

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

на тему **Обґрунтування технологій ремедіації забруднених підземних вод**

Здобувачки Коноводової Д.

2 курсу ЗТЗ-777 групи

Керівник доцент Гаркович О.Л.

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від _____ 2023 р., протокол № _____

Завідувач кафедри ЕВтаПТ _____ Олексій ГАРКОВИЧ

Одеса - 2023 рік

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Нафти, газу та екології

Кафедра екології, води та природоохоронних технологій.

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

Освітня програма Технології захисту навколишнього середовища

ЗАТВЕРДЖУЮ

завідувач кафедри

к-т біол. наук, доц.

_____ **О.Л. Гаркович**

“ ____ ” _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Коноводової Дойни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Обґрунтування технологій ремедіації забруднених підземних вод»

Затверджена наказом ОНТУ від “27” 01 2023 року, наказ № 21-03

2. Термін здачі здобувачем закінченої роботи 01.12.23.

3. Вихідні дані до роботи методи та технології очищення ґрунтових та підземних вод; матеріали переддипломної практики: застосування технологій біоремедіації для очищення підземних вод

4. Перелік питань, які потрібно розробити дати загальну характеристику, схарактеризувати джерела забруднення підземних вод; здійснити порівняльний аналіз існуючим технологіям очищення підземних вод; обґрунтувати можливість застосування фіторемедіації за використання макрофітів для очищення ґрунтових вод; експериментально перевірити ефективність фіторемедіації за використання макрофітів для очищення ґрунтових вод

5. Перелік графічного матеріалу (з зазначенням обов'язкових креслень) таблиці та схеми, що відображають хід виконання випускної кваліфікаційної роботи

6. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи, що стосуються їх

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Загальна характеристика, джерела забруднення та технології ремедіації підземних вод	Гаркович О.Л., к.б.н, доц.	02.08	29.08
2. Матеріали та методи дослідження	Гаркович О.Л., к.б.н, доц.	29.08	19.09
3. Теоретичне обґрунтування та експериментальна перевірка можливості застосування технології фіторемедіації для очищення підземних вод	Гаркович О.Л., к.б.н, доц.	19.09	17.10
4. Експериментальні дослідження	Гаркович О.Л., к.б.н, доц.	17.10	07.11
5. Охорона праці та ЦЗ	Гаркович О.Л., к.б.н, доц.	07.11	30.11

7. Дата видачі завдання 02.08.2023 р.

Керівник _____ Олексій ГАРКОВИЧ

Завдання прийняв до виконання _____ Дойна КОНОВОДОВА

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускного проекту (роботи)	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальна характеристика підземних вод	29.08.23	
2	Види та джерела забруднення підземних вод.	29.08.23	
3	Технології ремедіації підземних вод	29.08.23	
4	Матеріали та методи дослідження	19.09.23	
5	Теоретичне обґрунтування можливості застосування технології фіторемедіації для очищення підземних вод	17.10.23	
6	Експериментальна перевірка можливості застосування технології фіторемедіації для очищення підземних вод	07.11.23	
7	Охорона праці та ЦЗ	30.11.23	
8	Оформлення результатів виконаної роботи	01.12.23	

Здобувач-дипломник _____ Дойна КОНОВОДОВА

Керівник роботи _____ Олексій ГАРКОВИЧ

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних web-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної доброчесності.

Здобувач-дипломник Дойна КОНОВОДОВА _____

АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до випускної кваліфікаційної роботи: сторінок – 81, рис. – 10 табл. – 8, формули – 16, література – 69.

Перелік ключових слів: технології ремедіації підземних вод, біологічні методи, біоремедіація, фіторемедіація, макрофіти, важкі метали.

Тема: Обґрунтування технологій ремедіації забруднених підземних вод.

Об'єкт дослідження – побутові стічні води урбанізованої території.

Предмет дослідження – фіторемедіація.

Мета досліджень Теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити ефективність застосування технології фіторемедіації для очищення підземних вод.

Кваліфікаційна робота магістра складається з таких розділів:

Розділ 1. Наведена загальна характеристика підземних вод, схарактеризовані види та джерела забруднення підземних вод. Подана характеристика існуючих методів та технологій ремедіації підземних вод.

Розділ 2. Матеріали та методи дослідження. Визначені об'єкти, охарактеризовані методи дослідження та розроблена програма проведення дослідження.

Розділ 3. Теоретично обґрунтовано можливості застосування технології фіторемедіації для очищення підземних вод; обґрунтовано необхідність розробки технологічної схеми та обладнання за застосування фіторемедіаційної технології; експериментально перевірено ефективність фіторемедіації за використання макрофітів для очищення підземних вод від важких металів.

Розділ 4. Наведено правила безпеки та обов'язкові вимоги для вдалої роботи в лабораторії.

Розділ 5. У розділі в рамках інформації щодо надзвичайних ситуацій, було розраховано характер руйнування лабораторії, у разі вибуху балону з аміаком.

ЗМІСТ

	Сторінки
ВСТУП.....	3
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМЕДІАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ВОД.....	5
1.1. Загальна характеристика підземних вод.....	5
1.2. Види та джерела забруднення підземних вод.....	20
1.3. Технології ремедіації підземних вод.....	30
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	37
РОЗДІЛ 3. ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД.....	50
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	63
4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів.....	63
4.2. Вимоги до охорони праці при організації робочого місця працівника.....	64
4.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря.....	65
4.4. Освітлення робочого місця, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.....	65
4.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації.....	66
4.6. Забезпечення необхідного санітарного стану.....	67
4.7. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом.....	67
4.8. Забезпечення пожежовибухобезпеки.....	68
РОЗДІЛ 5. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ.....	69
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75

ВСТУП

Актуальність теми. Підземні води є важливим природним ресурсом, який підтримує соціально-економічний розвиток і підтримує екологічну рівновагу в сучасному суспільстві. Вони забезпечують 36% питної води, 42% води для сільського господарства, 24% води для промисловості. Однак, якість цих підземних водних ресурсів у всьому світі знаходиться під загрозою через природний геохімічний фон та антропогенне забруднення.

Стале управління підземними водами має ґрунтуватися не лише на запобіганні надмірній експлуатації ресурсів підземних вод, але й на запобіганні забрудненню. Однак економічна діяльність (основна діяльність), яка виробляє товари (видобуток корисних копалин, сільське господарство), а також вторинна чи промислова діяльність (енергетика, виробництво, будівництво тощо) на додаток до послуг (включаючи транспорт) і домогосподарства призводять до утворення величезної кількості забруднювачів, що загрожує не тільки навколишньому середовищу, а й призводить до збільшення забруднення ґрунтових вод.

Суттєві зміни до гідрогеологічних умов підземних вод вносить також інженерно-господарська діяльність людини. Вирізняють дві групи техногенних чинників, які впливають на режим підземних вод: перша група включає фактори, що викликають виснаження ресурсів підземних вод водоносних горизонтів (водозабори, гірський водовідлив, сільськогосподарський та будівельний дренаж – осушення). Друга включає фактори, що викликають поповнення їх ресурсів (зрошення земель, підживлення за рахунок втрат води з водоймищ, фільтрація побутових стоків, скидання та поховання промислових стоків у глибокі водоносні горизонти та ін.). Зазначені фактори за часом впливу на режим підземних вод ділять на діючі тривалий час (водозабори, гірський водовідлив, асфальтування та забудова територій та ін.), періодичні або сезонні (зрошення земель та ін.) та епізодичні (будівельний дренаж та ін.).

Такий інтенсивний антропогенний пресинг на водно-ресурсний потенціал призвів до деградації гідросфери, зниження якості води, втрати самоочисної та самовідновної здатності джерел води.

Враховуючи недоліки існуючих технологій очищення та характерні особливості формування та використання підземних вод впровадження нових, більш ефективних і менш дорогих технологій актуальне.

Мета та завдання дослідження. Теоретично обґрунтувати та експериментально перевірити ефективність застосування технології фіторемедіації для очищення підземних вод.

Для досягнення зазначеної мети було поставлено такі завдання:

- дати загальну характеристику, схарактеризувати джерела забруднення підземних вод;
- схарактеризувати методи та здійснити порівняльний аналіз існуючим технологіям очищення підземних вод;
- обґрунтувати можливість застосування фіторемедіації за використання макрофітів для очищення ґрунтових вод;
- експериментально перевірити ефективність фіторемедіації за використання макрофітів для очищення ґрунтових вод.

Об'єкт дослідження – ґрунтові води.

Предмет дослідження – фіторемедіація.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА, ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМЕДІАЦІЇ ПІДЗЕМНИХ ВОД

1.1. Загальна характеристика підземних вод

Вода займає понад 70% земної поверхні і, безсумнівно, є найціннішим природним ресурсом, який існує на Землі. Це ключовий інгредієнт, що підтримує виробництво їжі, санітарію та засоби до існування, а також забезпечує безперервність і функціонування екосистем. Вона визначає темпи розселення, сільськогосподарського та промислового розвитку будь-якого суспільства, і навіть останнім часом створення будь-якого людського поселення зазвичай зосереджується на доступному джерелі водопостачання, і нині питання води однаково займає чільне місце в глобальних питаннях [1].

Розподіл світової води вказує на те, що 2,5% і 97,5% складають прісна вода і солоня вода відповідно. Ці 2,5% світової прісної води, розподіляються на поверхневі і підземні вод, що складають 0,4% і 30,1% відповідно [2]. Велика частина прісної води замкнена в крижаних шапках полярних регіонів. Будь-які зміни у властивостях прісної води призведуть до перерозподілу цього співвідношення, а відповідно і до її нестачі, що безумовно обмежить доступність для людей, сільського господарства та промислового використання. Якість підземних вод знаходиться під загрозою в основному через діяльність людини, хоча шкідливі речовини іноді продукуються і природними процесами (рис. 1).

Стале управління підземними водами має ґрунтуватися не лише на запобіганні надмірній експлуатації ресурсів підземних вод, але й на запобіганні забрудненню. Однак економічна діяльність (основна діяльність), яка виробляє товари (видобуток корисних копалин, сільське господарство), а також вторинна чи промислова діяльність (енергетика, виробництво, будівництво тощо) на додаток до послуг (включаючи транспорт) і домогосподарства призводять до утворення величезної кількості

забруднювачів, що загрожує не тільки навколишньому середовищу, а й призводить до збільшення забруднення ґрунтових вод [3, 4].

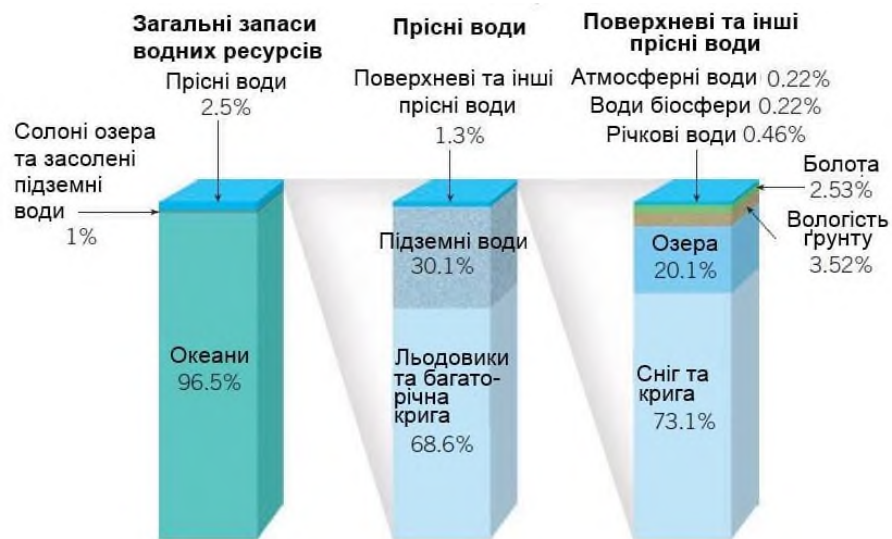


Рис. 1 – Розподіл води

Всі води земної кори, що знаходяться нижче поверхні Землі в гірських породах у газоподібному, рідкому та твердому станах, називаються підземними водами. Підземні води становлять частину гідросфери – водної оболонки земної кулі. Вони зустрічаються в свердловинах на глибині до декількох км. За даними В.І. Вернадського підземні води можуть існувати до глибини 60 км. Приблизні підрахунки запасів прісної води надрах Землі до глибини 16 км дають величину 400 млн км³, тобто, близько 1/3 вод Світового океану. Підземні води у земній корі розподілені на двох шарах. Нижній шар, утворений щільними магматичними та метаморфічними породами, містить обмежену кількість води [5].

Основна маса води знаходиться у верхньому шарі осадових порід. За характером обміну з поверхневими водами, у ньому виділяють три зони [6]:

- зону вільного водного обміну (верхню);
- зону уповільненого водного обміну (середню);
- зону уповільненого водного обміну (нижню).

Води верхньої зони зазвичай прісні, використовуються для питного, господарського та технічного водопостачання. У середній зоні розміщуються мінеральні води різного складу. Це так звані давні води. У нижній зоні

знаходяться високомінералізовані розсоли. З них добувають бром, йод та інші речовини. Підземні води формуються головним чином внаслідок просочування атмосферних опадів (інфільтраційна вода), а також шляхом конденсації водяної пари, що проникає з повітрям у тріщинуваті та пористі гірські породи (часто в пустелях над солоними ґрунтовими водами виникають лінзи прісної води). Крім того, існують реліктові води, що збереглися від древніх морських басейнів і законсервовані при накопиченні потужних товщ опадів, а також термальні води, що утворюються на останніх стадіях магматичних процесів, які називають магматогенними, або ювенільними, підземними водами [6, 7].

У формуванні підземних вод велике значення має водопроникність гірських порід, тобто здатність гірської породи пропускати воду. Спостереження показують, що в одних місцях, де розвинені глини, атмосферні опади застоюються на поверхні та випаровуються, в інших районах, утворених пісками, досить швидко проникають у глибину. Ще швидше просочуються опади у галечниках.

За рівнем проникності гірські породи поділяються на 3 групи [8]:

– *водопроникні* – піски, гравій, галечники, тріщинуваті пісковики, конгломерати та інші скельні породи, тріщинуваті вапняки, доломіти та інші розчинні породи;

– *слабопроникні* – супіски, легкі суглинки, лес, торф, що не розклався;

– *водонепроникні* (водотривкі) – глини, важкі суглинки, торф, що добре розклався, і не тріщинуваті масивні кристалічні осадові гірські породи.

Водопроникність гірських порід обумовлена тим, що порода пухка і зерниста (наприклад, пісок, гравій), і вода в цьому випадку може просочуватися між проміжками (порами), окремими зернами, або тим, що породи хоча масивні і зцементовані (граніт, вапняк), але розбиті тріщинами, за рахунок яких і відбувається переміщення води.

Слід зазначити, що не завжди велика пористість забезпечує вільне проникнення води. Так, наприклад, глини мають значну пористість, що

досягає 50-60%, але в той же час практично є водонепроникними. Це пояснюється тим, що пори в глинах надзвичайно тонкі, і вода під час руху в них зазнає величезного опору, що створюється поверхневим натягом. Звичайні ж піски, що мають в середньому пористість 30-35%, добре проникні для води. Чим більші зерна, що складають пухку уламкову породу, тим більшою водопроникністю вона володіє. Галечники з великим піском мають в середньому пористість близько 20% і характеризуються найбільшою водопроникністю. Отже, водопроникність пухких уламкових гірських порід залежить не від кількості пор, а від розміру та форми складових породи зерен та від щільності їх укладання [8].

Від складу пухких гірських порід залежить їх вологоємність, тобто здатність вміщувати та утримувати в собі ту чи іншу кількість води. Розрізняють повну вологоємність, коли вода заповнює всі пори (включаючи і тонкі капілярні) гірської породи, і максимальну молекулярну вологоємність, що вказує на кількість води, яка утримується у породі силами молекулярного зчеплення після того, як вся гравітаційна вода стече з породи. Різниця між повною та максимальною молекулярною вологоємністю називають водовіддачею гірської породи. Для практичних цілей необхідно знати питому водовіддачу – кількість вільної води, яку можна отримати з 1 м³ породи. Найбільша водовіддача у крупнозернистих пухких порід (піски, гравій). Вологомісткі глини воду практично не віддають [8].

У сучасній літературі наводяться різні класифікації видів води у гірських породах. Найбільш широко використовується класифікація заснована на видах води [8, 9]:

– пароподібна міститься у повітрі, що займає вільні від рідкої води пори та тріщини в гірських породах. Вона знаходиться в динамічній рівновазі з іншими видами води та з парами води в атмосфері;

– гігроскопічна вода утворюється в тому випадку, коли молекули пароподібної води адсорбуються на поверхні мінеральних частинок гірських порід, міцно утримується на їх поверхні молекулярними та електричними

силами і може бути видалена при нагріванні до температур не менше 105 – 110 °С;

– плівкова вода утворює навколо частинок гірської породи і поверх гігроскопічної води більш товсту плівку кілька шарів молекул. Плівкова вода може пересуватися від однієї частинки до іншої. У тому випадку, якщо товщина плівок у сусідніх частинок різна, то відбувається повільне переміщення води від частинок з більшою товщиною плівки до частинок з меншою плівкою доти, доки плівки не стануть однаковими по товщині;

– капілярна вода заповнює частково або повністю тонкі пори та тріщини в гірських породах та утримується в них силами поверхневого натягу. Ця вода піднімається тонкими капілярами знизу вгору від рівня підземних вод. Чим менший діаметр частинок, що складають гірську породу, тим дрібніший діаметр пор і тим більша висота капілярного підняття. У суглинках висота капілярного підняття може досягати 2 м і більше, у крупнозернистих пісках – лише кількох сантиметрів;

– крапельнорідка (вільна) гравітаційна, здатна вільно пересуватися по порах, тріщинах та інших порожнечах у гірських породах під впливом сили тяжіння. Вона може бути поділена на воду, що повністю заповнює пори і тріщини в гірських породах, тобто утворює горизонт підземних вод, і воду, що просочується зверху вниз у зоні аерації, тобто в зоні, розташованій вище підземних вод;

– вода у твердому стані у вигляді льоду, присутня у гірських породах, що мають негативну температуру (нижче 0 °С). Лід може бути у вигляді окремих мікрокристалів, тонких плівок або у вигляді прошарків чистого льоду;

– кристалізаційна вода входить до складу ряду мінералів і бере участь у будові їх кристалічних ґраток.

До властивостей підземних вод належать прозорість, колір, запах, смак, температура.

