Hazards & Risk.* 2022. 13(1). Р. 2597-2617. doi:10.1080/19475705.2022.2126800
2. Mahalakshmi R., Ramesh N. Occurrence and distribution of heavy metals in water and soil sediments of Vellore District, Tamil Nadu, India. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2022. 194(12). doi:10.1007/s10661-022- 10527-5
3. Адаменко Т. І., Демиденко А. О., Ромащенко М. І., Цвєткова Г. М., Шевченко А. М., Яцюк М. В. Переосмислення водної безпеки для України. Київ : ФОП Клименко, 2016. 20 с.
4. Rocha F., Alves A., Homem V. Exploring the Potential of Sewage Sludge as Agricultural Fertilizer: Determination of Heavy Metals and Nutrients by Microwave-Assisted Digestion Followed by ICP-OES Analysis. *Journal of Chemical Education.* 2022. 99(9). Р. 3218-3226. doi:10.1021/acs.jchemed.2c00044
5. Осадчий В. І., Мостова Н. М., Чернишова Л. О. Закономірності розподілу важких металів у донних відкладах водойми-охолоджувача Запорізької АЕС. *Наук. праці УкрНДГМІ.* 2008. Вип. 257. С. 126-145.
6. Yang C., Zeng Z., Wang Y. Y., He G. Y., Hu Y. S., Gao D. D., Zhang H. Ecological risk assessment and identification of the distinct microbial groups in heavy metal-polluted river sediments. *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. doi:10.1007/s10653-022-01343-4
7. Запольський А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води : підручн. А. К. Запольський. Київ : Вища школа, 2005. 671 с.
8. Бондар О. І., Михайленко Л. Є., Ващенко В. М., Лапшин Ю. С. Сучасні проблеми гідротехнічних споруд в Україні. *Вісник НАН України.* 2014.

№ 2. С. 40-47.

1. Herath A., Salehi M., Jansone-Popova S. Production of polyacrylonitrile/ionic covalent organic framework hybrid nanofibers for effective removal of chromium(VI) from water. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. 427. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.128167
2. Бордюг Н. С., Патика В. П. Оцінка стану якості питної води децентралізованого водопостачання за епідеміологічним показником *Наукові доповіді НУБіП.* 2010. № 1 (17). [Електронний ресурс]. Режим доступу : <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Nd/2010-1/10bnsqei.pdf>
3. Вострікова Н. В. Зміст і сутність державного управління водними ресурсами. *Теорія та практика державного управління.* 2015. Вип. 1 (48). С. 1- 8.
4. Осадчий В. І., Набиванець Б. Й., Осадча Н. М. Гідрохімічний довідник : Поверхневі води України. Гідрохімічні розрахунки. Методи аналізу. Київ : Ніка-Центр, 2008. 656 с.
5. Чернега А. М., Іщенко В. А. Дослідження складу питної води з джерел децентралізованого водопостачання. *Вісник ВПІ*. 2016. Вип. 4. С. 32–35. [Електронний ресурс]. Режим доступу : https://visnyk.vntu.edu.ua/index.php/visnyk/article/view/1944
6. Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною»: ДСанПіН 2.2.4-400-10. Міністерство охорони здоров’я України. [Чинний від 2010.06.01]
7. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природнього середовища. Київ : Знання, 2019. 319с.
8. Collivignarelli M. C., Bellazzi S., Miino M. C., Caccamo F. M., Calatroni S., Durante A., Baldi M. Influence of Heavy Metals on the Rheology of a Thermophilic Biological Sludge for nutrients Recovery: Effect of Iron, Copper, and Aluminium on Fluid Consistency. *Waste and Biomass Valorization.* 2022. doi:10.1007/s12649-022-01928-1
9. Escandar G. M., Olivieri A. C. A Critical Review on the Development of Optical Sensors for the Determination of Heavy Metals in Water Samples. The Case

of Mercury(II) Ion. *Acs Omega.* 2022. № 7(44). Р. 39574-39585. doi:10.1021/acsomega.2c05215