Природна вода може бути прозорою та каламутною. Мутність води

обумовлюється присутністю у ній зважених частинок мінерального та органічного походження. Механічні домішки можуть потрапляти у воду внаслідок несправності водозабору або просочування у водоносний пласт дощових, паводкових, річкових вод (карстові райони). Іноді каламутність підземних вод обумовлюється розчиненими в ній хімічними сполуками (залізо, мідь та ін.) [7, 8, 9].

Колір. Чиста вода безбарвна. Забарвлення пояснюється наявністю в ньому тих чи інших домішок (залізо надає іржавий відтінок, сірководень – блакитний).

Запах. Підземні води зазвичай без запаху. Наявність запаху свідчить про наявність різних хімічних сполук (сірководень надає запах тухлих яєць та ін.).

Смак. З'являється при певному вмісті у воді тих чи інших сполук (солоний смак – NaCl; кислий – наявність сульфатних чи сульфідних сполук).

Температура – змінюється від 4 – 5°C до 60 – 90°C. За температури вище 20 °C води називаються субтермальними. Прісна вода за $t = 4$ °C має найбільшу щільність.

Незважаючи на малу мінералізацію, до 1,5 г/л, підземні води є складною багатокомпонентною системою, що включає цілий комплекс неорганічних і органічних сполук, газів і живої речовини [7, 8, 9].

Неорганічні речовини (макро та мікрокомпоненти). Залежно від концентрації неорганічних речовин у підземних водах виділяють макрокомпоненти (десятки та сотні мг/л) та мікрокомпоненти (менше 1 мг/л). Макрокомпоненти визначають хімічний тип води та, як наслідок, її основні споживчі властивості. Насамперед, до них слід віднести Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} та HCO_3^- . Концентрації та можливість накопичення у підземних водах макрокомпонентів визначаються геолого-гідрогеологічними умовами району та багато в чому залежать від мінерального складу водовмісних порід. До мікрокомпонентів можна віднести всі інші елементи. Нині у воді їх виявлено понад 80 [7, 8, 9, 10].

Не вся прісна підземна вода може використовуватися для питного водопостачання, так як вміст багатьох мікрокомпонентів в природних умовах може перевищувати встановлені гранично допустимі значення. Окремою групою серед неорганічних речовин слід виділити радіоактивні елементи. Найбільш поширеними природними радіоактивними ізотопами у природних водах є ізотопи калію з атомною масою 40 (^{40}K), радію (^{226}Ra), радону (^{222}Rn), урану (^{238}U). Як правило, їхня сумарна концентрація не перевищує 10 Бк/л, проте в місцях, де в геологічному розрізі зустрічаються радіоактивні мінерали, концентрація природних радіоелементів у воді може досягати тисячі і більше Бк/л [7, 8, 9, 10].

Органічні речовини. Прісні підземні води завжди містять ту чи іншу кількість органічної речовини. У природних умовах їх зміст зазвичай зменшується з глибиною. Склад органічних речовин досить складний і може бути представлений усіма класами органічних сполук. Найбільш поширені високомолекулярні кислоти (наприклад, гумінові кислоти та фульвокислоти). Вони постійно присутні у ґрунтових водах у кількості від одного до декількох мг/л. В останні роки в підземних водах виявлено цілу низку амінокислот, що є структурними елементами білків. Крім того, у прісних підземних водах нафтогазоносних провінцій, як правило, присутні нафтеніві кислоти та різні вуглеводневі сполуки. Оскільки визначення окремих органічних сполук у підземних водах ускладнено, зазвичай оцінюється їх сумарне число. Найбільш поширена сумарна оцінка органічних речовин за допомогою величини окиснюваності ($\text{мгO}_2/\text{л}$) кількості органічних вуглецю ($\text{C}_{\text{орг}}$) та азоту ($\text{N}_{\text{орг}}$). Найбільш точною характеристикою загального вмісту органічних речовин у підземних водах є оцінка кількості $\text{C}_{\text{орг}}$ [7, 8, 9, 10].

Мікроорганізми. З мікроорганізмів найбільше значення у прісних підземних водах мають бактерії, також зустрічаються мікроскопічні водорості, найпростіші та віруси. Розрізняють аеробні та анаеробні бактерії. Загальна кількість бактерій може досягати мільйона на 1 мл води, мікроскопічних водоростей – тисяч на один літр, найпростіших – сотень і

тисяч на один літр. Число бактерій у воді залежить головним чином від наявності в ній поживних речовин. Хвороботворні бактерії, для розвитку яких потрібний живий білок, зберігаються у підземних водах, як правило, не більше 400 діб [11].

Гази. Основними газами, розчиненими у прісних підземних водах, є кисень, азот, вуглекислий газ та сірководень. У незначних кількостях зустрічаються й інші гази. За генетичними ознаками виділяють гази повітряного походження (O_2 , N_2 , CO_2), біохімічні (CO_2 , H_2S , N_2) та гази ядерних перетворень (He , Ra). Найбільш негативний вплив на споживчі властивості води має наявність у ній сірководню. Сірководень викликає інтенсивну корозію металевих обсадних труб та іншого обладнання в результаті утворення гідротроїліту ($FeS \cdot nH_2O$). У прісних підземних водах переважають розчинені форми хімічних елементів. Колоїдні форми присутні в основному лише у ґрунтових водах. Головним чином це сполуки елементів з органічними речовинами гумусового ряду, особливо з фульвокислотами, а також полімерні сполуки кремнезему [7, 8, 9, 10].

Під факторами формування хімічного складу підземних вод розуміються рушійні сили, що зумовлюють перебіг різноманітних процесів, які змінюють мінералізацію та хімічний склад вод. Хімічний склад підземних вод формується під впливом наступних факторів [12]:

- вилуговування ґрунтів та гірських порід;
- повне розчинення мінералів та порід;
- концентрування солей у воді внаслідок випаровування;
- випадання солей в осад з природних розчинів при зміні термодинамічних умов;
- катіонний обмін у поглинаючому комплексі мулів, ґрунтів, глинистих порід (Ca^{2+} замінюється катіоном Na^+ ; Na^+ – катіоном Ca^{2+});
- дифузія та мікробіологічні процеси;
- змішування вод різного походження.

Процеси ці залежать від кліматичних, геоморфологічних, геологічних,

гідродинамічних та інших умов. Значну роль формуванні хімічного складу підземних вод відіграє склад опадів. Роль атмосферних опадів у формуванні складу маломінералізованих вод добре відомий. Опади поступово фільтруючись углиб, насичуються солями спочатку у ґрунтовому горизонті, а потім у зоні аерації. Це відбувається в результаті розчинення солей, мінералів, гірських порід відповідно до їх розчинності.

У пухких покривних утвореннях відбувається формування перших поверхневих водоносних горизонтів ґрунтового типу. Основними солями, що надходять у підземні води, є карбонати та сульфати кальцію і карбонати магнію. З ґрунту виносяться також надлишки азотнокислого калію, що використовується на полях як добриво. Вміст NO_3^- інколи може досягати 200 мг/л [7].

У переважній більшості випадків сольовий склад природних вод визначається катіонами Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ та аніонами Cl^- , SO_4^{2-} та HCO_3^- . Ці іони називаються головними іонами вод чи макрокомпонентами, вони визначають хімічний тип води. Інші іони присутні у значно менших кількостях і називаються мікрокомпонентами [13].

Залежно від походження виділяються підземні води кількох типів [7, 14]:

- інфільтраційні;
- конденсаційні;
- седиментогенні;
- магматичні.

Інфільтраційні підземні води утворюються в результаті просочування (інфільтрації) у глибину атмосферних опадів, що випадають на земну поверхню.

Конденсаційні підземні води. У деяких кліматичних зонах, наприклад у пустелях, спостерігаються явища, які важко пояснити інфільтраційною теорією походження підземних вод. При малій кількості атмосферних опадів з край нерівномірним їх розподілом у часі (за кілька місяців зовсім не буває

дощу) і за величезної випаровуваності в пустелях немає умов для поповнення підземних вод шляхом інфільтрації. Тим часом на деякій глибині від поверхні повсюдно у пустелях виявляється шар вологих порід або скупчення підземної води.

Седиментогенні – це вода морського походження, що утворилася в процесі накопичення морських опадів. Морська вода з розчиненими в ній солями завжди просочує мулові осади, що постійно накопичуються на дні моря. У ході вигинання земної кори і подальшого осадонакопичення під впливом тиску, що збільшується, ця вода починає вичавлюватися вгору. Сприятливі умови для формування седиментогенних підземних вод створюються на великій глибині (кілька кілометрів) при консервуванні їх потужними водонепроникними шарами.

Магматичні підземні води. Багато джерел підземних вод в областях сучасної або недавньої вулканічної діяльності молодих гір мають підвищену температуру і містять у розчиненому стані незвичайні для поверхневих умов сполуки та газові компоненти. Потрапляючи в області з нижчими температурами, водяні пари починають конденсуватися і переходити в краплинно-рідкий стан, утворюючи цей особливий генетичний тип підземних вод.

Залежно від умов залягання розрізняють: ґрунтові води, верховодку, ґрунтові та артезіанські води (рис. 2).

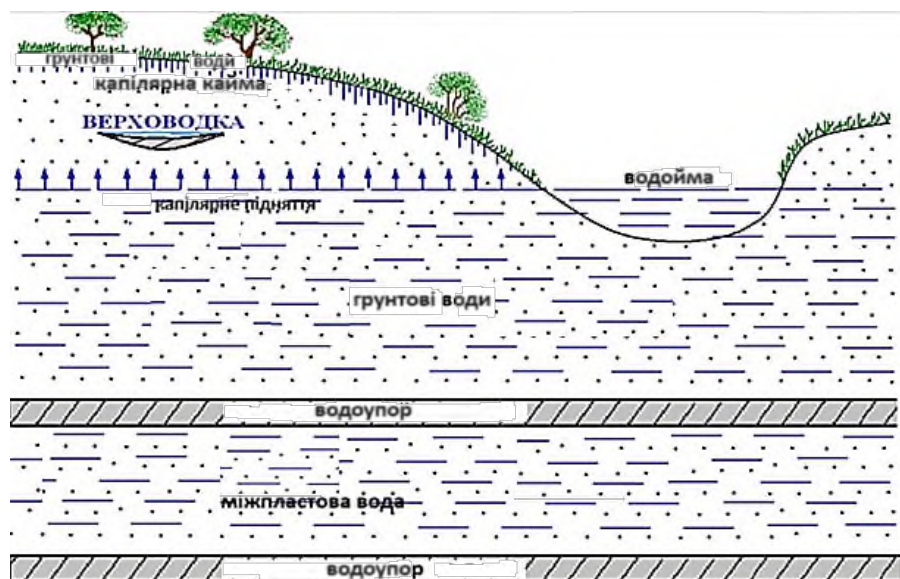


Рис 2 – Схема залягання підземних вод.

Водоносні шари землі. У товщі землі є кілька водоносних шарів (рис. 3). Вода накопичується в землі завдяки наявності водоутримуючих пластів. Ці пласти утворені, переважно, глиною. Глина практично не пропускає воду, захищаючи водоносні горизонти від забруднення. Рідше у водотривкому шарі можна зустріти каміння. Цікавим є той факт, що між глиняними пластами практично завжди знаходяться шари, утворені піском. Відомо, що пісок утримує вологу (воду), внаслідок чого вода накопичується і утворює водоносні надра Землі. Водоносні шари можуть бути захищені водотривкими пластами з обох боків або лише з одного [15].

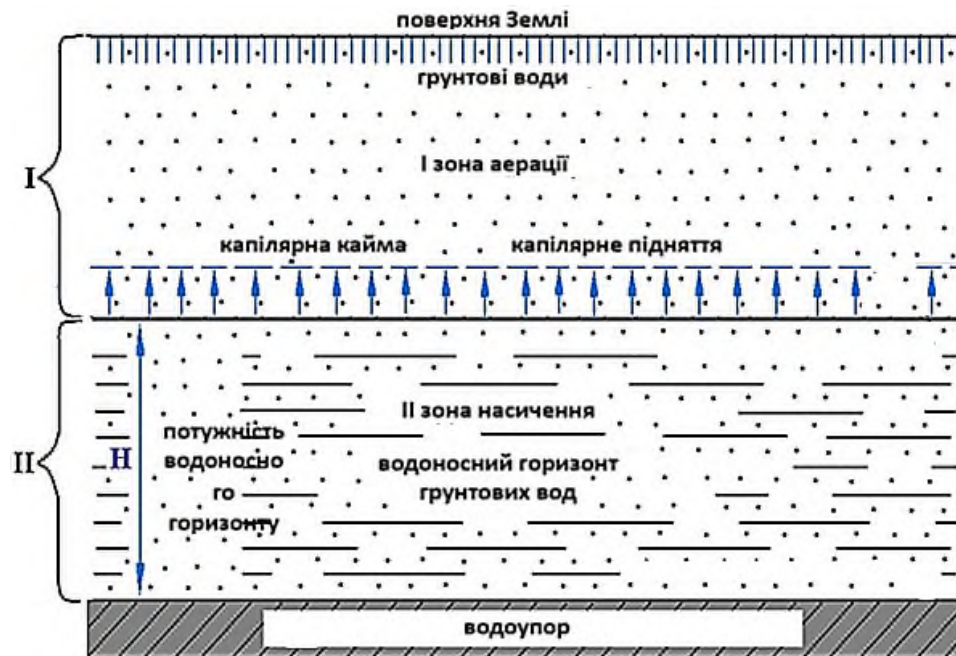


Рис. 3 – Водоносні шари землі

Під ґрунтовими водами розуміють розташовані у ґрунтовому шарі води, що беруть участь у харчуванні кореневої системи рослин, мають зв'язок з атмосферою і підстилаючими їм верховодкою та горизонтними водами. Залежно від типу ґрунтів, географічного положення району, його кліматичних умов потужність ґрунтового шару змінюється від кількох сантиметрів до 1,5 м та більше. Ґрунтові води мають великий вплив на формування хімічного складу ґрунтових вод: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO , CaO . У карбонатних ґрунтах багато CaO , CO_2 ; у засолених – Cl^- , SO_4^{2-} ,

CaO, Na₂O, MgO. Гравітаційна вода у ґрунті не утворює водоносного горизонту. У зв'язку з цим вона може переміщатися в горизонтальній площині під впливом напірного градієнта та пересуватися вертикально вниз під впливом сил тяжіння чи під впливом капілярних сил [7, 14].

Верховодка – тип підземної води, яка утворюється на лінзах і пластах, що виклинюються у водотривкі або слабопроникні порід у зоні аерації за рахунок інфільтрації атмосферних і поверхневих вод. Утворення верховодки обумовлено процесами інфільтрації атмосферних опадів, поверхневих вод та конденсацією водяної пари. Потужність верхівки найчастіше дорівнює 0,4-1,0 м, рідко досягає 5 м [14].

Горизонтні води – підземні води першого і далі від поверхні постійно діючого водоносного горизонту, що залягає на першому водостійкому шарі.

Основні ознаки [7, 8, 10, 14, 15]:

- здебільшого це безнапірна вода, має вільну поверхню і може мати безпосередній зв'язок з атмосферою (тиск на поверхні ґрунтових вод дорівнює атмосферному);

- глибина залягання їх рівня, температура, мінералізація, витрата схильні до систематичних коливань, що відбуваються, як правило, щодобово, щомісяця, протягом одного і декількох років;

- мають широке, майже повсюдне поширення у природі;

- формуються на міжрічних масивах, в алювії стародавніх і сучасних річкових долин, у передгірних конусах виносу, у зоні вивітрювання тріщинуватих масивних порід;

- легкодоступні для практичного використання води, але внаслідок залягання на незначній глибині – забруднені;

- область підживлення збігається із областю поширення.

Підживлення таких вод відбувається за рахунок [15]:

- інфільтрації атмосферних опадів та снігових вод;

- фільтрації з річок, озер, різних каналів;

- конденсації водяної пари і всередині ґрунтового випаровування;

– підтікання (додаткового живлення) з глибших водоносних горизонтів.

Водонепроникні породи, на яких формуються ґрунтові води, називаються водостійким ложем ґрунтових вод, або просто – водоупором.

Глибина залягання ґрунтових вод змінюється від нуля до багатьох десятків, іноді сотень метрів. Вона залежить від рельєфу та геологічної будови (глибини залягання водоупору, водопроникності відкладів), а також від інтенсивності живлення та витрачання ґрунтових вод (рис. 4).

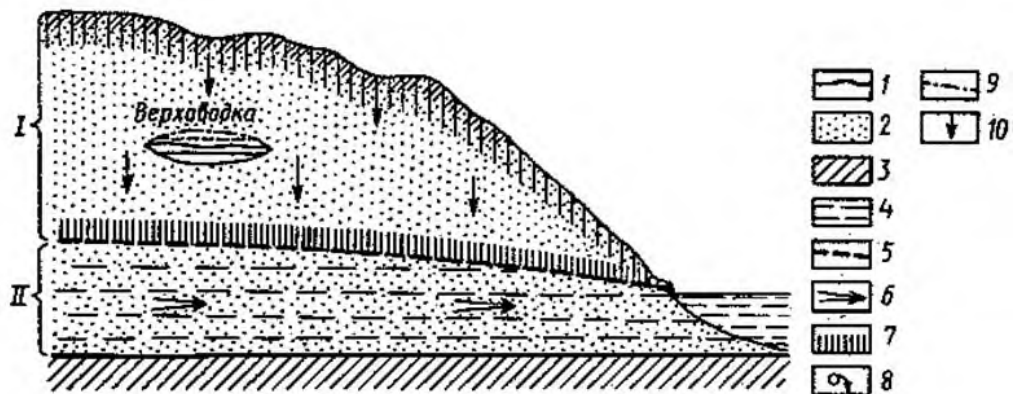


Рис. 4 – Схема ґрунтових вод та верховодки: I – зона аерації; II – зона насичення; 1 – ґрунтові та капілярно-підвішені води, 2 – піщані водопроникні породи, 3 – водонепроникні породи, 4 – ґрунтові води, 5 – рівень ґрунтових вод, 6 – напрям руху ґрунтових вод, 7 – капілярно-піднята вода, 8 – низхідне джерело, 9 – рівень верховодки, 10 – напрям інфільтрованих вод.

Слід зазначити, що у окремих районах ґрунтових вод може не бути. Це має місце при заляганні на поверхні водонепроникних порід, а також у тих аридних районах, де живлення ґрунтових вод значно менше випаровування та їх підземного відтоку. Стійкий водоносний горизонт у таких умовах не виникає, але можливе утворення верхівки. Поява додаткового джерела живлення (наприклад, зрошувального каналу) може спричинити формування ґрунтових вод [7, 14, 15].