1. Fan L. L., Sun F. L., Yang Z. H. Metagenomic analyses reveal nitrogen metabolism responses to copper and chromium contamination in sludge-based microbial communities. *Journal of Water Process Engineering.* 2022. Р. 49. doi:10.1016/j.jwpe.2022.102951
2. Patle A., Kurrey R., Deb M. K., Patle T. K., Sinha D., Shrivas K. Analytical approaches on some selected toxic heavy metals in the environment and their socio-environmental impacts: A meticulous review. *Journal of the Indian Chemical Society*. 2022. № 99(9). doi:10.1016/j.jics.2022.100545
3. Кульський Л. А., Левченко Т. М., Петрова М. В. Хімія і мікробіологія води. Київ: Виша школа. 1967. 115 с.
4. Lin Q., Dai W., Chen J. Q., Jin Y., Yang Y., Wang Y. Y., Mao J. D. Airborne lead: A vital factor influencing rice lead accumulation in China. *Journal of Hazardous Materials*. 2022. № 427. doi:10.1016/j.jhazmat.2021.128169
5. Vidal N. F., Davila J. W. Lead and cadmium removal with native yeast from coastal wetlands. *Open Chemistry*. 2022. № 20(1). Р. 1096-1109. doi:10.1515/chem-2022-0211
6. Хільчевський В. К. Роль агрохімічних засобів у формуванні якості вод басейну Дніпра : монографія. Київ : ВПЦ «Київський університет», 1996. 222 с.
7. Зюман Б. В., Котій К. В. Якість питної води з різних джерел водопостачання. *Науковий вісник КУЕІТУ*. 2013. № 1-2. С. 110-113.
8. Jolliet O., Pennington D., Amman C., Pelichet H., Margni M., Crettaz P. Comparative assessment of the toxic impact of metals on humans within IMPACT 2002. *Life-Cycle Assessment of Metals: Issues and Research Directions*. 2003. Р. 192-198.
9. Wyszkowska J., Borowik A., Zaborowska M., Kucharski J. Mitigation of the Adverse Impact of Copper, Nickel, and Zinc on Soil Microorganisms and

Enzymes by Mineral Sorbents. *Materials.* 2022. № 15. Р. 5198. doi:10.3390/ma15155198

1. Fang H., Wang X. J., Xia D., Zhu J. T., Yu W. D., Su Y. M., Qiu J. R. Improvement of Ecological Risk Considering Heavy Metal in Soil and Groundwater Surrounding Electroplating Factories. *Processes*. 2022. № 10(7). Р. 1267. doi:10.3390/pr10071267
2. Mabungela N., Shooto N. D., Mtunzi F., & Naidoo E. B. Binary adsorption studies of Cr(VI) and Cu(II) ions from synthetic wastewater using carbon from Feoniculum vulgare (fennel seeds). *Cogent Engineering*. 2022. № 9(1). doi:10.1080/23311916.2022.2119530
3. Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М. Аналітична хімія поверхневих вод : монографія. Київ : Наук. думка, 2007. 455 с.
4. Akash M. S. H., Rehman K. Atomic Spectroscopy. 2020. 232 р.
5. Kagler S. H. Atomic-absorption spectroscopy – critical review of uses of flameless atomic-absorption spectroscopy in comparison with flame atomic- absorption spectroscopy. *Erdol & Kohle Erdgas Petrochemie*. 1974. № 27(9). Р. 514- 517.
6. Barrett S. M., Szalay P. S., Zook-Gerdau L. A., Schurter E. J. Exploring Emission and Absorption Spectroscopy in the First-Year General Chemistry Laboratory. *Journal of Chemical Education*. 2020. № 97(11). Р. 4097-4102. doi:10.1021/acs.jchemed.0c00234
7. Miller D. D., Rutzke M. A. Atomic Absorption Spectroscopy, Atomic Emission Spectroscopy, and Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry. *Food analesis*. 2010. Р. 421.
8. Fairulnizal M. N. M., Vimala B., Rathi D. N., Naeem M. N. M. Atomic absorption spectroscopy for food quality evaluation. *Evaluation Technologies for Food Quality*. 2019. Р. 145-173.
9. Yurchenko O. I., Chernozhuk T. V., Kravchenko O. A., Baklanov A. N. Atomic absorption and atomic emission with inductive connected plasma and x-ray fluorescend detection of zinc and copper in solt. *Journal of*

*Chemistry and Technologies*. 2022. № 30(2). Р. 307-311. doi:10.15421/jchemtech.v30i2.223394

1. Akash M. S. H., Rehman K. Atomic Spectroscopy. Essentials of Pharmaceutical Analysis. 2020. Р. 81-84. doi:10.1007/978-981-15-1547-7\_5
2. Liu K. L. Review of atomic spectroscopy. *Spectroscopy and Spectral Analysis*. 2005. № 25(1). Р. 95-103.
3. Gray H. J., Jain M., Sawakuchi A. O., Mahan S. A., Tucker G. E. Luminescence as a Sediment Tracer and Provenance Tool. *Reviews of Geophysics.* 2019. № 57(3). Р. 987-1017. doi:10.1029/2019rg000646
4. Мураєва О. О., Панайотова Т. Д., Зайцева І. С., Безцінний О. О. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Фізико- хімічні методи аналізу води». Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 76 с.
5. Цехмістрова Г. С. Основи наукових досліджень : навчальний посібник. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2003. 240 с.
6. Чеботарьов О. М., Гузенко О. М., Снігур Д. В. Сучасні методи пробопідготовки речовин та матеріалів до аналізу : методичні вказівки для студентів третього (освітньонаукового) рівня (PhD) вищої освіти спеціальності 102 «Хімія». Одеса : Одес. нац. ун-т ім. І. І. Мечникова, 2020. 41 с.
7. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М., Брик М. Т., Гвоздяк П. І., Князькова Т. В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод : підручник. Київ : Лібра, 2000. 552 с.
8. Крупєй К. С., Скокова А. О., Рильський О. Ф., Домбровський К. О., Гвоздяк П. І. Очистка стічних вод заводу АТ «Мотор Січ» мікроорганізмами, що іммобілізовані на штучних носіях. *Питання біоіндикації та екології*. 2014. 1№ 9 (2). С. 224-236.
9. Чернова Н., Якопова І., Климчук Д. Біологічні методи видалення сполук заліза та марганцю з природних вод. Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки : матеріали міжнародної науково- практичної конференції, м. Київ, 2015 р. Київ : «Центр учбової літератури», 2015. С. 44.
10. Гомеля М. Д., Трус І. М., Грабітченко В. М. Вплив аерації та електролізу на зниження вмісту заліза. *Екологічна безпека*. 2014. Вип. 1. С. 78- 82.
11. Природне і штучне освітлення : ДБН В.2.5-28-2006. [Чинний від 2006–10–01]. Київ : МінБуд України, 2006. 128 с.
12. НПАОП 73.1–1.11–2012. Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях. [Чинний від 2012-09-11]. Київ : МНС України №1192, 2012. 29 с.
13. Водна рамкова директива ЄС 200/60/EC. Основні терміни та їх визначення. Київ, 2006. 240 с.
14. Волгін С. О., Гнатуш С. О., Манько В. В. Оформлення курсових, дипломних і магістерських робіт : методичні вказівки для студентів біологічного факультету. Львів : Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2012. 52 с.
15. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання. [На заміну ДСТУ 3008-95; чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 26 с.
16. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання. [Чинний від 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 16 с.
17. Омельянчик Л. О., Панасенко Т. В., Генчева В. І. Хімія : методичні рекомендації до написання курсових, випускних, дипломних і магістерських робіт для студентів біологічного факультету напряму підготовки «Хімія» денної форми навчання. Запоріжжя : ЗНУ, 2010. 78 с.
18. Сачков Л. С. Охорона праці. Київ : Основа, 1995. 389 с.
19. Савчук О. М. Конспект лекцій з дисципліни «Основи охорони праці». Запоріжжя : Просвіта, 2000. 124 с.
20. Жидецький В. Ц. Основы охраны труда. Львов : Афиша, 2000. 351

с.

1. Охорона праці. Терміни і визначення : ДСТУ 2293-99. [Чинний від 2000-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 1999. 21 с.