Артезіанські води – напірні підземні води, що залягають у водоносних горизонтах (комплексах), між водотривкими або відносно водотривкими пластами.

Характерні особливості артезіанських вод [7, 8, 10, 14, 15]:

– залягають глибше горизонту ґрунтових вод у водоносних горизонтах і підстилаючих комплексах перекриті водотривкими (або відносно водотривкими) пластами;

– область живлення, створення напору артезіанських вод та область їх поширення не збігаються і часто віддалені одна від одної на великі відстані;

– при розкриванні артезіанського водоносного горизонту (свердловина), вода в ній піднімається вище за горизонт. Найхарактерніша риса артезіанських вод – наявність напору;

– режим артезіанських вод є більш стабільним порівняно з ґрунтовими водами, п'єзометричний рівень мало схильний до місячних і сезонних коливань; температура вод із глибиною, як правило, зростає;

– у порівнянні з ґрунтовими водами – артезіанські води менш схильні до забруднення з поверхні у зв'язку з тим, що вони перекриваються водотривкими породами.

Однак, відомо, що абсолютно водонепроникних гірських порід не існує. Внаслідок цього напірні водоносні горизонти, як правило, знаходяться в гідравлічному зв'язку: шляхом свого руху підземні води з одного горизонту можуть перетікати в інший через слабопроникні пласти в результаті різниці напорів [7, 10, 15].

Під режимом підземних вод розуміють зміну у часі їхнього рівня, хімічного складу, температури та витрати. У природних умовах для підземних вод характерний непорушений (природний) режим, який формується переважно під впливом метеорологічних, гідрологічних та геологічних факторів.

До природних чинників формування режиму підземних вод відносяться клімат, рельєф, склад порід, сонячна активність і гравітаційне поле Сонця, Місяця, інших планет та їх супутників. Такі елементи клімату, як опади, температура повітря, випаровування, тиск визначають характер змін рівня ґрунтових вод, ресурсів, температури і хімічного складу і одночасно дозволяють встановити основні періоди потенційно можливого їх

підживлення. Істотними чинниками формування природного режиму ґрунтових вод є склад та будова водовмісних порід водоносного горизонту та зони його аерації [7, 10, 15].

Суттєві зміни до гідрогеологічних умов територій вносить інженерно-господарська діяльність людини. Ці зміни знаходять своє відображення і в режимі підземних вод.

Вирізняють дві групи техногенних чинників, які впливають режим підземних вод [7, 15, 16]:

Перша група включає фактори, що викликають виснаження ресурсів підземних вод водоносних горизонтів (водозабори, гірський водовідлив, сільськогосподарський та будівельний дренаж – осушення).

Друга включає фактори, що викликають поповнення їх ресурсів (зрошення земель, підживлення за рахунок втрат води з водоймищ, фільтрація побутових стоків, скидання та поховання промислових стоків у глибокі водоносні горизонти та ін.).

Зазначені фактори за часом впливу на режим підземних вод ділять на діючі тривалий час (водозабори, гірський водовідлив, асфальтування та забудова територій та ін.), періодичні або сезонні (зрошення земель та ін.) та епізодичні (будівельний дренаж та ін.).

За результатами інженерно-господарської діяльності людини умовно розрізняють слабе, середнє та сильне порушення формування режиму підземних вод [15, 16].

При першому типі порушень зберігаються раніше існуючі характеристики положення рівня підземних вод протягом року, відзначаються незмінність тенденцій у багаторічній зміні режиму та незначні зміни річних амплітуд коливань рівня, температури та хімічного складу води.

При середніх порушеннях умов формування режиму підземних вод спостерігається зсув термінів настання рівноваги рівня протягом року, а також зміна річних амплітуд коливань рівня, температури та хімічного складу підземних вод.

Значні порушення призводять до повного зникнення природного режиму підземних вод, внаслідок чого один або одночасно кілька техногенних факторів стають визначальними для подальшого його розвитку, що відбувається вже в дуже змінений цими факторами природній обстановці, що часто охоплює величезні площі. За цих умов на зазначених територіях спостерігається зниження рівнів підземних вод на десятки або сотні метрів (значно перевищують амплітуду природних коливань рівнів), що супроводжується перерозподілом областей, джерел та розмірів живлення водоносних горизонтів.

1.2. Види та джерела забруднення підземних вод

У результаті господарської діяльності людини на поверхню Землі потрапляють і накопичуються величезні кількості різних речовин, переважно антропогенного походження. До них відносяться, перш за все, відходи (промислові, комунальні, транспортні, сільськогосподарські), які зумовлюють основну частку навантаження природного середовища забрудненими речовинами. Також використовуються в сільському господарстві та промисловості добрива і отрутохімікати, що складаються на поверхні землі та під землею, нафтопродукти, хімічні реагенти та ін. Все це є основною причиною забруднення підземних вод [7, 16, 17, 18].

Іншою важливою причиною, що призводить до погіршення якості підземних вод, є їх відбір для водопостачання, осушення, експлуатації родовищ корисних копалин, будівництва. В результаті такого відбору відбувається впровадження в експлуатований водоносний горизонт і підтягування до ділянки водозабірної споруди мінералізованих підземних вод, які можуть утримуватися як у самому горизонті, що експлуатується, так і в суміжних водоносних горизонтах. У водоносний горизонт, що експлуатується, можуть вторгатися також забруднені або природні солоні поверхневі води. Наприклад, у прибережних районах має місце інтрузія морських вод у горизонти прісних підземних вод. При роботі інфільтраційних

водозаборів у разі забруднення річкових вод відбуватиметься їх проникнення в водоносний горизонт, що експлуатується [7, 17, 18, 19, 20].

До забруднення підземних вод можуть призводити різні будівельні, гірничодобувні та розкривні роботи, що порушують умови гідромеханічної та гідродинамічної рівноваги в надрах.

Найбільшою мірою забруднені підземні води, розташовані поблизу поверхні землі. Такими є ґрунтові води та підземні води перших від поверхні напірних горизонтів, що становлять зону активного водного обміну. Вона характеризується порівняно високими швидкостями руху підземних вод пластом і, отже, щодо невеликим проти більш глибокими водоносними горизонтами часом руху підземних вод від області харчування до області розвантаження [7, 20].

Зміна якості підземних вод під впливом техногенних впливів може виразитися у збільшенні їхньої мінералізації, вмісту типових для них речовин (хлор, сульфати, кальцій, магній, залізо, фтор та ін.). У появі в підземних водах невластивих їм речовин штучного походження (наприклад, СПАР, пестициди, нафтопродукти), у зміні температури та рН, у появі запаху, забарвлення.

Таким чином, забруднення підземних вод – це спричинені господарською діяльністю зміни якості води (фізичних, хімічних, біологічних властивостей) порівняно з природним станом та нормами якості води за видами водокористування, які роблять цю воду частково або повністю непридатною для використання за цільовим призначенням [7, 17, 18, 19, 20].

До показників якості води в природному стані відносяться, перш за все, показники якості підземних вод, що не зазнали помітної зміни внаслідок господарської діяльності. Обов'язковою умовою віднесення показників якості підземних вод до природних є ідентичність гідрогеологічних умов ділянки, де хімічний склад підземних вод є непорушеним (незмінним), і ділянки, де підземні води забруднені [20].

Однак не завжди якість підземних вод залишається незмінною і

зберігається їх початковий природний гідрохімічний режим. В даний час у багатьох випадках має місце вже змінений до певної міри склад підземних вод, і найчастіше початковий стан відновити неможливо. У цьому випадку, під фоновим якісним станом підземних вод слід розуміти сформований досить стабільний гідрохімічний режим підземних вод на відстані від досліджуваної області забруднення, але в аналогічних з нею гідрогеологічних умовах. Встановлення фонових показників якості підземних вод у зв'язку з вивченням забруднення та оцінкою його масштабів є актуальним завданням.

Зупинимося на показниках якості підземних вод залежно від їх використання. Прісні підземні води, передусім, використовуються для питного водопостачання, є його найважливішим джерелом. Забруднення підземних вод викликається великою кількістю речовин. Тому постає питання, за якими речовинами чи показниками характеризувати забруднення підземних вод. Очевидно, така характеристика повинна, з одного боку, даватися за специфічними, властивими даному об'єкту речовинами. Якщо таких речовин кілька, то вибирають 2 – 3 їх, найбільш характерних і які у найбільших проти іншими речовинами кількостях [16, 19, 20, 21].

З іншого боку, ця сама область забруднення підземних вод має характеризуватись деякими загальними показниками для всіх областей забруднення. Під загальними показниками розуміються такі показники якості підземних вод або такі речовини, які найчастіше виявляються і повсюдно. Так, практично у всіх галузях забруднення підземні води відрізняються підвищеними значеннями мінералізації, загальної жорсткості, вмісту хлоридів, нітратів, органічних сполук. Тому до загальних показників забруднення можуть бути віднесені сухий залишок, загальна жорсткість, вміст хлоридів, нітратів, важких металів, загального вуглецю, окислюваність, бактеріологічні та органолептичні показники. Загальні показники необхідні як для характеристики кожної конкретної області забруднення, так порівняння цих областей між собою та його узагальненої характеристики [7].

Речовини, що погіршують якість води містяться, перш за все, у

відходах, що утворюються внаслідок господарської діяльності людини – промислових, комунальних, сільськогосподарських. Ці відходи накопичуються на поверхні землі, і звідти їх рідка фаза проникає в підземні води. Забруднюючими можуть бути і багато корисних речовин, особливо такі, як нафта та її похідні, пестициди, мінеральні добрива, хімічні реагенти та інші кінцеві продукти промислового виробництва. Зрештою, підземні води можуть забруднюватися природними некондиційними водами. Останні впроваджуються у водоносний горизонт у процесі відбору підземних вод, але можуть забруднювати верхні водоносні горизонти і з поверхні землі, будучи витягнутими під час відкачування у процесі видобутку корисних копалин (води шахтного та рудничного водовідливу) [7, 16 – 22].

Таким чином, основними речовинами, що забруднюють підземні води, за генетичною ознакою є [7, 16 – 22]:

- промислові відходи, включаючи викиди автотранспорту;
- комунальні відходи;
- забруднюючі речовини сільського господарства;
- нафта та нафтопродукти;
- природні некондиційні води;
- води шахтного та рудничного водовідливу.

До забруднюючих речовин сільського господарства входять як відходи (переважно тваринницькі), так і корисні агрохімічні продукти – пестициди та мінеральні добрива.

Велике значення у забрудненні природного середовища та підземної гідросфери мають газоподібні речовини, які на відміну від рідких і тим більше твердих речовин поширюються на велику площу та впливають на підземні води в регіональному масштабі, хоча й із значно меншим ступенем інтенсивності. Газоподібні речовини потрапляють у підземні води з пилу, що осідає на поверхню землі, із забрудненими дощовими опадами і зі снігового покриву.

За хімічною ознакою забруднюючі речовини, можуть бути поділені на

такі групи [7, 23, 24, 25]:

- містять переважно неорганічні сполуки;
- містять переважно органічні сполуки;
- містять неорганічні та органічні сполуки;
- містять важкі метали;
- містять радіоактивні речовини.

До першої групи відносяться стічні води підприємств содової, калійної промисловості, підприємств з виробництва мінеральних добрив, кислот та інших хімічних виробництв, а також природні некондиційні, шахтні та рудничні води; до другої групи – нафта та нафтопродукти, пестициди, стічні води підприємств анілінофарбової та фармацевтичної промисловості, виробництва штучних матеріалів та ін; до третьої групи – стічні води нафтопереробних, коксохімічних та металургійних заводів, підприємств целюлозно-паперової промисловості, багато комунальних стічних вод. До четвертої групи належать стічні води гірничо-збагачувальних фабрик, гальванічних цехів; до п'ятої – стічні води підприємств із переробки радіоактивної сировини та атомної енергетики [7, 23, 24, 25].

По стійкості забруднюючі речовини можуть бути дуже стійкими – час розпаду більше 10 років, стійкими – від 1 року до 10 років, нестійкими – від 1 місяця до 1 року, дуже нестійкими – менше 1 місяця.

Серед промислових відходів головну роль забрудненні підземних вод відіграють промислові стічні води. Це пов'язано з великою їх кількістю, високим вмістом у них різних, зокрема токсичних, компонентів.

Іншим з основних забруднювачів природного середовища та особливо атмосфери у великих населених пунктах є автотранспорт. У окремих містах забруднення атмосфери автотранспортом сягає 60 – 80 % загального газодимового викиду забруднюючих речовин. До складу вихлопних газів автомобілів входять вуглекислий газ, оксид вуглецю, а також оксиди азоту та вуглеводні. Крім цих речовин найбільш характерними є викиди автотранспорту: свинець, бензпірен, монооксид вуглецю. Слід зазначити, що

бензпірен є активним канцерогеном. Він потрапляє у зовнішнє середовище сорбованим на частинках сажі та пилу. Протягом сотень діб він зберігається у ґрунті: через 120 діб у пробах ґрунту залишається до 50 % його первісної кількості. Підвищений його зміст відзначається у великих містах. Наявність бензпірену у ґрунті може вплинути на перебіг процесу нітрифікації: у малих кількостях (0,1 – 0,5 мг на 1 кг ґрунту) та стимулює цей процес, а у великих кількостях (10 мг не більше на 1 кг ґрунту) – пригнічує його [26].

Комунальні відходи – стічні води, тверді відходи житлових приміщень, підприємств громадського харчування та торгівлі, видовищних місць, спортивних та інших споруд, міське сміття, шлами комунальних очисних споруд та ін. Порівняно з промисловими відходами, комунальні відходи відрізняються більшою мінливістю складу, вищим вмістом органічних речовин, а також мікроорганізмів і, загалом, значно меншою токсичністю та інтенсивністю забруднення [7, 24, 25].

У гірничодобувних районах забруднення прісних підземних вод може відбуватися внаслідок скидання на поверхню землі попутних підземних вод, що відкачуються при видобутку корисних копалин, і подальшої їх фільтрації в водоносні горизонти, що залягають поблизу поверхні. Попутні води, що відкачуються з шахт і копалень, називають також водами шахтного та рудничного водовідливу. У багатьох випадках ці води відрізняються підвищеною мінералізацією та порівняно високим вмістом окремих компонентів. Підвищеною та навіть високою мінералізацією відрізняються попутні води рудних родовищ. Особливо це стосується мідноколчеданових родовищ. Мінералізація таких рудничних вод становить 50–70 г/л і більше. Дуже високих значень може досягати вміст у рудничних водах металів: миш'яку до 5200 мг/л; свинцю до 90 мг/л; міді – 500 мг/л. Деякі рудничні води відрізняються кислою реакцією (значення рН у них становить 2,5 – 1,8). Якщо такі води при видобутку руди потрапляють на поверхню, вони можуть стати причиною забруднення поверхневих і прісних підземних вод [7, 24, 25, 27].

Під час розробки нафтоносних пластів разом із нафтою витягується на

поверхню велика кількість міжпластових вод. Як і всі води нафтових родовищ, пластові води мають високу мінералізацію (50 – 70 г/л), містять велику кількість хлоридів, сульфатів, магнію. Ці води потрапляють на поверхню землі не тільки при видобутку нафти, але й у процесі розвідувальних робіт на нафту та газ, під час відкачування, внаслідок зливу у разі аварійних ситуацій [7, 24, 25].

Високомінералізовані розчини можуть утворюватися, забруднювати поверхню землі та горизонти прісних підземних вод при видобутку корисних копалин методом підземного вилуговування.

Сільське господарство також вносить вагомий вклад у забруднення підземних вод. До основних забруднювачів належать відходи тваринницьких господарств, пестициди, мінеральні добрива.

Одним із основних видів забруднюючих речовин у сільському господарстві є відходи великих тваринницьких комплексів та ферм, головним чином рідкий гній. Вплив великих тваринницьких комплексів на навколишнє природне середовище можна порівняти з впливом промислових об'єктів. У ряді країн тваринницькі комплекси відіграють основну роль у забрудненні навколишнього середовища. Так, у Німеччині обсяг відходів у тваринництві у 5 разів більший за обсяг всіх побутових відходів. Підраховано, що стадо у 100 тисяч голів великої рогатої худоби забруднює довкілля так само, як місто з мільйонним населенням. Основними хімічними компонентами відходів цих комплексів є азот, фосфор, калій – поживні речовини рослин. Особливе значення мають азотисті сполуки і перш за все нітрати, що є головним забруднювальним компонентом відходів тваринництва [28, 29].

Пестициди це біологічно активні та токсичні речовини; багато з них перетворюються і на проміжні сполуки (метаболіти), найчастіше не менш, а навіть більш токсичні, ніж вихідні, речовини.

У сільськогосподарському виробництві використовують такі основні види добрив: азотні, фосфорні, калійні, мікродобрива, комплексні. Основними речовинами цих добрив є сполуки азоту, фосфору та калію.

Особливого значення мають азотисті сполуки і насамперед нітрати. Вони не зв'язуються ґрунтом, відрізняються високою мобільністю та можуть мігрувати на великі відстані. Вимивання нітратів із ґрунтів, що накопичуються там при внесенні добрив, залежить від типу ґрунтів. Найбільший винос нітратів у ґрунтові води відзначається в районі південних чорноземів, найменший – у зоні вилужених та типових чорноземів. Фосфорні добрива вимиваються із ґрунтів загалом незначно, проте із засолених ґрунтів винос фосфатів різко зростає [28, 29].

Розглянуті вище речовини проникають у водоносні горизонти у вигляді розчинів та викликають забруднення підземних вод, яке можна поділити на такі види: хімічне, бактеріальне (або мікробне), теплове. Існує також радіоактивне забруднення. Іноді говорять також про механічне забруднення (або засмічення), розуміючи під ним наявність у підземних водах нерозчинних речовин (механічних домішок), але підземним водам цей вид забруднення невластивий [7].

Хімічне забруднення – цей вид забруднення викликається майже всіма розглянутими вище забруднювальними речовинами крім теплообмінних вод і радіоактивних речовин. Але основну роль його виникненні грають промислові відходи. Різноманітність забруднюючих хімічних речовин зумовлює різні процеси взаємодії між ними, з одного боку, підземними водами та породами – з іншого. Ці процеси зрештою впливають на міграцію забруднюючих речовин водоносним горизонтом, на умови їх знаходження в підземних водах. Важливу роль цьому грає природна і штучно створена результаті техногенного впливу, як окислювальна, і відновна обстановка у водоносному пласті.

Серед хімічного забруднення підземних вод, викликаного господарською діяльністю людини, найбільш поширеними є нафтове, хлоридне, нітратне, забруднення важкими металами та забруднення, що виявляється у збільшенні загальної жорсткості води.

У відходах, особливо комунальних та сільськогосподарських, містяться

різні мікроорганізми, які при попаданні у водоносний горизонт змінюють біологічні властивості та погіршують санітарний стан води. До санітарно-показових мікроорганізмів відносяться бактерії групи кишкової палички, ентерокок. До патогенних мікроорганізмів відносяться ентеробактерії. Особливого значення для мікробіологічної характеристики води мають бактерії групи кишкової палички. Як відомо, безпека води в епідемічному відношенні визначається загальним числом мікроорганізмів та числом бактерій групи кишкової палички. Бактеріальне забруднення є частиною більш загального біологічного забруднення, яке, крім бактерій, може викликатись водоростями, вірусами та іншими представниками мікрофлори та мікрофауни. Відомі випадки появи у підземних водах та водозабірних спорудах, що експлуатують водоносні горизонти поблизу мілководних водоймищ, залізобактерій та синьо-зелених водоростей [30].

Одним із видів забруднення підземних вод є теплове, що виявляється у підвищенні їх температури порівняно із звичайною (фоною). Зі зміною температури підземних вод пов'язана зміна їх хімічного складу, вмісту газу і особливо кисню, зміна їх біологічних властивостей та смакових якостей. Теплове забруднення обумовлено різними причинами, у тому числі можна назвати дві основні: утворення у районах великих промислових підприємств, особливо енергетичних (теплові, атомні електростанції) теплових аномалій у навколишньому середовищі; скидання на поверхню землі нагрітих промислових та комунальних стічних вод. У першому випадку позитивна температурна аномалія, що формується в навколишньому природному середовищі, захоплює також надра землі, внаслідок чого відбувається нагрівання підземних вод. У другому випадку нагріті стічні та теплообмінні води фільтруються з поверхні землі, проникають у водоносний горизонт і створюють там область підвищеної температури, тобто область теплового забруднення. Найчастіше обидві причини діють разом і одночасно [31].

Значні зміни температурного режиму підземних вод (на кілька градусів) обумовлені як окремими промисловими підприємствами, так і

населеним пунктом загалом. У метеорологічній літературі використовується вираз "острів тепла", яким позначається позитивна температурна аномалія в атмосфері, яка утворюється в районі міста. Можна говорити, що на території великих населених пунктів формується "острів тепла" як в атмосфері, так і в надрах.

Найбільш інтенсивні зміни температурного режиму і теплові забруднення підземних вод пов'язані з великими промисловими підприємствами, так як їх стічні води часто мають підвищену температуру. Так, стічні води виробництва оксиду етилену, синтетичних жирних кислот – характеризуються температурою 90 – 95°C; стічні води содових заводів (рідина дистилера) мають температуру 50 – 70 °C. Для деяких видів відходів та стоків атомних електростанцій характерно підвищення їх температури з часом (самовільне розігрів) [31].

Серед промислових стічних вод велику питому вагу мають нагріті теплообмінні води, скидання яких поверхню землі, в поверхневій водоймі та річці призводить до теплового забруднення підземних і поверхневих вод.

Теплове забруднення найчастіше зустрічається у ґрунтових водах, але воно може також відзначатися у глибоких водоносних горизонтах. У ґрунтових водах воно виникає в результаті інфільтрації з поверхні землі стічних вод, а в глибоких водоносних горизонтах – внаслідок закачування в них стічних вод, створення підземних сховищ різного призначення, теплової дії на пласт при видобутку нафти. Найбільші теплові аномалії формуються під великими поверхневими сховищами стічних вод. Розширення у часі області теплового забруднення у підземних водах відбувається внаслідок конвективного перенесення нагрітих вод, а також молекулярної (кондуктивної) теплопровідності. При цьому конвективна складова теплопереносу має переважне значення у горизонтальному напрямку у пласті та у вертикальному – безпосередньо під сховищем стоків, а роль кондуктивної складової зростає у вертикальному напрямку за межами сховища стоків при поширенні тепла через слабопроникні водостійкі

відкладення. Тепло передається вгору в зону аерації і підстилаючий водотривкий шар, що розділяє ґрунтові і напірні води, а також безпосередньо в ґрунтові води по лінії контакту ґрунтові води (стічні) [7, 31].

У водах, що зазнали теплового забруднення, зменшується вміст інших газів, зокрема вуглекислого газу, азоту. У підземних водах, багатих на розчинений бікарбонат, нагрівання може призвести до випадання в осад карбонату кальцію. Характерним наслідком підвищення температури води є значне зростання у ній біомаси, особливо водоростей, що виявляється у «цвітінні» води. Зі зростанням температури води внаслідок теплового забруднення збільшується розчинна здатність води, що може інтенсифікувати карстові суфозійні процеси [7, 31].

Зміна температури води впливає на токсичність речовин, що містяться в ній. Так, згідно з вітчизняними та зарубіжними даними, при підвищенні температури води від 15 до 25 °С токсичність цинку зростає майже в 3 рази. З підвищенням температури збільшується токсичність ціанідів (зміст їх характерний для стічних вод металургійних заводів) та окремих пестицидів. Теплове забруднення підземних вод у багатьох випадках поєднується з хімічним забрудненням, оскільки стічні води здебільшого, крім вмісту забруднюючих речовин, характеризуються підвищеною температурою. Тому на ділянках, де одночасно має місце і теплове, і хімічне забруднення, очікується прояви підвищеної токсичності речовин, що містяться в підземних водах [7, 31].

1.3. Технології ремедіації підземних вод

Підземні води є важливим природним ресурсом, який підтримує соціально-економічний розвиток і підтримує екологічну рівновагу в сучасному суспільстві [32]. Вона забезпечує 36% питної води, 42% води для сільського господарства, 24% води для промисловості [33, 34]. Однак, якість цих підземних водних ресурсів у всьому світі знаходиться під загрозою через природний геохімічний фон та антропогенне забруднення [35, 36].

Найважливіше місце у охороні поверхневих і підземних вод поруч із суворим дотриманням законів з охорони навколишнього середовища належить загальним технічним і технологічним заходам. Без їхнього здійснення значною мірою зменшується ефективність або навіть втрачається сенс спеціальних захисних заходів. Так, ліквідація області забруднення підземних вод має обов'язково супроводжуватись заходами щодо усунення причин, що призвели до її утворення. В іншому випадку така ліквідація виявиться тимчасовим і малоефективним заходом.

Щоб очистити забруднені підземні води та забезпечити сталість ресурсів підземних вод, було розроблено та застосовано різноманітні технології відновлення (перекачування та очищення, біодеградація, хімічне окислення та відновлення, адсорбція) [37, 38, 39, 40]. Кожен варіант ремедіації має відповідні переваги та недоліки, залежно від цілей відновлення та умов місця. Існує кілька проблем для вибору стійких технологій відновлення та розробки стратегій відновлення, включаючи цілі очищення підземних вод, складну геофізико-хімічну характеристику, сучасне розуміння доступних технологій, суміші забруднень та економічну ефективність. В загальному ж можна сказати, що процес рекультивації підземних вод відноситься до етапів очищення, спрямованих на ефективне видалення забруднювачів, одночасно перетворюючи небезпечні речовини в менш шкідливу форму [41, 42, 43].

Дослідження ремедіації підземних вод були розглянуті з різних точок зору, і наявні оглядові статті зосереджені на технологіях ремедіації забруднених підземних вод та їх застосуванні. Приклади включають природні процеси ослаблення забруднення [44], проникні реактивні бар'єри [45], інструменти оцінки стійкості підземних вод [46], використання наночастинок нуль-валентного заліза [47] і сульфідів заліза [48].

Відновлення ґрунтових вод можна досягти, використовуючи багато різних методів. Вибір відповідного методу рекультивації повинен ретельно вивчатися і застосовуватися на основі екологічної оцінки, наявних ресурсів

та аналізу економічної ефективності.

Повністю очистити забруднену ділянку неможливо. Однак необхідні негайні дії, щоб зменшити ризик забруднення до рівня, прийняттого як для короткострокового, так і для тривалого впливу навколишнього середовища.

Вкрай важливим є систематичний та ретельний контроль за станом систем промислової каналізації, виробничих цехів та інших ділянок підприємства з метою запобігання витоків стічних вод та продуктів технологічного циклу та своєчасної ліквідації таких витоків при їх виявленні [49].

Багатогранна та складна проблема видалення промислових, побутових та сільськогосподарських відходів, що забруднюють природне середовище, потребує спеціальних наукових та технічних розробок та значних капіталовкладень. Нині утилізація відходів, їх очищення, знешкодження та ліквідація по суті стають новою галуззю народного господарства.

Крім дотримання обов'язкових законодавчих положень, загальних технічних та технологічних заходів, здійснення яких спрямоване на охорону не тільки підземних вод, а й природного середовища в цілому, проводяться охоронні заходи щодо захисту та ремедіації безпосередньо підземних вод, які поділяються на профілактичні та спеціальні.

До профілактичних заходів належать: систематичний контроль за рівнем забруднення підземних вод; оцінка масштабів та прогнозів зміни забруднення; ретельне обґрунтування розміщення проєктованого великого промислового та сільськогосподарського об'єкта тим, щоб його негативний вплив на навколишнє середовище та підземні води було мінімальним. Найважливішим видом цих заходів є створення спеціалізованої мережі спостережних свердловин на великих промислових об'єктах та централізованих водозаборах для контролю за станом підземних вод [49].

З профілактичними заходами тісно пов'язане періодичне складання прогнозів розвитку забруднення підземних вод у районах промислових та інших техногенних об'єктів, прогнозів якості підземних вод на ділянці

водозабірної споруди та прилеглої до неї території.

Результати спостережень за рівнем забруднення підземних вод та названі гідрогеологічні прогнози є обґрунтуванням для здійснення спеціальних захисних заходів.

Спеціальні захисні заходи включають: ліквідацію області забруднення підземних вод шляхом відкачування забруднених підземних вод та практично повного стягування контуру забруднення. Локалізацію області забруднення, яка також проводиться шляхом відкачування забруднених вод, але при цьому ставиться завдання не тільки повного стягування контуру забруднення, а і його стабілізації, та недопущення подальшого поширення забруднюючих речовин водоносним горизонтом. Інший метод – створення гідравлічного вододілу (завіси) між областю забруднених вод та експлуатованими чистими підземними водами; створення гідравлічного вододілу по вертикалі шляхом одночасного відбору чистих та забруднених вод ярусною системою свердловин та створення непроникних екранів (стінок) у водоносному горизонті навколо області забруднення. Такі фізико-хімічні методи рекультивації/відновлення водоносного горизонту зазвичай включають буріння свердловини в шлейф забруднення для видалення забруднених ґрунтових вод на поверхню. Тоді стають доступними різноманітні методи розділення, такі як очищення повітрям, активованим вугіллям та зворотний осмос для видалення забруднень із водоносних горизонтів підземних вод. Однак навіть після відділення забруднювачів від водної фази все ще залишається проблема утилізації токсичних органічних речовин. Більш сприятливими в цьому плані та універсальними є гідравлічні методи захисту – створення гідравлічної завіси шляхом відкачування забруднених підземних вод захисними водозаборами. Але здійснення цих заходів також потребує великих витрат і часто пов'язане із значними технічними труднощами; як правило, захисні водозабори повинні функціонувати протягом тривалого часу, а у багатьох випадках постійно. У цих умовах особливо складним є скидання великих обсягів забруднених підземних вод, що відкачуються, про

що вже говорилося вище [35 – 48] .

При виборі методів захисту підземних вод важливу роль відіграють їхня вартість та тривалість дії. Витрати по споруді, наприклад, вертикальних непроникних завіс дуже значні, а експлуатація їх дорога і технічно складна.

Тому в охороні підземних вод першорядне значення мають профілактичні заходи, завдання яких – запобігання або зведення забруднення до мінімуму. Профілактична охорона підземних вод є найефективнішою, якщо її враховують уже при проектуванні об'єктів, які можуть бути джерелами забруднення. До таких заходів слід передусім віднести обґрунтоване з погляду охорони підземних вод розміщення об'єкта, оцінку впливу об'єкта на підземні води та природне середовище, створення мережі спостережних свердловин. Потрібно домагатися, щоб проект створення такої мережі обов'язково входив до спільного проекту підприємства.

Незважаючи ні на що технології очищення підземних вод нерозривно пов'язані з технологіями очищення ґрунтів, оскільки основна маса забруднювачів концентрується саме в них. Загалом існує два типи рекультивації ґрунтів та підземних вод, а саме *in-situ* (на місці) та *ex-situ* (поза межами ділянки). Замість того, щоб видаляти та переміщувати забруднену воду на інше місце для обробки, рекультивація на місці передбачає обробку територій, де вона розташована. Цей вид рекультивації є набагато менш дорогим, ніж *ex-situ* рекультивація, яка часто передбачає розкопки та транспортування забрудненої ділянки в інше місце, уникаючи забруднення за межами ділянки [50, 51]. Незважаючи на те, що *ex-situ* технологія дозволяє уникати забруднення сусідніх ділянок, загальна вартість транспортування та знищення є надзвичайно високою. Коли можливості рекультивації на місці вичерпано, застосовується ремедіація *ex-situ*. Для цього застосовуються біологічні, хімічні та фізичні методи. Фізичне розділення, перекачування та очищення джерела, переробка, термічна обробка, затвердіння та стабілізація, спалювання, аерація, а також процедури хімічної та біоремедіації є прикладами методів *ex-situ*. З усіх випадків фізичне розділення є

найпоширенішим методом ремедіації ex-situ [50, 51].

Однак перш ніж приступати до вибору тієї чи іншої технології необхідно визначити якісний і кількісний склад забруднювачів, терміни забруднення та його розповсюдження. Усунення забруднювачів ґрунтових вод може бути досягнуто шляхом біологічної обробки, хімічної обробки або фізичної обробки, а в деяких випадках використовується комбінація методів обробки (табл. 1.) [17 – 48, 50, 51].

Таблиця 1 – Технології ремедіації забруднених підземних вод

Нагрівання	Процедура нагрівання включає різні методи підвищення температури для зниження в'язкості та підвищення адсорбції, а також підвищення розчинності для полегшення відновлення летких і напівлетких органічних сполук. Нагрівання застосовують для відновлення рідини неводної фази і рідини щільної неводної фази. Забруднювачі усувають за допомогою випаровування ґрунту, барботування повітря шляхом зміни їх густини, в'язкості, поверхневого натягу та розчинності. Зазвичай використовується електричне нагрівання (введення гарячого повітря/пару, теплопровідне нагрівання, термічна дезактивація).
Промивання ґрунту	Цей метод використовується для видалення органічних похідних. Для забруднену поверхню заливають або обприскують спеціальним розчином. Забруднюючі рідини потім збирають у траншеї чи колодязі та змивають у ємності для видалення. Незважаючи на простоту та легкість використання, ця технологія потребує більше часу для досягнення відповідних критеріїв очищення.
Фізичні бар'єри: стіни обробки / проникні реактивні бар'єри	Ця технологія ефективна для низки хімічних речовин (галогенізована органіка, вуглеводні, хлоровані розчинники, радіонукліди та метали). Обробка може зменшити об'єм забруднювачів шляхом постійного обмеження міграції забруднюючих речовин у незабруднені зони. Ефективність цього підходу залежить від використовуваних бар'єрних властивостей. Нині використовується як основний і додатковий варіант відновлення сховищ небезпечних відходів, а також як метод запобігання токсичному забрудненню підземних водних ресурсів. Активна система стримування (наприклад, відбір ґрунтових вод для контролю гідравлічного градієнта) та пасивна система стримування (наприклад, лише фізичні бар'єри) зазвичай використовуються в тандемі залежно від цілей відновлення та складності місць забруднення.
Екстракція ґрунтової пари і барботування повітрям	Екстракція парів ґрунту використовує вакуум для створення градієнта концентрації, що спричиняє вилучення летких речовин газової фази з ґрунту. Пари летких елементів видаляють за допомогою свердловин, а потім обробляють за допомогою адсорбентами перед викидом в атмосферу. Цей метод очищення забруднених ґрунтових вод також застосовується для очищення повітря та відкачування ґрунтових вод.
Пневматичний вибух /Гідророзрив	Моделюють пневматичні вибухи для утворення гідророзривів та тріщин у породі для покращення масообміну забруднювачів і насичення їх киснем.
Електрокінетична	Використовують методи електроосмосу та електролізу, в основному

ремедіація	для очищення шламів і важких металів при електрокінетичній рекультивації. Електрокінетика – досить високовартісний метод та вимагає використання обладнання на місці. Цей метод використовується для видалення радіонуклідів (торій (Th), радій (Ra) і ураніл (UO ₂), а також змішаних неорганічних речовин і деяких органічних молекул, обробки важких металів (свинець (Pb), хром (Cr), цинк (Zn), залізо (Fe), ртуть (Hg), магній (Mg) і кадмій (Cd), а також радіонуклідів. Найчастіше електрокінетичну ремедіацію поєднують з біоремедіацією.
Наноремедіація	Цей метод використовує реактивні частинки з діапазоном розмірів від 1×10^{-9} метрів до 1×10^{-7} метрів. За допомогою реакцій комплексоутворення, каталізу, окиснення-відновлення здійснюється трансформація забруднювачів.
Хімічне окислення	У цьому процесі хімічні окислювачі доставляються під поверхню, щоб знищити (перетворити на воду та вуглекислий газ або нетоксичні речовини) органічні молекули. Окисники вводяться у вигляді рідин або газів. До окислювачів належать повітря або кисень, озон і деякі рідкі хімічні речовини, такі як перекис водню, перманганат і персульфат.
Біоремедіація	Біоремедіацію найкраще застосовувати як превентивний методом відновлення. В даній технології замість використання методології «накопичення забруднювачів», використовують їх безпосереднє видалення або перетворення. Найчастіше застосовують для знешкодження негалогенованих летких органічних сполук, і напівлетких органічних сполук, гербіцидів, пестицидів, нафтопродуктів, що видаляються з водоносних горизонтів і ґрунтів за допомогою біоконверсії.
Фіторемедіація	Рослини, мікроорганізми та біоферменти використовуються у фіторемедіації для видалення, усунення, знерухомилення або імобілізації забруднювачів. Представники, що використовуються в цьому процесі, відомі як «гіперакумулятори». Фіторемедіація поділяється на п'ять типів: фітотрансформація, ризофільтрація, фітостимуляція, фітоекстракція та фітостабілізація.

Серед цих методів відновлення біологічний метод є економічним, найменш шкідливим, використовує природні організми та зберігає навколишнє середовище в природному стані. Навпаки, фізична техніка є дорогою, залежить від геології водоносного горизонту та займає багато часу для видалення забруднень.

РОЗДІЛ 2

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методика визначення вмісту завислих речовин (каламутність води) [52]

Каламутність води зумовлюється наявністю в ній завислих частинок піску, глини, органічних домішок, фіто- і зоопланктону. Кількість завислих речовин у воді виражають у мг/дм^3 . Вміст їх у водах коливається в дуже широких межах – від кількох міліграмів до десятків грамів в 1 дм^3 води.

Для визначення ослаблення потоку випромінювання проводять калібрування приладу. Для цього готують серію зразків води (не менше 5 проб) з відомими концентраціями завислих речовин. Використовуючи стандартні суспензії формазину, оксиду кремнію, каоліну або глини, відібраної коло водойми, будують градувальну криву: по горизонтальній вісі відкладають величини концентрацій стандартних розчинів (K , мг/дм^3), а по вертикальній – відповідні їм значення коефіцієнту пропускання (T , %). Градувальна крива повинна охоплювати область можливих змін концентрацій завислих речовин у досліджуваній воді (рис. 5).

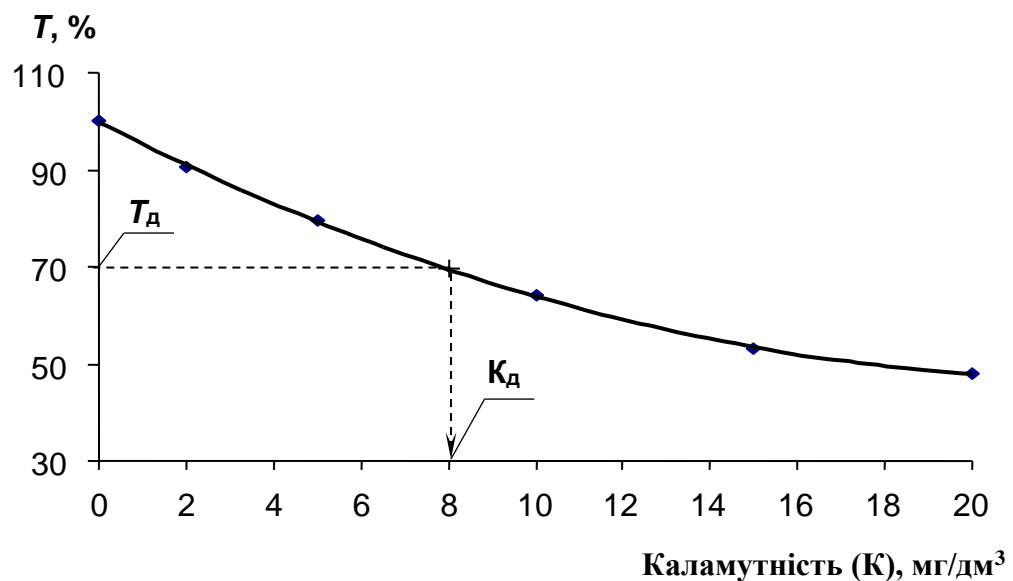


Рис. 5 – Градувальний графік для визначення каламутності води. Потім, вимірюючи на приладі коефіцієнт пропускання досліджуваної

води, за допомогою градуювального графіка визначають її каламутність.

Для вимірів застосовують 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 (при забарвленні досліджуваної води нижче 10 град.). 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 за шкалою колориметра.

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

Вміст завислих речовин (каламутність досліджуваної води K_d) визначають за градуювальним графіком (рис. 2.3).

Методика визначення забарвлення води [53]

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 (табл. 2), отримують шкалу забарвлення – ряд еталонних розчинів з різним забарвленням.

Забарвлення води визначають колориметричним методом, порівнюючи її із еталонними розчинами. За 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.

Таблиця 2 – Шкала забарвлення – ряд еталонних розчинів з різним забарвленням.

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

Відповідно до вимог забарвлення питної води не повинно перевищувати 20 – 35 град.

Сутність методу 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 за шкалою колориметра.

Поворотом важеля переміщення кювет дистильовану воду заміняють 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. 6).

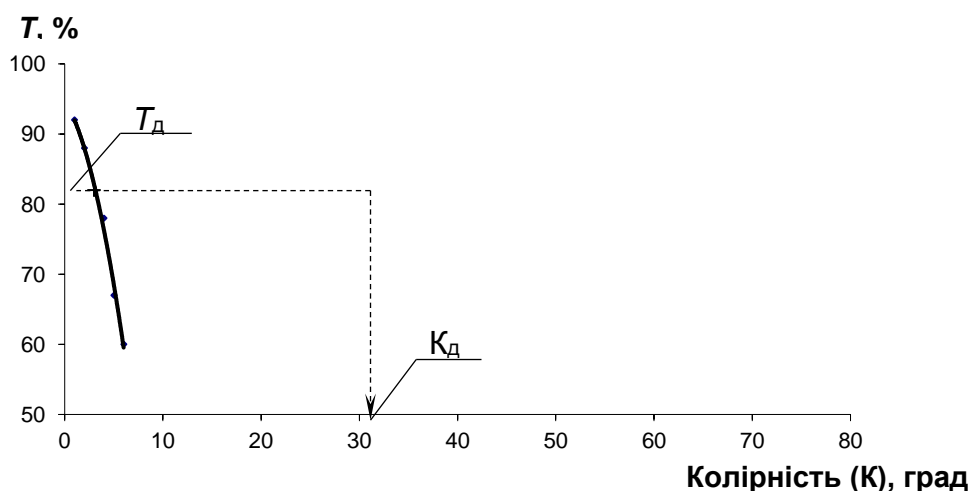


Рис. 6 – Градуировальный график для визначення забарвлення води

Методика визначення активної реакції води (рН) [54]

Активна реакція води (рН) – 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).

Нормативні документи України регламентують рН у межах 6,5...8,5.

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.

Методика визначення лужності води [55, 56]

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 $\text{мгHCO}_3^-/\text{дм}^3$. В підземних водах їх вміст помітно зростає – 150...900 $\text{мгHCO}_3^-/\text{дм}^3$.

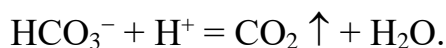
Лужність не входить до числа жорстко обмежених за своїм значенням показників якості води, однак нормативні документи України рекомендують так звані показники фізіологічної повноцінності складу води, до яких входить і загальна лужність 0,5...6,5 $\text{мг-екв}/\text{дм}^3$.

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

Визначення лужності води ґрунтується на реакції іонів HCO_3^- із соляною кислотою в присутності індикатора – метилового оранжевого (ISO

9963-1).

Реакція проходить згідно рівняння:



На закінчення реакції вказує зміна кольору з жовтого на оранжевий.

У конічну колбу місткістю 250 см³ наливають 100 см³ води і додають 2...3 краплі розчину індикатору, перемішують і титрують розчином соляної кислоти ($C_1 = 0,1$ моль/дм³) до зміни кольору.

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

$$Л = \frac{v_1 \cdot C_1}{v_0} \cdot 1000,$$

де v_1 – об'єм розчину соляної кислоти, витраченого на титрування, см³;
 C_1 – концентрація розчину соляної кислоти, ммоль/дм³ (0,1 моль/дм³); v_0 – об'єм проби води, взятої на аналіз, см³ (100 см³).

Методика визначення окиснюваності води [57]

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.

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.

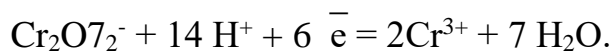
Частіше для характеристики ступеню органічного забруднення водойми та стічних вод визначають *біохімічне споживання кисню (БСК)*. БСК – це кількість кисню, яка витрачається в певний проміжок часу на окиснення домішок води при перебігу в ній біохімічних процесів. В даному випадку окиснювачами є бактерії,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

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

Визначення ХСК за ДСТУ ISO 6060: 2003 [57]

Суть методу визначення ХСК полягає в тому, що органічні речовини, які перебувають у досліджуваній воді, окиснюються сильним окисником –

калію дихроматом $K_2Cr_2O_7$, у сильно кислому середовищі (концентрована сульфатна кислота). Величина окисно-відновного потенціалу цієї системи дорівнює +1,33 В. У цьому випадку Хром(VI) відновлюється до Хрому(III) за реакцією:



Для пришвидшення окиснення органічних забруднювачів у пробу стічної води додають каталізатор – аргентуму(I) сульфат.

У колбу наливають 10 см³ проби місткістю 250 см³ та додають 5 см³ розчину калію дихромату ($C = 0,04$ моль/дм³), що містить у собі сіль Меркурію. Додають кілька прискорювачів кипіння (скляні кульки діаметром 2–3 мм або інші прискорювачі) до проби води, яку досліджують та ретельно перемішують. Об'єм проби води повинен бути не меншим 10 см³.

Повільно додають 15 см³ аргентуму(I) сульфату в сульфатній кислоті і негайно приєднують колбу до зворотного холодильника для мінімізації втрат органічних сполук, які можуть переходити у газову фазу.

Доводять суміш до кипіння протягом 10 хв. і продовжують кип'ятити реакційне середовище ще протягом 10 хв. Температура реакційної суміші повинна становити (148 ± 3) °С. Реакційна суміш повинна кипіти повільно без стрибків. Стрибки свідчать про місцеве перегрівання розчину, що може призвести до невірних результатів.

Після 10 хв. колбу негайно охолоджують у холодній воді до температури близько 60 °С та промивають зворотний холодильник невеликим об'ємом води. Знімають холодильник і доводять об'єм реакційної суміші до 75 см³, яку охолоджують до кімнатної температури.

Надлишок калію дихромату титрують амонієво-залізними(II) галунами $(NH_4)_2SO_4 \cdot Fe(SO_4)_3 \cdot 24H_2O$ ($C = 0,12$ моль/дм³), використовуючи 1 – 2 краплі фероїну, як індикатора. Хоча кількість фероїну, що її додають, не є критичною, її треба, за можливості, підтримувати на одному рівні. Як кінцеву точку титрування приймають першу різку зміну кольору з синьо-зеленого до червонувато-коричневого, хоча синьо-зелений колір може з'явитись знову

через кілька хвилин.

Проводять два контрольних випробування паралельно до кожного визначення з 10 см³ дистильованої води.

Хімічне споживання кисню (ХСК), в мг/дм³, розраховують за формулою:

$$\text{ХСК} = E \cdot 1000 \cdot C_M (V_1 - V_2) / V_0,$$

де C_M – концентрація амонієво-залізних(II) галунів, моль/дм³; V_0 – об'єм проби до розведення, см³; V_1 – об'єм амонієво-залізних(II) галунів, витрачений на холосте титрування, см³; V_2 – об'єм амонієво-залізних(II) галунів, витрачений на титрування проби, яку аналізували, см³; E – еквівалентна маса Оксигену, г/екв.

Визначення біохімічного споживання кисню [57]

Об'єм проби води (V), яку необхідно взяти для аналізу на БСК, розраховують із урахуванням значення ХСК, попередньо визначеного за калію дихроматом, за формулою:

$$V = \frac{1000}{10 \times \text{ХСК}}.$$

Наприклад, якщо $\text{ХСК} = 5$ мг/дм³, то об'єм води (стоків) для аналізу дорівнює $1000 : 50 = 20$. Тому відбирають 20 см³ води, що аналізується, її поміщають в мірну колбу об'ємом 1 дм³ і додають дистильовану воду до мітки на колбі. Відповідно розведення дорівнює $1000 : 20 = 50$ разів.

Для розведення проби, яку аналізують, спеціально готують воду для розведення. Попередньо розраховують кількість розвідної води і готують її так (з розрахунку на 1 дм³): до 1 дм³ дистильованої води додають 1 см³ фосфатного буферного розчину, 1 см³ магнію(II) сульфатнокислого, 1 см³ кальцію хлориду та 1 см³ розчину феруму(III) хлориду. Приготовану воду поміщають у кристалізатор і за температури $20 \pm 1^\circ\text{C}$ насичують киснем повітря, аеруючи протягом 1 години. Приймають всі запобіжні заходи для попередження забруднення води для розведення. Воду для розведення готують у день її використання.

Чистоту цієї води перевіряють контрольною пробою. Чотири кисневі склянки наповнюють водою: у двох визначають кисень у день дослідження проби (нульовий день), а у двох інших, поставлених у термостат, визначають кисень разом з пробами, які аналізують. Різниця середньою концентрації кисню у нульовій пробі і на кінець інкубації має не перевищувати $0,5 \text{ мг/дм}^3$.

Приготування проб води для дослідження. У мірну колбу об'ємом 1 дм^3 сифоном наливають розвідну воду до половини об'єму колби, додають попередньо визначений об'єм досліджуваної води і заповнюють мірну колбу до мітки. Колбу закривають корком, її вміст ретельно перемішують, перевертаючи 15 – 16 разів.

Отримані проби води розливають у кисневі склянки до верху і закривають навкіс зрізаними притертими корками так, щоб не залишилося бульбашок повітря. Ковпачки від склянок заповнюють тією ж водою і склянки перевертають дном догори і вставляють їх у ковпачки, витісняючи воду так, щоб туди не потрапило повітря. Після цього склянки повертають у звичайне положення і поміщають у термостат, де температура $20 \pm 1^\circ\text{C}$. У термостаті всі проби витримують інкубаційний період (5, 7, 10, 20, 25 діб, залежно від мети досліджень), а потім виймають з термостату розвідну воду і ту, що досліджують та визначають в них розчинений кисень йодометричним методом.

Йодометричне визначення кисню ґрунтується на реакції окиснення мангану(II) гідроксиду розчиненим киснем та йодометричному визначенні утворених окиснених сполук.

У кисневу склянку, заповнену до верху пробою, додають 2 см^3 розчину мангану(II) сульфату. Для цього наповнену піпетку занурюють до половини кисневої склянки, потім відкривають її верхній кінець і повільно виймають. Іншою піпеткою додають у пробу 2 см^3 розчину калію гідроксиду з калію йодидом. У цьому випадку кінчик піпетки занурюють тільки під рівень проби у горловині кисневої склянки. Склянку обережно закривають так, щоб під корком не утворилося бульбашок повітря. Горловину склянки споліскують

водою, вміст ретельно перемішують, перевертаючи склянку, до утворення пластівців осаду на дні, де він накопичується 10 – 15 хв.

Після випадання осаду мангану гідроксидів склянку відкривають і піпеткою з широким кінцем, зануреним під рівень проби, додають 10 см³ розведеної (1:4) сульфатної кислоти та 0,15 см³ 4 %-го розчину сульфамінової кислоти або 40 %-го розчину сечовини. Кисневу склянку знову закривають і перемішують її вміст. Потім вміст кисневої склянки переливають у колбу для титрування, обполіскуючи кисневу склянку і корок дистильованою водою у ту ж колбу. Після 5 хв. витримання в темному місці розчин титрують до світло жовтого забарвлення 0,01 М розчином натрію тіосульфату. Додають 1 см³ 0,5 %-ого розчину крохмалю і продовжують титрування до зникнення забарвлення.

Вміст розчиненого кисню $C(O_2)$, мг/дм³ обчислюють за формулою:

$$C(O_2) = V \times C_M \times k \times E \times 1000 \div (V_1 - V_2),$$

де V – об'єм $Na_2S_2O_3$, витрачений на титрування, см³; C_M – молярна концентрація $Na_2S_2O_3$, моль/дм³; k – поправочний коефіцієнт реальної молярності $Na_2S_2O_3$; V_1 – об'єм кисневої склянки, см³; V_2 – загальний об'єм реактивів, які додали у кисневу склянку для фіксації кисню, см³; E – еквівалентна маса Оксигену, г/екв.

Під час проведення визначення вплив окиснювачів враховують відніманням, а відновлювачів – додаванням результатів контрольної та дослідної проб.

Величину $BCK_{розв.}$ розвідної води в мг O_2 /дм³ розраховують за формулою:

$$BCK_{розв.} = C_{о,розв.}(O_2) - C_{п,розв.}(O_2),$$

де $C_{о,розв.}(O_2)$ – вміст розчиненого кисню у кисневій склянці з водою для розведення до інкубації, мг/дм³; $C_{п,розв.}(O_2)$ – вміст розчиненого кисню у кисневій склянці з водою для розведення після інкубації продовж n днів, мг/дм³.

Величину BCK_n проби води, яку аналізують, у мг O_2 /дм³ розраховують

за формулою:

$$\text{БСК}_n = [C_o(\text{O}_2) - C_n(\text{O}_2) - \text{БСК}_{\text{розв.}}] \times 1000 \div V ,$$

де $C_o(\text{O}_2)$ – вміст розчиненого кисню у кисневій склянці з водою, яку аналізують, до інкубації, мг/дм³; $C_n(\text{O}_2)$ – вміст розчиненого кисню у кисневій склянці з водою, яку аналізують, після інкубації продовж n днів, мг/дм³; V – об'єм води, яку відбирали для розведення в мірній колбі, см³.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МОЖЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОРЕМЕДАЦІЇ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД

Біодеградація та біотрансформація забруднюючих речовин у підземних водах зазвичай відбувається природним шляхом. Однак природні темпи біодеградації досить повільні, а надходження поллютантів надзвичайно швидке, що призводить до накопичення останніх у підземних водах. Індустріалізація та збільшення антропогенної діяльності людини призводить до утворення величезної кількості промислових стоків, що просочуються, фільтруються та мінералізуються під час руху в землі і, нарешті, досягають ґрунтових вод.

Нині найбільш відчутними забруднювачами ґрунтових вод є: метил-трет-бутиловий ефір, бензол, толуол, ксилол, важкі метали, такі як хром, кадмій, ртуть, кобальт, свинець, миш'як; у сільському господарстві неконтрольоване внесення добрив та пестицидів. Доведено, що розвиток міст також погіршує якість ґрунтових вод у всьому світі через велику кількість джерел викидів забруднюючих речовин у ґрунтові води в міських районах – звалища муніципальних відходів, хімічна обробка (хімчистка, боротьба з бур'янами, автомийки), кладовища. З нафтогазової та обробної промисловості – нафта, хлоровані та бромовані вуглеводні – є одними з найпоширеніших забруднень ґрунтових вод у всьому світі. З огляду на оборонну діяльність, вибухові речовини (нітротолуольні вибухові речовини, перхлорати) та інші хімікати теж впливають на якість ґрунтових вод [50, 51].

Рух води у водоносному горизонті сприяє розсіюванню поллютантів і це призводить до забруднення величезної площі ґрунту. Межа такого забруднення називається краєм шлейфу, який контактує з підземними водами колодязя чи річки в поверхневих водах, що робить воду токсичною для людей і дикої природи.

Для вилучення або знешкодження цих забруднень світ використовує різні методи та інвестує мільйони мільярдів грошей.

Біоремедіація є одним із методів, за допомогою якого ми можемо легко та реально екстрагувати або знешкоджувати такі типи забруднення. Це процес, за допомогою якого полютанти біологічно розкладаються в контрольованих умовах до стану або до рівнів, нижчих за ліміти концентрації, встановлені регуляторними органами.

Методи очищення можна розділити на дві категорії *ex-situ* та *in-situ* [58, 59].

Технологія Ex-Situ. Технологія *Ex-Situ* передбачає очищення підземних вод шляхом осушення забрудненого водоносного горизонту (відкачування), потім обробки води на поверхні за допомогою фізичних, хімічних або біологічних технологій і, нарешті, повторного закачування очищеної води у водоносний горизонт. Відкачування підземних вод здійснюється зі свердловини або траншеї (при поверхневому їх заляганні) (рис. 7).

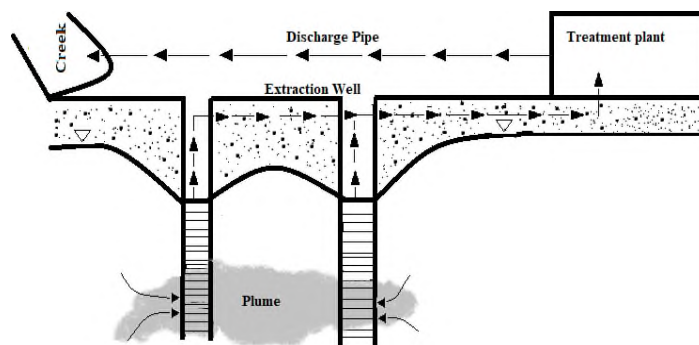


Рис. 7 – *Ex-situ* ремедіація [58, 59].

Технологія *In-Situ* передбачає очищення підземних вод у водоносному горизонті (під поверхнею) за допомогою технології термічної, хімічної та біологічної обробки. Передбачають очищення підземних вод (на місці) без вилучення води з водоносного горизонту (рис. 8).

До методів біологічного очищення відносять біоаугументацію, біовентиляцію, біорозбризування, біозмивання, фіторемедіацію та деякі методи попередньої хімічної обробки, що включають введення озону та кисню, хімічне осадження, мембранне відділення, іонний обмін, поглинання

вуглецю, водне хімічне окислення та посилене відновлення поверхнево-активної речовини *situ* [58, 59].

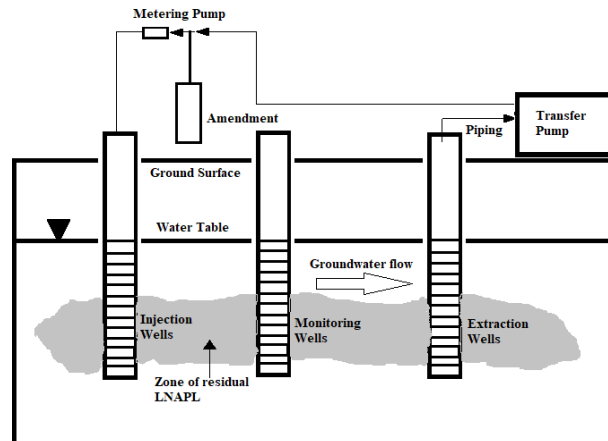


Рис. 8 – In-Situ ремедіація [58, 59].

Біодеградація вимагає спільного розміщення забруднювача з «правильними» організмами в «правильних» геохімічних умовах, щоб ці організми процвітали та біотрансформували, розкладали або блокували забруднювач. Часто «правильні» геохімічні умови можуть додатково включати окисно-відновні речовини: акцептори електронів, такі як кисень, нітрат, сульфат або оксиди заліза або донори електронів, такі як природний органічний вуглець.

Біорозпилення. Для цього спочатку окислюють водоносний горизонт, нагнітаючи повітря під тиском нижче рівня ґрунтових вод, що збільшує концентрацію кисню та підвищує швидкість реакції. Це збільшує асиміляцію в зоні насичення і тим самим збільшує контакт між ґрунтовими водами та ґрунтом. Простота й оптимальна вартість установки точок нагнітання повітря малого діаметра забезпечують значну еластичність у проектуванні та будівництві системи.

Біовентиляція. Це нова аеробна технологія біодеградації на місці, яка заснована на використанні слабого повітряного потоку, щоб забезпечити лише достатню кількість кисню для підтримки активності мікробів. Подаючи повітря можна легко забезпечити киснем стійке забруднення ґрунту через свердловину.

Біоаугментація. Введення групи природних мікробних штамів або

генно-інженерного варіанту для очищення забрудненої води. Метою біоаугментації є використання спеціальних метаболічних можливостей мікроорганізмів для індукції біодеградації, трансформації конкретних сполук або збільшення розмірів популяції там, де вони ослаблені. Щоб бути ефективними, доповнені мікроби повинні виживати, рости та зберігати свою деградаційну здатність. Однією з переваг біоаугментації є можливість вибору потрібної метаболічної активності.

ФітореMediaція. Це технологія, яка використовує різноманітні рослини для розкладання, вилучення, накопичення або знерухомилення забруднень із ґрунту та води. Останнім часом ця технологія стає більш затребуваною, як економічно ефективна альтернатива більш усталеним методам обробки, що використовуються (табл. 3).

Основні переваги:

- вартість фітореMediaції надзвичайно низька порівняно з іншими типовими методами, такими як in-situ та процес біореMediaції на місці
- спостерігати за рослинами дуже легко;
- існує можливість повторного використання та переробки суміші;
- заснована на використанні природних організмів та зберігає природний стан навколишнього середовища.

Таблиця 3 – Види фітореMediaції.

Процес	Функція	Забруднювач	Середній	Рослини
Фітоекстракція	Накопичення в рослинах	Cd, Pb, Zn, As, нафта, вуглеводні та радіонукліди	Ґрунт і підземні води	<i>Viola baoshanensis</i> , <i>Sedum alfredii</i> , <i>Rumex crispus</i>
Фітотрансформація	Поглинання рослинами та розкладання органічних сполук	Ксенобіотичні речовини	Ґрунт і підземні води	<i>Канни</i>
Фітодеградація	Рослини та пов'язані з ними мікроорганізми розкладають органічні забруднювачі	ДДТ, вибухові речовини, органічні речовини та нітрати	Ґрунт і підземні води	<i>Елодея канадська</i> , <i>пуерарія</i>

Ризофільтрація	Поглинання кореневою системою	Zn, Pb, Cd, As	Ґрунт і підземні води	<i>Brassica juncea</i>
Фітостабілізація (імобілізація)	Використання рослин для зменшення біодоступності забруднюючих речовин у навколишньому середовищі	Cu, Cd, Cr, Ni, Pb, Zn	Ґрунт і підземні води	<i>Anthyllis vulneraria</i> , <i>Festuca arvernensis</i>

Ідеальна рослина для фітореMediaції повинна володіти такими характеристиками:

- бути високотолерантною до накопичених концентрацій забруднювачів;

- мати швидкий ріст і високоєфективне накопичення біомаси.

Загалом, протокол фітоекстракції складається з наступних елементів:

- вирощування відповідних видів рослин/культур на забрудненій ділянці;

- видалення придатної для збирання біомаси, збагаченої поллютантами, з ділянки;

- обробки після збору врожаю (тобто компостування, ущільнення, термічна обробка) для зменшення об'єму та/або ваги біомаси для утилізації як небезпечних відходів або для її переробки для відновлення мікроелементів, які можуть мати економічну цінність.

Отже, ідеальна рослина для фітоекстракції мікроелементів має бути високопродуктивною у біомасі та поглинати та переміщувати до своїх пагонів значну частину забруднювачів. Додатковими перевагами є швидке зростання, легкість розмноження і глибока коренева система. Деякі породи дерев, переважно верба (*Salix*) і тополя (*Populus*), демонструють ці властивості і вже використовуються в програмах фітореMediaції, в першу чергу для ризофільтрації та фітодеградації органіки в забруднених підземних водах, а також для фітоекстракції кадмію з слабо забруднених сільськогосподарських ґрунтів [60, 61].

Переваги біоремедіації

- займає менше часу порівняно з іншими методами, оскільки в основі закладені природні процеси;
- біоремедіацію можна проводити без втручання в природну діяльність;
- для розкладання небезпечних речовин потрібні менші економічні витрати порівняно з іншими традиційними методами;
- біоремедіація повністю усуває забруднюючу речовину, токсичні сполуки перетворюється на нешкідливі продукти. Цей процес також звільняє від майбутніх зобов'язань в утилізації забруднених матеріалів;
- використовує аборигенні організми, що нешкідливо для навколишнього середовища порівняно з використанням небезпечних хімікатів.

Недоліки біоремедіації

- застосовна лише до тих сполук, які піддаються біологічному розкладанню.
- важко екстраполювати стендові та пілотні дослідження до повномасштабних польових операцій.
- є потреба в удосконаленні, а також необхідні розробки та інженерні технології біоремедіації для відповідних ділянок із типовими комбінаціями забруднень, які нерівномірно розподіляються в навколишньому середовищі. Забруднювачі можуть бути присутніми у вигляді твердих речовин, рідин і газів.
- зазвичай займає більш тривалий період часу, ніж інші традиційні варіанти обробки, такі як видалення або спалювання.
- залишається нормативна невизначеність щодо прийнятних критеріїв ефективності біоремедіації.

Для організації належної роботи необхідно також враховувати такі фактори, як рН, температура, тип ґрунту, наявність кисню тощо, особливо це стосується мікроорганізмів, які беруть участь у проведенні біоремедіації. Основні фактори наведені нижче в таблиці 4.

Таблиця 4 – Фактори біоремедіації

Фактори	Необхідна умова
Мікроорганізми	Аеробні та анаеробні
Біологічний процес	Катаболізм і анаболізм
Екологічний фактор	температура, рН, концентрація кисню наявність акцепторів або донорів електронів
Поживна речовина	вуглець, азот, кисень тощо
Вологість ґрунту	25 – 28% водоутримуючої здатності
Тип ґрунту	Глинистий і мулистий ґрунт

Фіторемедіація використовує унікальні і вибіркові можливості поглинання кореневими системами рослин разом із їх здатністю транслокації, біоаккумуляції та деградації забруднюючих речовин у всьому рослинному організмі.

Багато видів рослин успішно поглинають забруднювачі, такі як свинець, кадмій, хром, миш'як і різні радіонукліди з ґрунту та ґрунтових вод. Одну з категорій фіторемедіації, фітоекстракцію, можна використовувати для видалення важких металів, використовуючи здатність рослин поглинати метали, необхідні для росту рослин (Fe, Mn, Zn, Cu, Mg, Mo та Ni). Деякі метали з невідомими біологічними властивостями (Cd, Cr, Pb, Co, Ag, Se, Hg) також можуть накопичуватися.

Фіторемедіація може бути застосована на будь-якому місці в будь-якій географічній зоні, де можуть рости рослини. Високе визнання громадськості та привабливий варіант для промисловості та регуляторів є додатковою перевагою фіторемедіації. Нині ця технологія приймається як більш екологічна «зелена» та низькотехнологічна альтернатива більш активним та інтрузивним методам ремедіації.

Важкі метали є основною групою неорганічних забруднень. Надзвичайно великі площі ґрунтової поверхні забруднені важкими металами внаслідок використання пестицидів, добрив, викидів від муніципальних установок для спалювання відходів, вихлопних газів автомобілів,

металургійної промисловості, залишків гірничодобувної та військової діяльності та металургійної промисловості [62]. На відміну від органічних забруднювачів, важкі метали не піддаються біологічному розкладанню та становлять проблему для живих організмів і навколишнього середовища через їх канцерогенний вплив [63]. Наявність у ґрунті та ґрунтових водах важких металів у високих концентраціях негативно впливає на ріст і розвиток рослин. Рослини відрізняються стійкістю до важких металів; однак більшість рослин, що ростуть, не є гіперакумуляторами важких металів. Гіперакумуляція визначається як поглинання та секвестрація виняткових концентрацій елемента в надземних частинах рослини в польових умовах. Гіперакумуляція залежить від виду рослин, фізико-хімічних властивостей ґрунту (рН, ємність катіонного обміну, вміст органічних речовин, електропровідність (ЕП), різних типів важких металів. У гіперакумуляторах відбувається швидка й активна транслокація важких металів у пагін через ксилему, який, ймовірно, може посилюватися транспірацією. Деякі рослини відомі своєю здатністю накопичувати аномально високі концентрації металів, таких як Zn, Ni, Mn, Cd, Co або Pb, у своїх надземних частин до більш ніж 1% від їх сухої маси. Ці рослини називають гіперакумуляторами. Вже близько 450 видів рослин ідентифіковані як гіперакумулятори різних важких металів [64, 65].

Деякі види рослин можуть накопичувати високі концентрації важких металів у своїх тканинах; однак вони виробляють мало біомаси та повільно ростуть, що робить їх неможливими для фітореMediaції. Рослини, які використовуються для фітоекстракції металів, повинні мати певні характеристики, включаючи (1) стійкість до високих концентрацій металів; (2) короткий період вегетації та ефективне накопичення металів у біомасі; (3) концентрація металу в надземній частині рослини; і (4) легко акумулювати.. Види рослин, які генерують велику кількість біомаси, наприклад *Helianthus annuus* L. та *Medicago sativa* L. мають потенціал для видалення великої кількості важких металів, які накопичуються в надземній частині рослини

[66, 67].

Незважаючи на те, що свинець і кобальт належать до малопоширених елементів земної кори, вміст цих іонів у підземних водах часто перевищує гранично допустимі концентрації (ГДК). Це пояснюється широким застосуванням даних елементів у промисловості. Особливо небезпечним є забруднення у вигляді виносу металів зі стічними водами підприємств.

Крім цього, висока здатність до комплексоутворення катіонів свинцю (II) і кобальту (II) спостерігається в слабкокислому середовищі. Як ліганди виступають фосфор-, кисень-, азот- і сірковмісні органічні та неорганічні іони, що говорить про високу здатність металів до акумуляції в живих організмах.

Тривале споживання води із вмістом цих елементів призводить до серйозних хронічних захворювань, у сполуках з органічними радикалами метали виявляють найвищу токсичність.

Найбільш перспективний та економічно привабливий напрямок очищення вод – фіторемедіація, що є одним із типів біоконверсії. Макрофіти мають здатність до акумуляції та накопичення важких металів (ТМ), що підтверджено рядом робіт [58 – 67].

У зв'язку з актуальністю завдань фіторемедіації ґрунтових вод з використанням макрофітів було сформовано мету дослідження – виявити індивідуальні акумулятивні можливості макрофітів щодо іонів свинцю та кобальту для їх використання в очищенні вод (організації біоконверсії). Кобальт – важкий метал біогенного походження, що бере участь у формуванні та підтримці вторинної та третинної структури біополімерів, впливає на дію низки ферментів, за його участі відбувається азотистий та ліпідний обмін у фітобіонтів. Свинець – небіогенний метал, за своєю токсичною дією він поступається лише хлорорганічним сполукам та нафтопродуктам/

Для аналізу були обрані наступні макрофіти: Соняшник звичайний (*Helianthus annuus*) та Люцерна посівна (*Medicago sativa*). Макрофіти

вирощувалися в лабораторних умовах при штучному освітленні (11-годинному світловому дні) та температурі води від +22 до +25°C. Рослини вирощувалися у скляних конічних колбах ємністю 250 мл. Кількісний аналіз іонів ТМ проводився за допомогою спектрофотометрії за стандартними методиками встановлення оптичної щільності.

Соняшник (*Helianthus annuus*). Коренева система соняшника стрижнева, яка може проникати на глибину від 3 до 10 м та більше. Рівень розвитку кореневої системи дуже залежить від генетичних особливостей того чи іншого гібриду соняшника та від системи обробітку ґрунту. Довжина кореневої системи набагато перевищує висоту надземної частини рослин (за деякими даними у 3-10 разів). Коріння рослин соняшника росте досить швидко, і вже на стадії 4-5 листків у рослин, довжина їх кореня досягає 60-100 см. Рослини соняшнику дуже чутливі до різних ущільнень ґрунту та підґрунтового шару. Рослина соняшника утворює потужну кореневу систему, основна маса яких розташована на глибині 10-100 см. Найбільш інтенсивне зростання коренів відбувається в період росту рослини, а основна маса коренів формується в період від утворення кошика до моменту цвітіння. В хороших умовах діаметр кореневої системи однієї рослини може досягати 1,5-3,0 м. Завдяки наявності добре розвиненого і проникаючого на велику глибину головного кореня, соняшник може витримувати посуху і добре засвоювати поживні речовини та ґрунтову вологу. За вологих умов, коріння соняшника розвивається ближче до поверхні ґрунту, а в сухому кліматі воно проникає глибше [66].

Люцерна посівна (*Medicago sativa*) – коренева система стрижнева, потужна, головний корінь з бічними розгалуженими коренями проникає в ґрунт на глибину до 10 м. У люцерни добре розвинена коренева система, яка в перший рік життя проникає в ґрунт на глибину 2 – 3, а в 5 – 10-річному віці 9 – 11 м і глибше. Потужна, глибоко розташована коренева система люцерни сприяє поліпшенню структури ґрунту, підвищує його водо- та повітропроникність та сприяє накопиченню гумусу [67].

Культура рослин (*Helianthus annuus* L. та *Medicago sativa* L.) були обрані для експериментальних досліджень через їх високу біомасу, швидкий темп росту та здатність рослин видаляти важкі метали із забрудненого ґрунту.

Критерієм для визначення концентрації важких металів, доданих під час досліджень, були взяті гранично допустимі кількості (ГДК) забруднюючих речовин. Відповідно готували розчини відповідних солей (розчин нітрату свинцю $Pb(NO)_2$ 1 моль/л; сульфату кобальту $CoSO_4$ 0,1 моль/л, а потім розбавляли та доводили масу металів, щоб визначити точну масову концентрацію присутніх іонів, які видаляються процедурою відновлення. Досліди проводили з використанням низької та високої концентрацій йонів. Низька концентрація (НК) йонів свинцю (Pb^{2+}) становила 1000 мг, кобальту (Co^{2+}) 20 мг на 1 літр води. Висока концентрація (ВК) йонів свинцю (Pb^{2+}) становив 2000 мг, кадмію (Co^{2+}) 100 мг на 1 літр води.

Цей експеримент тривав 10 днів. Через 10 днів розпочали підготовку рослинного матеріалу для визначення концентрації важких металів у коренях, стеблах та листі рослин. Коріння, пагони розділяли на стебло, листя, промивали їх промивали водою, нарізали на шматки, а потім сушили протягом 78 годин при $60^\circ C$.

Рослини під час контрольної обробки на перших етапах росту та розвитку мали здоровий вигляд. За результатами моніторингу параметрів росту та розвитку рослин спостерігаються значні зміни на молодому листі, хлороз листя, рослини залишаються низькими та слаборозвиненими, чого не скажеш про рослини, вирощені на чистому поживному середовищі.

Симптоми токсичності рослин Pb, Cd у вищих концентраціях відображалися у формуванні темно-зелених листків, некрозі тканини старих листків наприкінці досліду, порівняно з контрольною обробкою, надзвичайно темного кольору.

Отримані результати аналізу рослинної сировини зі стандартним відхиленням залежно від застосованої концентрації та частини рослини представлені в таблицях 5, 6, 7, 8.

Таблиця 5 – Зафіксовані значення Pb в рослинному матеріалі соняшника (*Helianthus annuus*)

Pb (мг/кг)	корінь	стебло	листок
Низька концентрація	17,11±0,51	16,87±0,83	21,32±0,93
Висока концентрація	24,35±0,08	22,05±0,23	22,03±0,59

Таблиця 6 – Зареєстровані значення досліджуваного важкого металу Cd у рослинному матеріалі соняшника (*Helianthus annuus*)

Со (мг/кг)	корінь	стебло	листок
Низька концентрація	10,32±0,07	9,10±0,71	11,92±0,95
Висока концентрація	11,82±0,54	11,97±1,19	16,13±0,47

Таблиця 7 – Зафіксовані значення Pb в рослинному матеріалі люцерни посівної (*Medicago sativa*)

Pb (мг/кг)	корінь	стебло	листок
Низька концентрація	14,11±0,31	18,21±0,43	23,72±0,48
Висока концентрація	21,35±0,04	26,15±0,53	26,03±0,72

Таблиця 8 – Зареєстровані значення досліджуваного важкого металу Cd у рослинному матеріалі люцерни посівної (*Medicago sativa*)

Со (мг/кг)	корінь	стебло	листок
Низька концентрація	8,92±0,17	12,45±0,21	10,42±0,35
Висока концентрація	14,32±0,26	15,13±0,26	17,45±0,57

Експериментальне дослідження проводилося з метою виявлення здатності *Helianthus annuus* L. та *Medicago sativa* для видалення важких

металів (Pb, Co) із забрудненої води. Основний механізм рекультивації важких металів за допомогою цих рослин заснований на вилученні забруднень (фітоекстракція з наступною транслокацією та накопиченням політантів у надземній частині рослини). Про це свідчить аналіз зібраних та оброблених даних. Обидва представники мають здатність накопичувати Pb, Co у своїх тканинах (пагонах і кореневій системі) залежно від типу металу та застосованої сили концентрації. Найвищі концентрації Pb зафіксовані в кореневій системі рослини (24,03 мг/кг), а Co (16,13 мг/кг) – у надземній частині рослини (листя). Накопичення важких металів та їх розподіл залежить від виду рослини, органів рослини, фенологічної стадії, ступеня забруднення та поєднання металів у ґрунті.

Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що *Helianthus annuus* L. та *Medicago sativa* є толерантними видами рослин, щодо забруднення важкими металами (Pb, Co) від низького до помірного, і можуть бути успішно використані для фіторемедіації як ґрунтових вод так і самих ґрунтів, забруднених цими важкими металами.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз потенційно небезпечних та шкідливих факторів

У лабораторії проведено аналіз потенційно небезпечних і шкідливих виробничих факторів (ПН і ШВФ), що діють при проведенні цієї роботи [68].

До *фізичних факторів* в лабораторії належать:

- підвищена загазованість повітря робочої зони (можливе виділення газів при змішуванні різних речовин);
- підвищена температура поверхні обладнання (термостат, водяна баня, спиртівка);
- підвищена температура повітря робочої зони (горіння спиртівки, водяна баня);
- підвищена вологість повітря (водяна баня);
- понижена рухомість повітря (лаборант майже весь час знаходиться на одному й тому ж місці);
- підвищене значення напруги в електричній мережі, замикання якої може відбутися через тіло людини (термостат, водяна баня);
- гострий край, задирка та жорсткість на поверхні інструментів, обладнання (скляні колби, лабораторні циліндри, бюретки, піпетки).

Хімічні фактори: подразнюючі; токсичні.

Біологічні фактори : грибки і бактерії на обладнанні та руках лаборанта;

Психофізичні фактори :

- фізичне навантаження (статичне – довготривале положення тіла в одній і тій же позі);
- нервово – психічні перенапруги (монотонність праці).

Дія на людину шкідливого чинника протягом зміни може побічно привести до травми. Наприклад, монотонна праця через повторюваності одноманітних операцій супроводжується швидко наступаючим стомленням,

що призводить до зниження працездатності і притуплення уваги. Через те, що вся робота здійснюється стоячи, у працівників розвиваються так звані професійні захворювання, такі як варикозне розширення вен і плоскостопість.

4.2. Вимоги до охорони праці при організації робочого місця працівника

Лабораторія повинна бути [68]:

- обладнана центральним водяним опаленням;
- забезпечена питною водою;
- мати загальну припливно – витяжну вентиляцію та місцеву витяжку повітря на окремих технологічних ділянках (раковини для миття, витяжні та сушильні шафи, апаратуру з потужними джерелами світла, столи для знепилювання тощо) згідно з СНіП 2.04.05 – 91;
- забезпечені протипожежним обладнанням згідно з НАПБ Б.01.006 – 2003.
- необхідно підтримувати умови мікроклімату, норми освітленості, шуму та вібрації відповідно до чинних гігієнічних вимог.

Лабораторне устаткування, робочі поверхні столів, стелажів, витяжних шаф, що призначені для роботи з пожежовибухонебезпечними речовинами, повинні мати негорюче покриття.

На робочих місцях треба зберігати тільки таку кількість матеріалів (у готовому для користування стані), яка не перевищує денної виробничої потреби. При цьому ємності з вогнебезпечними речовинами повинні бути щільно закритими. Для роботи з кислотами, лугами та іншими хімічно активними речовинами слід застосовувати столи й шафи, виготовлені з матеріалів, стійких до їхньої дії. До роботи зі шкідливими речовинами допускаються особи не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд та інструктаж з охорони праці.

Під час роботи з хімічними речовинами необхідно користуватися халатами, гумовими рукавичками, захисними окулярами, респіраторами

тощо. Працівники лабораторій повинні знати властивості пожежовибухонебезпечних хімічних речовин і матеріалів, що застосовуються, і дотримуватися заходів безпеки під час роботи з ними.

4.3. Забезпечення нормативних значень показників мікроклімату і чистоти повітря.

Несприятливі умови погіршують фізіологічний стан, знижують продуктивність праці, можуть привести до різних захворювань [68].

Робота в лабораторії відноситься до категорії легкої важкості (1б). Температура в холодний період року повинна 21 – 23 °С, відносна вологість – не більше 75%, швидкість руху повітря – 0,2 м/с, а в теплий період року відповідно 22 – 24°С, не більше 60%, 0,1 – 0,3 м/с .

Для забезпечення нормативних показників мікроклімату передбачено:

- опалювальна система, яка забезпечує допустимі показники мікроклімату. Одним з чинників, що роблять найбільший вплив на організм працюючих є низька температура. Для того, щоб лабораторія працювала в холодну пору року передбачається опалювальна система. Оптимальні величини температури 21 – 23°С.

- для видалення надмірного тепла, шкідливих газів, водяної пари і пилу передбачена приточно-витяжна вентиляція. Вентиляція підрозділяється на природну і примусову. В лабораторії в якості загально – обмінної вентиляції використовують природну. Природна витяжна вентиляція застосовується в приміщеннях, які мають значні виділення тепла, і здійснюється за допомогою вентиляційних каналів, вікон.

4.4. Освітлення робочого місця, заходи і засоби для забезпечення нормованих показників освітлення.

Для забезпечення нормативної освітленості передбачено природне, штучне та змішане освітлення [68].

Природне освітлення:

– Передбачено природне освітлення бокове, здійснюване через світлові прорізи в зовнішніх стінах; верхнє – через лампи, комбіноване – поєднання верхнього і бічного природного освітлення.

– Для ефективного використання світлового потоку приміщення та обладнання забарвлене в світлий колір

– Для нормального проходження світлового потоку через вікна вони повинні бути вимиті один раз на місяць в санітарний день.

Штучне освітлення:

Штучне освітлення здійснюється за допомогою люмінесцентних ламп в кількості 6 штук. Природне освітлення – бічне трьохстороннє. Місцеве освітлення робочої зони відсутнє, що погано впливає на якість виконання роботи. Згідно з нормами рівня штучного освітлення для зони обслуговування розмножувальної техніки різних видів відповідають такі показники [68]:

Площину нормування освітленості – М – 0,8 м від підлоги; Розряд зорових робіт – 3 В; Загальне освітлення – 300 ЛК. (СанПін 2.2.2.1332 – 03). Для зручності передбачені штори. Згідно ДБН В.2.5 – 28 – 2006: характеристика зорової роботи високої точності, розряд зорової роботи – В, КПО – 3 %. Підтримка освітлення у чистому виді забезпечується очищенням (миттям) віконних блоків не менше 2 разів на рік.

Відповідно до ДНАОП 0.00 – 1.32.01 відносно небезпеки поразки людей електричним струмом приміщення відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, у яких відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку.

4.5. Заходи і засоби для забезпечення нормованих значень шуму та вібрації.

Джерелом шуму в лабораторії є: – шум від ламп, шум, що утворюється під час роботи водяної бані [68].

4.6. Забезпечення необхідного санітарного стану

Необхідний санітарний стан лабораторії досягається застосуванням наступних основних заходів і засобів [68]:

- миття і профілактична дезінфекція лабораторії, обладнання, інвентаря здійснюється за допомогою хлорного вапна, хлораміда Б, гіпохлорида кальцію, дезінсекція та дератизація;
- механічне очищення інвентаря;
- використання сіток на віконних отворах, липкого паперу для захисту від комах;
- зачинення отворів вентиляційних каналів захисними сітками;
- регулярне проходження працюючим персоналом медичних обстежень (один раз на рік);
- дотримання особистої гігієни лаборантами, а саме: використання спеціального одягу, взуття та засобів індивідуального захисту тобто білого халату, шапочки або косинки, нарукавників, респіраторів і т.д., систематичного догляду за шкірою рук та інші.

4.7. Заходи і засоби для захисту працюючих від ураження електричним струмом.

Відносно небезпеки враження людей електричним струмом лабораторія відноситься до приміщень без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену або особливу небезпеку [68].

Основними мірами по захисту від ураження електричним струмом в лабораторії є:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин для випадкового доторкання;
- використання ізоляції струмоведучих частин;
- використання методів колективного захисту від ураження електричним струмом: захисного заземлення, занулення та автоматичного відключення;

- періодична перевірка опору заземлення;
- контроль та профілактика пошкоджень ізоляції.

4.8. Забезпечення пожежовибухобезпеки

Категорії приміщень лабораторій відносяться за пожежною, вибухо – пожежною та вибуховою небезпечністю до категорії В – Горючі гази (ГГ), легкозаймисті, горючі і важкогорючі рідини, а також речовини та матеріали, які здатні при взаємодії з водою, киснем повітря або один з одним вибухати і горіти або тільки горіти; горючий пи́л і волокна, тверді горючі та важкогорючі речовини і матеріали, за умови, що приміщення, в яких вони знаходяться (обертаються), не відносяться до категорій А, Б і питома пожежна навантага для твердих і рідких легкозаймистих та горючих речовин на окремих ділянках¹ площею не менше 10 м² кожна перевищує 180 МДж/м² [68].

В лабораторії можуть виникнути такі класи пожеж :

- Клас А – пожежі твердих речовин, головним чином органічного походження, горіння яких супроводжується тлінням (деревина, текстиль, папір);
- клас В – пожежі горючих рідин або твердих речовин, що плавляться.
- клас (Е)* – пожежі, що пов'язані із горінням електроустановок.

Враховуючи класи пожеж та площу нашої лабораторії необхідно використовувати порошкові вогнегасники в кількості 2 штуки по 5 кг, або вуглекислотні вогнегасники в такій же кількості, (згідно з Типовими нормами належності вогнегасників НАПБ Б.03.001 – 2004).

Місце розміщення первинних засобів пожежогасіння зазначено в плані евакуації. На пожежному щиті розміщено вогнегасник, лом, вогнетривке покривало, напис з телефоном пожежної охорони і прізвище посадових осіб, відповідальних за пожежну безпеку. Стенд розміщений біля виходу з приміщення.

РОЗДІЛ 5

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ

Відповідно до законодавства, громадяни України мають право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, пожеж, стихійних лих і на вимогу від Уряду України, інших органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і господарювання гарантій щодо забезпечення його реалізації. Держава як гарант цього права здійснює захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру [69].

Цивільний захист населення (ЦЗН) – система організаційних, інженерно – технічних, санітарно – гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів центральних і місцевих органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, підпорядкованих їм сил і засобів, підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності, добровільних рятувальних формувань з метою запобігання і ліквідації надзвичайних ситуацій [69].

Балони із аміаком використовуються в лабораторії для проведення певних експериментів, що потребують інколи спеціальних умов навколишнього середовища. На території лабораторії відбулася умовна аварія. Вибухнув балон із амоніаком літражем = 40Л (одиначне зберігання). Визначити характер руйнування лабораторії при надзвичайній ситуації. Балон із амоніаком знаходиться на відстані $R_{об} = 600$ м від лабораторії.

Розрахунки:

1. Радіус зони детонаційної (бризантної) дії вибуху R_1 , що визначається за формулою:

$$R_1 = 17,5 \sqrt[3]{M} \quad (6.1)$$

де R_1 – радіус зони детонаційної (бризантної) дії вибуху, м;

Так як 40 літрів можна перевести через коефіцієнт щільності у масу, для розрахунків буде враховуватися маса 57 т кисню в балоні.

М – маса ГПС, ППС у резервуарі, кг. За М приймається 50 % вмісту резервуара при одиночному збереженні і 90 % – при груповому. В випадку із завданням , балон із киснем тільки один, тому М приймаємо за 50%.

$$R_1 = 17,5 \sqrt[3]{0,5 * 57} = 53,4 \text{ м}$$

2. Радіус зони дії продуктів вибуху (осколків) R2 об'ємного вибуху розраховуємо за формулою:

$$R_2 = 1,7 \cdot R_1, \quad (6.2)$$

де R2 – радіус зони дії продуктів вибуху (осколків), м;

$$R_2 = 1,7 \cdot 53,4 = 90,78 \text{ м}$$

3. Надмірний тиск ΔP_ϕ у зоні розльоту продуктів вибуху дорівнює:

$$\Delta P_\phi = 1300 \cdot \left(\frac{R_1}{R_{об}} \right)^3 + 50, \quad (6.3)$$

де – надмірний тиск у зоні розльоту продуктів вибуху, кПа;

$R_{об}$ – відстань від центру вибуху до об'єкта, м.

$$\Delta P_\phi = 1300 \cdot \left(\frac{90,78}{600} \right)^3 + 50 = 54,50 \text{ кПа}$$

4. Радіус дії R3 ударної хвилі визначається в залежності від формули:

$$R_3 = 12 \cdot R_1, \quad (6.4)$$

де R_3 – радіус дії ударної хвилі, м;

$$R_3 = 12 \cdot 90,78 = 1089 \text{ м}$$

5. Надмірний тиск ΔP_{yx} у зоні дії повітряної ударної хвилі обчислюється за формулою

$$\Delta P_{yx} = \frac{233}{\sqrt{1 + 0,41 \left(\frac{R_{об}}{R_1} \right)^3 - 1}}, \quad (6.5)$$

де – надмірний тиск у зоні дії повітряної ударної хвилі, кПа.

$$\Delta P_{yx} = \frac{233}{\sqrt{1 + 0,41 \left(\frac{600}{90,78} \right)^3 - 1}} = 21,41 \text{ кПа}$$

Висновок. Дивлячись на розрахунки, надмірний тиск у зоні дії повітряної ударної хвилі = 21,41 кПа – ступінь руйнування об'єкту слабкий.

ВИСНОВКИ

1. Підземні води є важливим природним ресурсом, який підтримує соціально-економічний розвиток і підтримує екологічну рівновагу в сучасному суспільстві. Вони забезпечують 36% питної води, 42% води для сільського господарства, 24% води для промисловості. Однак, якість цих підземних водних ресурсів у всьому світі знаходиться під загрозою через природний геохімічний фон та антропогенне забруднення. До природних чинників формування режиму підземних вод відносяться клімат, рельєф, склад порід, сонячна активність і гравітаційне поле Сонця, Місяця, інших планет та їх супутників. Такі елементи клімату, як опади, температура повітря, випаровування, тиск визначають характер змін рівня ґрунтових вод, ресурсів, температури і хімічного складу і одночасно дозволяють встановити основні періоди потенційно можливого їх підживлення. Істотними чинниками формування природного режиму ґрунтових вод є склад та будова водовмісних порід водоносного горизонту та зони його аерації.

2. Суттєві зміни до гідрогеологічних умов підземних вод вносить інженерно-господарська діяльність людини. Вирізняють дві групи техногенних чинників, які впливають режим підземних вод: перша група включає фактори, що викликають виснаження ресурсів підземних вод водоносних горизонтів (водозабори, гірський водовідлив, сільськогосподарський та будівельний дренаж – осушення). Друга включає фактори, що викликають поповнення їх ресурсів (зрошення земель, підживлення за рахунок втрат води з водоймищ, фільтрація побутових стоків, скидання та поховання промислових стоків у глибокі водоносні горизонти та ін.). Зазначені фактори за часом впливу на режим підземних вод ділять на діючі тривалий час (водозабори, гірський водовідлив, асфальтування та забудова територій та ін.), періодичні або сезонні (зрошення земель та ін.) та епізодичні (будівельний дренаж та ін.).

3. У результаті господарської діяльності людини на поверхню Землі

потрапляють і накопичуються величезні кількості різних речовин, переважно антропогенного походження. До них відносяться відходи (промислові, комунальні, транспортні, сільськогосподарські), які зумовлюють основну частку навантаження природного середовища забрудненими речовинами. Також використовуються в сільському господарстві та промисловості добрива і отрутохімікати, що складуються на поверхні землі та під землею, нафтопродукти, хімічні реагенти та ін. Все це є основною причиною забруднення підземних вод. Іншою важливою причиною, що призводить до погіршення якості підземних вод, є їх відбір для водопостачання, осушення, експлуатації родовищ корисних копалин, будівництва. В результаті такого відбору незворотні зміни в експлуатованому водоносному горизонті і підтягування до ділянки водозабірної споруди мінералізованих підземних вод.

4. Найважливіше місце у охороні поверхневих і підземних вод поруч із суворим дотриманням законів з охорони навколишнього середовища належить загальним технічним і технологічним заходам. Щоб очистити забруднені підземні води та забезпечити сталість ресурсів підземних вод, було розроблено та застосовано різноманітні технології відновлення (перекачування та очищення, біодеградація, хімічне окислення та відновлення, адсорбція). Кожен варіант ремедіації має відповідні переваги та недоліки, залежно від цілей відновлення та умов місця.

5. Нині найбільш відчутними забруднювачами ґрунтових вод є: метил-трет-бутиловий ефір, бензол, толуол, ксилол, важкі метали, такі як хром, кадмій, ртуть, кобальт, свинець, миш'як; у сільському господарстві неконтрольоване внесення добрив та пестицидів. Методи очищення можна розділити на дві категорії *ex-situ* та *in-situ*. Технологія *Ex-Situ* передбачає очищення підземних вод шляхом осушення забрудненого водоносного горизонту (відкачування), потім обробки води на поверхні за допомогою фізичних, хімічних або біологічних технологій і, нарешті, повторного закачування очищеної води у водоносний горизонт. Технологія *In-Situ*

передбачає очищення підземних вод у водоносному горизонті (під поверхнею) за допомогою технології термічної, хімічної та біологічної обробки. Передбачають очищення підземних вод (на місці) без вилучення води з водоносного горизонту. До методів біологічного очищення відносять біоаугументацію, біоventиляцію, біорозбризування, біозмивання, фітореMediaцію та деякі методи попередньої хімічної обробки, що включають введення озону та кисню, хімічне осадження, мембранне відділення, іонний обмін, поглинання вуглецю, водне хімічне окислення та посилене відновлення поверхнево-активної речовини *in situ*.

6. Біодеградація та біотрансформація забруднюючих речовин у підземних водах зазвичай відбувається природним шляхом. Однак природні темпи біодеградації досить повільні, а надходження поллютантів надзвичайно швидке, що призводить до накопичення останніх у підземних водах. У зв'язку з актуальністю завдань фітореMediaції ґрунтових вод з використанням макрофітів було сформовано мету дослідження – виявити індивідуальні акумулятивні можливості макрофітів щодо іонів свинцю та кобальту для їх використання в очищенні вод (організації біоконверсії). Для аналізу були обрані макрофіти: Соняшник звичайний (*Helianthus annuus*) та Люцерна посівна (*Medicago sativa*). Експеримент тривав 10 днів. Рослини під час контрольної обробки на перших етапах росту та розвитку мали здоровий вигляд. За результатами моніторингу параметрів росту та розвитку рослин спостерігаються значні зміни на молодому листі, хлороз листя, рослини залишаються низькими та слаборозвиненими, чого не скажеш про рослини, вирощені на чистому поживному середовищі. Симптоми токсичності рослин Pb, Co у вищих концентраціях відображалися у формуванні темно-зелених листків, некрозі тканини старих листків наприкінці досліджу, порівняно з контрольною обробкою, надзвичайно темного кольору.

7. Експериментальне дослідження проводилося з метою виявлення здатності *Helianthus annuus* L. та *Medicago sativa* для видалення важких металів (Pb, Co) із забрудненої води. Основний механізм рекультивації

важких металів за допомогою цих рослин заснований на вилученні забруднень (фітоекстракція з наступною транслокацією та накопиченням політантаїв у надземній частині рослини). Найвищі концентрації Pb зафіксовані в кореневій системі рослини (24,03 мг/кг), а Co (16,13 мг/кг) – у надземній частині рослини (листя). Накопичення важких металів та їх розподіл залежить від виду рослини, органів рослини, фенологічної стадії, ступеня забруднення та поєднання металів у ґрунті. Виходячи з отриманих результатів можна зробити висновок, що *Helianthus annuus* L. та *Medicago sativa* є толерантними видами рослин, щодо забруднення важкими металами (Pb, Co) від низького до помірного, і можуть бути успішно використані для фіторе mediaції як ґрунтових вод так і самих ґрунтів, забруднених цими важкими металами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Humaira D., Jose L.M. Bridging Divides for Water. 5th World Water (Water Related Migration, Changing Land use and Human settlements, Istanbul, Turkey, 17-18 March 2009). UNW-DPC Publication Series. Knowledge. 2009. №4-5. P. 38 – 43.
2. Gleick, P.H. Water Resources. In: Schneider, S.H. Encyclopedia of Climate and Weather. Oxford University Press. New York. 1996. Vol. 2. P. 817 – 823.
3. Postigo C., Martinez D.E., Grondona S., Miglioranza K.S.B. Groundwater Pollution: Sources, Mechanisms and Prevention. Encyclopedia of the Anthropocene. Vol. 5. 2018. P. 87 – 96.
4. Currell M.J., Han, D. (2017) The Global Drain: Why China's Water Pollution Problems Should Matter to the Rest of the World. Environment: Science and Policy for Sustainable Development. 2012. № 59. P. 16 – 29.
5. Кухар М. Наукові ідеї В.І. Вернадського щодо геохімії підземних вод. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія. 2013. № 3(62). С. 28 – 29.
6. Хільчевський В. К., Ободовський О. Г., Гребінь В. В. Загальна гідрологія: підручник. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет». 2008. 399 с.
7. Лобода Н.С., Отченаш Н.Д. Підземні води, їх забруднення та вплив на навколишнє середовище. Харків : Харків. 2017. 351 с.
8. Інженерна геологія (з основами геотехніки): підручник для студентів вищих навчальних закладів / кол. авт.; за заг. ред. проф. В. Г. Суярка. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. 2019. 278 с.
9. Сивий М. Я. Основи інженерної геології: Навчальний посібник. Тернопіль : видавництво ТНТУ імені І. Пулюя. 2013. 306 с.
10. Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. Основи гідрохімії: підручник. Київ : Ніка-Центр. 2012. 312 с.
11. Дудник С. В., Євтушенко М. Ю. Водна токсикологія: основні

теоретичні положення та їхнє практичне застосування : монографія. Київ : Вид-во Українського фітосоціологічного центру. 2013. 297 с.

12. Осадчий В. І. Гідрологічні фактори формування хімічного складу поверхневих вод. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. 2013. Вип. 265. С. 54 – 65.

13. Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод: Навчальний посібник. Одеса: Вид-во ОДЕКУ. 2011. 164 с.

14. Підкова О. М. Гідрогеологічні умови як чинник ґрунтотворення (на прикладі Розточчя). Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2015. Т.2(37). С. 156 – 161.

15. Рациональне використання та відновлення водних ресурсів. монографія / За заг.ред. Фещенка В.П. Житомир : Вид-во ЖДУ ім. І. Франка. 2016. 250 с.

16. Удалов І. В., Кононенко А. В. Основні передумови зниження якості питних підземних вод крейдянних водозаборів східної України. Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». Вип. 44. 2016. С.63 – 70.

17. Gavrilesco M., Demnerova K., Aamand J., Agathos S., Fava F., Emerging pollutants in the environment: present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. *New Biotechnology*. 2015. V. 32. P. 147–156.

18. Galindo-Miranda J.M., Guizar-Gonzalez C., Becerril-Bravo E.J., Moeller-Chavez G., Leon-Becerril E., Vallejo-Rodriguez R. Occurrence of emerging contaminants in environmental surface waters and their analytical methodology – a review. *Water Supply*. 2019. Vol. 19 (7). P. 1871 – 1884.

19. Poeter E., Fan Y., Cherry J., Wood W., Mackay D., Groundwater in our water cycle. Getting to know Earth's most important fresh water source. Published by the Groundwater Project, Guelph, Ontario, Canada. 2020. 136 p.

20. Bierkens F., Wada Y. Non-renewable groundwater use and groundwater depletion: A review. *Environmental Research Letters*. 2019. Vol. 14, № 6. P. 234

– 278.

21. Gruber K. Cleaning up our future health. *Nature*. 2018. Vol. 555. P. 20 – 22.

22. Iravanian A., Ravari O. Types of Contamination in Landfills and Effects on The Environment: A Review Study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 1st International Conference on Energetics, Civil and Agricultural Engineering. Tashkent, Uzbekistan. 2020 Vol. 614. P. 32-41

23. Egboka B. C. E., Nwankwor G. I., Orajaka I. P., Ejiofor A. O. Principles and Problems of Environmental Pollution of Groundwater Resources with Case Examples from Developing Countries. *Environmental Health Perspectives*. 1989. Vol. 83. P. 39 – 68

24. Відходи виробництва і споживання та їх вплив на ґрунти і природні води: навчальний посібник / За ред. В.К. Хільчевського. Київ : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2007. 152 с

25. Environmental Protection Strategies: course book for university students majoring in engineering / T. A. Overchenko, O. I. Ivanenko, V. V. Vember, D. E. Benatov. – Kyiv : Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute. 2023. P. 60 – 83.

26. Jamison D.T., Breman J.G., Measham A.R. Air and Water Pollution: Burden and Strategies for Control. In *Disease Control Priorities in Developing Countries*. 2nd edition. New York : Oxford University Press. 2006. P. 817 – 832.

27. Prepilkova V., Ponist J., Schwarz M., Samesova D. Possibilities Of Remediation Of Neutral Mine Drainage – Removal And Recovery Of Potentially Hazardous Elements. *Soil and Water Research*. 2022. № 4. P. 251 – 267

28. Riaz S., Mehmood R., Kareem H., Sadia H. Livestock-Waste, Types, Sources, Pollution potential, Country wise comparisons. In *Waste Problems and Management in Developing Countries*. New York : Apple Academic Press. 2023. P. 205 – 232.

29. Mateo-Sagasta J., Zadeh S., Turrall H., Burke J. Water Pollution From Agriculture : A Global Review. executive summary. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017. 35 p.

30. Anand U., Reddy B., Singh V.K., Singh A.K., Kesari K.K., Tripathi P., Kumar P., Tripathi V., Simal-Gandara J. Potential Environmental and Human Health Risks Caused by Antibiotic-Resistant Bacteria (ARB), Antibiotic Resistance Genes (ARGs) and Emerging Contaminants (ECs) from Municipal Solid Waste (MSW) Landfill. *Antibiotics (Basel)*. 2021. Vol. 10(4). P. 374 – 401.
31. Akhtar N., Syakir Ishak M.I., Bhawani S.A., Umar K. Various Natural and Anthropogenic Factors Responsible for Water Quality Degradation: A Review. *Water*. 2021. Vol. 13(19). P. 2660 – 2695.
32. Zaporozec A. Ground-water pollution and its sources. *GeoJournal*. 1981. Vol. 5. P. 457 – 471.
33. Doell P., Hoffmann-Dobrev H., Portmann F.T., Siebert S. Impact of water withdrawals from groundwater and surface water on continental water storage variations. *Geodynamics*. 2012. Vol. 59–60. P. 143–156.
34. Hao A., Zhang Y., Zhang E., Li Z., Yu J., Wang H., Yang J., Wang Y. Review: Groundwater resources and related environmental issues in China. *Hydrogeology Journal*. 2018. Vol. 26. P. 1325 – 1337.
35. Hou D., Li G., Nathanail P. An emerging market for groundwater remediation in China: Policies, statistics, and future outlook. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2018, Vol. 12. P. 16 – 25.
36. Obiri-Nyarko F., Grajales-Mesa S.J., Malina G. An overview of permeable reactive barriers for in situ sustainable groundwater remediation. *Chemosphere*. 2014. Vol. 111. P. 243 – 259.
37. Barcelona M. J. Development and applications of groundwater remediation technologies in the USA. *Hydrogeology Journal*. 2005. Vol.13. P. 288 – 294.
38. Filler D.M., Reynolds C.M., Snape I., Daugulis A.J., Barnes D.L., Williams P.J. Advances in engineered remediation for use in the Arctic and Antarctica. *Polar Record*. 2006. Vol. 42. P. 111 – 120.
39. Zhang S., Mao G., Crittenden, J., Liu X., Du H. Groundwater remediation from the past to the future: A bibliometric analysis. *Water Research*. 2017. Vol.

119, 114 – 138.

40. Rugner H., Finkel M., Kaschl A., Bittens M. Application of monitored natural attenuation in contaminated land management – A review and recommended approach for Europe. *Environmental Science & Policy*. 2006. Vol. 9. P. 568–576.

41. Hadley P.W., Newell C.J. Groundwater Remediation: The Next 30 Years. *Ground Water*. 2012. Vol. 50. P. 669 – 678.

42. Stroo H.F., Leeson A., Marqusee J.A., Johnson P.C., Ward C.H., Kavanaugh M.C., Sale T.C., Newell C.J., Pennell K.D., Lebron C.A. Chlorinated Ethene Source Remediation: Lessons Learned. *Environmental Science & Technology*. 2012. Vol. 46. P. 6438 – 6447.

43. Leeson A., Stroo H.F., Johnson P.C. Groundwater Remediation Today and Challenges and Opportunities for the Future. *Ground Water*. 2013. Vol. 51. P. 175–179.

44. Wang S., Mulligan C.N. Natural attenuation processes for remediation of arsenic contaminated soils and groundwater. *J. Hazard. Mater.* 2006. Vol. 138. P. 459 – 470.

45. Thiruverikatachari R., Vigneswaran S., Naidu R. Permeable reactive barrier for groundwater remediation. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2008. Vol. 14, 145–156.

46. Beames A., Broekx S., Lookman R., Touchant K., Seuntjens P. Sustainability appraisal tools for soil and groundwater remediation: How is the choice of remediation alternative influenced by different sets of sustainability indicators and tool structures? *Science of The Total Environmen*. 2014. Vol. 470. P. 954 – 966.

47. Tosco T., Papini M.P., Viggi C.C., Sethi R. Nanoscale zerovalent iron particles for groundwater remediation: A review. *J. Clean. Prod.* 2014. Vol. 77. P. 10 – 21.

48. Gong Y., Tang J., Zhao D. Application of iron sulfide particles for groundwater and soil remediation: A review. *Water Res.* 2016. Vol. 89. P. 309 –

320.

49. Правила охорони підземних вод. Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України 11 травня 2023 року N 325.

50. Reddy K.R. Physical and Chemical Groundwater Remediation Technologies. In book: Overexploitation and Contamination of Shared Groundwater Resources. Chicago : University of Illinois, USA. 2008. P. 257 – 274.

51. Reddy K.R. Technical Challenges to in-Situ Remediation of Polluted Sites. Geotechnical and Geological Engineering. 2010. Vol. 28(3). P. 211 – 221.

52. ДСТУ ISO.7027:2003 Якість води. Визначання каламутності (ISO 7027:1999, IDT).

53. ДСТУ ISO 7887:2003 Якість води. Визначання і дослідження забарвленості (ISO 7887:1994, IDT).

54. ДСТУ 4077-2001 Якість води. Визначання рН (ISO 10523:1994, MOD).

55. ДСТУ ISO 9963-1:2007 Якість води. Визначення лужності. Частина 1. Визначення загальної та часткової лужності (ISO 9963-1:1994, IDT).

56. ДСТУ ISO 9963-2:2007 Якість води. Визначення лужності. Частина 2. Визначення карбонатної лужності (ISO 9963-2:1994, IDT).

57. ДСТУ ISO 6060:2003 Якість води. Визначання хімічної потреби в кисні (ISO 6060:1989, IDT).

58. Jobin L., Namour P. Bioremediation in Water Environment: Controlled Electro-Stimulation of Organic Matter Self-Purification in Aquatic Environments. *Advances in Microbiology*. 2019. № 7. P. 813-852.

59. Martino L., Yan E., La Freniere L. A hybrid phytoremediation system for contaminants in groundwater. *Environ Earth Sci*. 2019. № 78. P. 664 – 695.

60. Dietz A.C., Schnoor J.L. Phytotoxicity of chlorinated aliphatics to hybrid poplar (*Populus deltoides* x *nigra* DN34). *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2001. P. 389 – 393

61. Landberg T., Greger M. Can heavy metal tolerant clones of *Salix* be used as vegetation filters on heavy metal contaminated land? In: Aronsson P, Perttu K

(eds) Willow vegetation filters for municipal wastewaters and sludges. A biological purification system. Report 50. Swedish Univ Agric Sci, Uppsala. 1994. P. 133 – 144

62. Abdelhafez A.A., Abbas H.H., Abd-El-Aal R.S., Kandil N.F., Li J., Mahmoud W. Environmental and health impacts of successive mineral fertilization in Egypt. *Clean Soil, Air, Water*. 2012. № 40. P. 356 – 363.

63. Wu W., Wu P., Yang F., Sun D., Zhang D., Zhou Y.K. Assessment of heavy metal pollution and human health risks in urban soils around an electronics manufacturing facility. *Sci. Total Environ*. 2018. №. 630. P. 53 – 61.

64. Chaudhary K., Jan S., Khan S. Heavy Metal ATPase (HMA2, HMA3, and HMA4) Genes in Hyperaccumulation Mechanism of Heavy Metals. *Plant Metal Interaction, Emerging Remediation Techniques*. 2016. P. 545 – 556.

65. Balafrej H., Bogusz D., Abidine Triqui Z., Guedira A., Bendaou N., Smouni A., Fahr, M. Zinc Hyperaccumulation in Plants: A Review. *Plants*. 2020. № 9 (5), P. 562 – 573.

66. Safari Sinigani A.A., Khalilikhah F. Phytoextraction of lead by *Helianthus annuus*: effect of mobilising agent application time. *Plant, Soil and Environment*, 2008. № 54(10). P. 434 – 440.

67. Li C., Jingzi B., Weifang H., Zhiqing Z., Chenjiao D., Qingliang C., Xiaozhen Z., Haoran H., Xuguang H., Linchuan F. Phytoremediation of potentially toxic elements (PTEs) contaminated soils using alfalfa (*Medicago sativa* L.): A comprehensive review. *Chemosphere*. 2022. Vol. 293. P. 577 – 586.

68. НПАОП 73.1-1.11-12. Правила охорони праці під час роботи в хімічних лабораторіях. Міністерство надзвичайних ситуацій України. 2012. 20 с.

69. Захист населення і територій від надзвичайних ситуацій. веб-сайт. URL: <https://wiki.legalaid.gov.ua/index.php> (дата звернення: 12.11.2023)